

Министерство образования Республики Беларусь
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет»

МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Материалы Международной
научно-технической конференции
(Могилев, 22–23 апреля 2021 года)

Могилев
«Белорусско-Российский университет»
2021

УДК 001
ББК 73
М34

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. *М. Е. Лустенков* (гл. редактор); д-р техн. наук, проф. *В. М. Пашкевич* (зам. гл. редактора); канд. физ.-мат. наук, доц. *В. Г. Замураев*; канд. техн. наук, доц. *Н. А. Коваленко*; д-р техн. наук, проф. *В. П. Куликов*; канд. техн. наук, доц. *В. В. Кутузов*; канд. техн. наук, доц. *Г. С. Ленеvский*; канд. техн. наук, доц. *И. В. Лесковец*; канд. физ.-мат. наук, доц. *И. И. Маковецкий*; канд. техн. наук, доц. *Ю. Г. Москалькова*; канд. техн. наук, доц. *А. П. Прудников*; канд. ист. наук, доц. *Н. Н. Рытова*; канд. техн. наук, доц. *С. С. Сергеев*; канд. техн. наук, доц. *В. М. Шеменков*; канд. техн. наук, доц. *Д. И. Якубович*; д-р техн. наук, доц. *А. И. Якимов*; *И. В. Брискина* (отв. секретарь)

Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии:
М34 материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – 513 с. : ил.
ISBN 978-985-492-257-7.

В сборнике материалов конференции рассмотрены вопросы разработки прогрессивных технологических процессов в машиностроении, создания систем искусственного интеллекта для управления качеством и техническим уровнем изделий машиностроения, механизмы для технологической оснастки. Приведены результаты исследований в области современных технологий и машин сварочного производства, получения и обработки новых материалов и покрытий. Рассмотрены вопросы проектирования, производства и эксплуатации транспортных средств. Приведены результаты исследований в области ресурсосберегающих технологий, конструкций и материалов в строительстве; высшей математики; математического моделирования; информационных технологий и измерительной техники для контроля и диагностики объектов. Рассмотрены экономические аспекты деятельности промышленных предприятий Республики Беларусь, а также вопросы гуманитарной составляющей в вузах технико-технологического профиля.

Сборник предназначен для инженерно-технических и научных работников, аспирантов и студентов вузов.

УДК 001
ББК 73

ISBN 978-985-492-257-7

© Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарное заседание

ТОЛСТОЙ А. В., САНДОМИРСКИЙ С. Г. Разработки в области металлургических переделов, выполненные в рамках подпрограммы «Металлургия» в 2016–2020 годах.....	20
ЧЕРНАЯ Л. Г., САЗОНКО А. Е. Связь науки с производством – верный вектор обеспечения взрывобезопасности.....	24

Секция 1. Технология и оборудование машиностроения, автоматизация технологических процессов и производств, мехатроника и робототехника

АКУЛИЧ А. В., ЛУСТЕНКОВ В. М., АКУЛИЧ В. М. Особенности использования систем пылеулавливания в промышленных тепло-технологических установках.....	28
АЛЕКСЕЕВ Ю. Г., БУДНИЦКИЙ А. С., СЕНЧЕНКО Г. М. Упрочнение поверхности титана модифицированием с применением электролитно-плазменного нагрева.....	29
АЛЕКСЕЕВ Ю. Г., ПАРШУТО А. Э., СЕНЧЕНКО Г. М. Формирование светопоглощающих покрытий на поверхностях изделий из алюминиевых и титановых сплавов на основе микродугового оксидирования.....	31
АНТОНЮК В. Е., САНДОМИРСКИЙ С. Г. Требования к подготовке специалистов по эксплуатации автоматизированной линии изготовления кольцевых заготовок.....	33
ВОЛОКИТИН А. В., ТОЛКУШКИН А. О., ПАНИН Е. А., ВОЛОКИТИНА И. Е. Исследование закрытия внутренних дефектов заготовки при протяжке в ступенчато-клиновидных бойках.....	35
ВОЛОКИТИНА И. Е., ФЕДОРОВА Т. Д. Микроструктура биметаллической проволоки, деформированной методом «прессование–волочение».....	37
ВОРОБЬЕВА О. А., СЕРИКОВ М. В. Сравнительный анализ печати на 3D-принтере Ultimaker	39
ГАЛЮЖИН Д. С., КРИВОНОГОВА Е. Г. Модернизация листогиба с поворотной балкой.....	41
ГУЦА Ю. А., СЕРИКОВ М. В. Калибровка смещения печатного стола 3D-принтера Ultimaker по осям X и Y.....	42
ДЕМИДЕНКО Е. Ю., АВЧИННИКОВ Т. Н., ФЛАНЧЕВ П. С. К вопросу определения опорных точек бочкообразного профиля зубьев.....	43
ДЕМИДЕНКО Е. Ю., БОБРОВ И. Ю. Подготовка управляющих программ обработки зубчатых венцов специального продольного профиля.....	44

ДОВГАЛЕВ А. М., ТАРАДЕЙКО И. А. Повышение удельной маслостойкости поверхностей деталей совмещенным магнитно-динамическим накатыванием.....	46
ЕЛИСЕЕВА А. Н., РАБЫКО М. А., ХИТРИКОВ В. В. Перспективы применения импульсной ионно-плазменной обработки в машиностроении.....	47
ЕЛИСЕЕВА А. Н., ШЕМЕНКОВ В. М. Влияние частоты тока на глубину его течения в металлических изделиях при импульсном ионно-плазменном воздействии.....	49
ЖОЛОбОВ А. А., КЛЯУС О. Н. К вопросу влияния конструкции рабочей части расточного резца при формировании отверстий.....	51
КАПИТОНОВ А. В. Статический анализ для расчета деформаций и напряжений деталей с беговыми дорожками планетарных передач.....	52
КАПИТОНОВ А. В. Устройство для контроля кинематической точности передач и механизмов методом дискретных измерений.....	53
КЛЯУС О. Н. К вопросу повышения жесткости технологической системы при растачивании отверстий.....	54
КОРОЛЁВ А. Ю., НИСС В. С., ПАРШУТО А. Э. Импульсная электролитно-плазменная технология размерной и финишной обработки металлических материалов.....	55
КСЕНОФОНТОВ М. А., ВАСИЛЬЕВА В. С., ВЫДУМЧИК С. В. Оборудование для производства автотракторных фильтров из пенополиуретановых композиций	57
КУЛИНЕЧЕНКО Р. В., ШЕМЕНКОВ В. В., УШКОВ В. В. Влияние применения упрочненного тлеющим разрядом режущего инструмента на силовые характеристики процесса резания.....	59
МИРОНОВА М. Н. Поиск оптимальной траектории перемещения инструмента при обработке отверстий	60
МИРОНОВА М. Н., АНТОНОВА Е. Н. Функциональная семантическая сеть для управления параметрами упрочняющей пневмоцентробежной обработки отверстий	61
МИХАЙЛОВ М. И., ЛАПКО О. А. Исследования влияния композиционных покрытий базовых поверхностей на работоспособность сверл.....	62
ПАШКЕВИЧ В. М. Применение супергауссовых функций для построения эмпирических моделей технологических объектов.....	64
ПОЛТОРАЦКИЙ С. Г. Гранные отверстия в профильных моментопередающих соединениях.....	66
ПОЛТОРАЦКИЙ С. Г., ШЕМЕНКОВ В. М., РАБЫКО М. А. Особенности формирования пятигранных отверстий	68
ПОПОК Н. Н., АНИСИМОВ В. С., ГВОЗДЬ Г. И. Оптимизация режимов многоцелевой обработки на металлорежущих станках с ЧПУ.....	69

ПОПОК Н. Н., ПОРТЯНКО С. А., ТИХОН Е. М. Конструирование сборных режущих инструментов на основе 3D-прототипирования.....	71
СВИРЕПА Д. М., КРУЧИНИНА А. С. Исследование шумовых характеристик процесса совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим накатыванием.....	73
СВИРЕПА Д. М., ШЕМЕНКОВ В. М. Актуальность комплексной обработки магнитно-динамическим раскатыванием и тлеющим разрядом.....	74
СВИРЕПА Д. М., ШУРАЕВА А. В. Конструирование инструментов для магнитно-динамического раскатывания отверстий малого диаметра.....	75
ФЕДОРЕНКО А. М. К вопросу выбора структуры токарной операции с использованием станков с ЧПУ.....	76
ШАРАПОВ В. Ю., ШЕМЕНКОВ В. В., ДАШЕВСКИЙ Н. В. Формирование повышенных эксплуатационных свойств поверхностных слоев углеродистых инструментальных сталей обработкой тлеющим разрядом.....	77
ШЕЛЕГ В. К., ДОВГАЛЕВ А. М. Совмещенное магнитно-динамическое накатывание в активной технологической среде.....	78
ЮШКЕВИЧ Н. М., ИЛЬЮШИНА Е. В. Топография плоских поверхностей после пневмовибродинамической обработки.....	80
 Секция 2. Машиноведение, детали машин и прикладная механика	
БЛАГОДАРНАЯ О. В., ПОНОМАРЕВА О. А. Факторы, определяющие качество магнитно-абразивной обработки.....	82
ДАНЬКОВ А. М., НАУМЕНКО А. Е., ГОНЧАРОВ Ю. В. К вопросу об источниках технических решений по конструкции элементов зубчатой планетарной плавнорегулируемой передачи	84
КОМАР В. Л. Теоретическое исследование работы вибратора пескоструйной установки.....	86
КОМАР В. Л. Экспериментальное определение оптимальных параметров работы пескоструйной установки.....	87
КУЗМЕНКО Д. О., КУЗМЕНКО И. М. Конструктивные формы поперечного сечения несущих элементов.....	88
ЛУСТЕНКОВА Е. С. Оценка прочности сферической передачи с двухрядным сателлитом методом конечных элементов.....	90
МАКАЦАРИЯ Д. Ю., ГРОМЫКО П. Н. Основы совершенствования машин для строительства и ремонта автомобильных дорог при использовании передачи эксцентрикового типа.....	92
МОЙСЕЕНКО А. Н., КОМАР В. Л. Разработка экспериментального образца сферического роликового редуктора.....	94

ПРУДНИКОВ А. П., БОДУНОВА А. Д. Динамический анализ планетарной торовой винтовой передачи.....	96
ПРУДНИКОВ А. П., БОДУНОВА А. Д. Математическая модель для определения сил в планетарной торовой винтовой передаче.....	97
ПУЗАНОВА О. В. Математическое моделирование динамики цикловой машины	98
РУДЕНКО С. П., САНДОМИРСКИЙ С. Г. Детерминированная модель сопротивления глубинной контактной усталости поверхностно упрочненных зубчатых колес.....	100
СОТНИК Л. Л., САХАНЬКО С. А., СИВАЧЕНКО Л. А. Анализ пропускной способности вибровалкового измельчителя-активатора при различных режимах движения валков.....	102
ХАТЕТОВСКИЙ С. Н., ГАЛЮЖИН М. А. Модификация зубьев колес цевочных передач.....	104

Секция 3. Технологии получения новых материалов и покрытий

АГАБЕКОВ В. Е., КАРПИНЧИК Е. В., ГРУША В. П., БЕВЗА В. Ф. Использование отходов карбида кремния при литье чугуна	105
АНДРИЕНКО В. М., ДУВАЛОВ П. Ю., КАЛЕНТИОНОК А. И. Исследование механических свойств разработанного комплексно легированного и термообработанного хромистого чугуна.....	107
АНДРИЕНКО В. М., ДУВАЛОВ П. Ю., КОРОТКИН Г. П. Производственные испытания термообработанных деталей из разработанного комплексно легированного хромистого чугуна.....	109
АНДРИЕНКО В. М., ДУВАЛОВ П. Ю., ПУМПУР В. А. Статистическая обработка результатов промышленных испытаний износостойких отбойных плит	111
БРАНОВИЦКИЙ А. М., ЛЕБЕДИНСКИЙ Ю. А., ДЕМЕНТЬЕВ В. А. Теплофизические особенности затвердевания и охлаждения листовых деталей из эвтектического ИЧХ	113
ВЕРЕМЕЙЧИК А. И. Исследование напряженно-деформированного состояния длинного сплошного цилиндра при термосиловом нагружении и нейтронном облучении с учетом ползучести.....	115
ВЕРЕМЕЙЧИК А. И., САЗОНОВ М. И., ХВИСЕВИЧ В. М. Поверхностное упрочнение деталей движущейся плазменной дугой.....	117
ГАЛЕНКО Е. Н., ШАРКО С. А. Особенности воздействия потока высокоэнергетических частиц на свойства тонких слоев золота.....	119
ГОЛОЗУБОВ А. Л., ГОЛОЗУБОВА А. А. Оптимизация работы системы газового питания установки для нанесения тонкопленочных покрытий.....	121
ГОЛЬЦЕВ М. В., БЕЛАЯ О. Н., ШЕПЕЛЕВИЧ В. Г. Структура быстрозатвердевших фольг тройного сплава $Bi-Sn-Pb$	123

ГРУША В. П., БЕВЗА В. Ф., ЯКУБОВИЧ Т. С. Исследование режима работы литниковой системы для непрерывно-циклического литья намораживанием	124
ГУСАКОВА О. В. Термические свойства быстрозатвердевших силуминов, легированных медью.....	126
ЗЕРНИЦА Д. А., ГОЛЬЦЕВ М. В., ШЕПЕЛЕВИЧ В. Г. Структура быстрозатвердевших фольг сплавов Zn-Sn	128
ЗЕРНИЦА Д. А., ИВАНОВ А. А., ШЕПЕЛЕВИЧ В. Г. Стабильность структуры и термическая обработка быстрозатвердевших фольг сплавов Zn-Sn	130
КУЛЕВИЧ В. П. Оценка жаростойкости покрытий системы Fe-Cr-Al.....	132
КУПРЕЕВ М. П., СУДНИК Л. В., РУДНИЦКИЙ К. Ф. Абразивный инструмент для шлифования труднообрабатываемых сталей	134
ЛАЗАРЧИК М. В., ЛЕШОК А. В., РОГОВОЙ А. Н. Влияние объемного содержания порошка бронзы на триботехнические и эксплуатационные свойства фрикционного материала на основе железа, работающего в условиях сухого трения.....	136
ЛОВШЕНКО Ф. Г., ЛИПСКИЙ А. Э. Формирование композиционных железных и никелевых порошков при обработке шихты в механореакторе.....	138
ЛОВШЕНКО Ф. Г., ЛОЗИКОВ И. А. Рафинирование основы при рециклинге хромовых бронз.....	139
ЛОВШЕНКО Ф. Г., ФЕДОСЕНКО А. С. Получение порошков методом реакционного механического легирования для послойного синтеза изделий.....	140
ОВЧИННИКОВ В. И., ДАВЫДКИН В. Н., РУДНИЦКИЙ К. Ф. Проблемы литья магниевых сплавов в кокиль и их решение.....	141
ПОПКОВСКИЙ В. А., ГОНОРОВА С. В., ГРОШЕВ В. С. Анализ контактных напряжений в задаче о вдавливании шарика в упругое полупространство.....	143
САВЕНКО В. С., ТРОИЦКИЙ О. А., КРИВОШЕЕВ Д. С. Механизмы электропластичности при двойниковании.....	145
СВИРЕПА Д. М., ДОВГАЛЕВ А. М. Исследование индукции магнитного поля в конструкциях магнитных систем магнитно-динамических накатников.....	147
СТЕЦЕНКО В. Ю., БАРАНОВ К. Н., ГУТЕВ А. П. Модифицирование структуры отливок из силумина с высоким содержанием железа без применения примесных модификаторов.....	148
СТЕЦЕНКО В. Ю., ГУТЕВ А. П., БАРАНОВ К. Н. Влияние вибрационного воздействия на триботехнические характеристики эвтектического силумина АК12М2.....	150
ФЕДОСЕНКО А. С., ОЛЕНЦЕВИЧ А. С. Влияние режимов наплавки и модельной плиты на структуру наплавленного материала.....	152

ХАБИБУЛЛИН А. И. Влияние модифицирования на механические свойства стали.....	154
ХАБИБУЛЛИН А. И. Оптимизация режимов механообработки и отжига шихты для модифицирования стали.....	156
ЧЕРКАСОВА Т. Г., ТИХОМИРОВА А. В., ЧЕРКАСОВА Е. В., НЕВЕДРОВ А. В., ПАПИН А. В. Получение продуктов с высокой добавленной стоимостью из углей и отходов их переработки.....	158
ШЕПЕЛЕВИЧ В. Г., ГУСАКОВА О. В., ГУСАКОВА С. В. Структурно-фазовое состояние сплавов Al-Si-Fe-Mn при высокоскоростном затвердевании.....	160
ЯКУБОВИЧ Д. И., ВАСЕНИЧЕВА А. В. Оптимизация времени выдержки в ацетоновой бане образцов из пластика ABS	162
ЯКУБОВИЧ Д. И., СТРЕЛЬЦОВ С. В. Получение мелкодисперсных порошков из железоуглеродистых сплавов центробежным распылением	163

Секция 4. Сварка, родственные процессы и технологии

ЕМЕЛЬЯНОВ С. Н. Повышение энергоэффективности контактной стыковой сварки оплавлением.....	164
КОРОТЕЕВ А. О., КОРОТЕЕВА А. А. Перспективы применения функционально-градиентных по составу защитных газовых сред при дуговой сварке.....	165
ЛУПАЧЕВ А. Г., КОРОТЕЕВ А. О. Сварка длинномерных безмуфтовых труб установки ремонта скважин	167
ЛЯПИН А. И. О корректности задания режима электродуговой сварки.....	169
ПОЛЯКОВ А. Ю., КУЛИКОВ В. П., СТЕПАНОВ А. А. О проблемах расчета режимов контактной рельефной сварки при получении соединений разной структуры.....	171
СИНИЦА А. Н., СИНИЦА М. А. Особенности создания эксплуатационных схем газорегуляторных пунктов методами трехмерного компьютерного моделирования.....	173
ФЕТИСОВА Е. А., КОРОТЕЕВ А. О., КУЛИКОВ В. П. Влияние гексафторида серы в составе газовой защитной атмосферы при дуговой сварке на содержание водорода в наплавленном металле.....	174
ФУРМАНОВ С. М., ЮМАНОВ Д. Н., КОРОЛЕВ Е. М. О влиянии параметров режима рельефной сварки на характеристики перемещения подвижного электрода	175
ЦЫГАНКОВ И. И., АТАМАНОВ С. Г., МОСКВИН А. А. Исследования и испытания механических свойств сварных соединений из высокопрочной стали MagStrong S700MC с применением сварочных проволок марок LINCOLN ELECTRIC LNM MoNiVA И MAGWIRE MS700.....	176

ЧЕШКО М. Ю. Подтверждение соответствия сварочных материалов в Республике Беларусь.....	177
ШУКАН Н. М., КОРОТЕЕВ А. О., ДОЛЯЧКО В. П. Изготовление шнековой спирали по аддитивной технологии.....	178
ЮМАНОВ Д. Н., ФУРМАНОВ С. М., МАЛАШЕНКО Л. С. Модернизация контактной сварочной машины с применением виртуального регулятора цикла сварки.....	179

Секция 5. Транспортные и технологические машины

БЕРЕСНЕВ В. В. Определение рационального количества звеньев рабочего элемента роторно-цепной дробилки	180
ЗЕЛЁНЫЙ П. В., ЩЕРБАКОВА О. К. Рациональные схемы организации движения транспортно-технологической уборочной машины.....	182
ЗЕЛЁНЫЙ П. В., ЩЕРБАКОВА О. К. Транспортно-технологическая машина для стесненных условий коммунального хозяйства.....	184
КУЛАБУХОВ А. В., СМОЛЯР А. П. Об оптимизации параметров рабочих органов землеройных машин аналитическими методами.....	186
КУЛАБУХОВ А. В., СМОЛЯР А. П., ЛАСОЦКИЙ В. В. О снижении сопротивления при заглублении грунтозацепов.....	187
КУНАНЕЦ А. А. Определение внешних воздействий и их комбинаций, действующих на опоры козловых кранов грузоподъемностью свыше 12,5 т	188
ЛЕСКОВЕЦ И. В. Определение текущих показателей при работе гусеничного бульдозера.....	189
МАТВЕЕНКО В. И. Погрузочно-разгрузочный манипулятор.....	191
ПОТАПОВ В. А., ХУСТЕНКО А. Н. Энергосберегающая технология производства извести.....	193
СЁМЧЕН В. И. Система управления поворотом катка	195
ХАРИТОНОВ Ю. М., СИВАЧЕНКО Л. А. Смеситель принудительного действия с деформируемой рабочей камерой.....	196
ЩУКИН Д. А., ХУСТЕНКО А. Н. Пружинный питатель-дозатор для технологических малотоннажных комплексов.....	198
ЯСЮКОВИЧ Э. И. Моделирование динамики курсового движения легкового автомобиля.....	200

Секция 6. Проектирование, производство и эксплуатация автомобильного транспорта

БИЛЫК С. Ю., САЗОНОВ И. С., РОГОЖИН В. Д. Математическая модель курсового движения колесного тягача с полуприцепом с неголономными связями.....	202
---	-----

ГЕРАЩЕНКО В. В., ШИДЛОВСКИЙ Е. Ю., КОВАЛЕНКО Н. А. Составление структурных элементов для динамического расчета автомобиля.....	204
ГРИНЕВИЧ М. Н. Масштаб автотранспортной системы региона.....	206
КОВАЛЕНКО Н. А., ГЕРАЩЕНКО В. В., ШИДЛОВСКИЙ Е. Ю. Разработка стенда для диагностирования ДВС в динамике.....	207
КУРАПИН А. В., СМИРНОВ Н. А. Расчетная оценка показателей двигателя грузового автомобиля при работе на смесевом биотопливе.....	209
ЛОБАХ В. П., КОВАЛЕНКО Н. А., ПОНОМАРЕВА О. А. Построение экспериментальной амплитудно-частотной характеристики ДВС.....	211
МАШИН Ю. В., ВЕСЕЛОВ В. О. Проблематика запуска ДВС при эксплуатации в условиях пониженных температур.....	213
МЕЛЬНИКОВ А. С., МЕЛЬНИКОВ А. А., АНТОНОВ А. С. Определение параметров скобы тормозного механизма с учетом характера нагружения.....	215
МЕЛЬНИКОВ А. С., МОЙСЕЕВ Е. А., МЕЛЬНИКОВ А. А. Направления развития систем активной безопасности мотоцикла.....	216
ПЕТРЕНКО М. Л., ШАШЕНКО С. Ф., МЕДВЕДЕВ С. А. Совершенствование конструкции механического тормоза двухколесного транспортного средства.....	218
ПЕТРЕНКО М. Л., ЮШКЕВИЧ А. В., МИГУРСКИЙ Г. С. Силовые источники информации двухколесного транспортного средства.....	220
ЯНЧЕВСКИЙ В. А., МАХОВ С. Г. Организационные мероприятия по управлению ресурсом грузовых шин в эксплуатации.....	222
 Секция 7. Строительство и техносферная безопасность	
АГЕЕВА Т. Н., ПУСКОВА В. М. Обеспечение безопасности труда в строительной отрасли.....	224
ГАЛЮЖИН С. Д., ЛОБИКОВА О. М. Анализ эффективности применения инновационных систем обеспечения микроклимата бассейна.....	226
ГАЛЮЖИН С. Д., ЛОБИКОВА О. М. Проектирование системы вентиляции воздушного пространства бассейна.....	228
ГОЛУШКОВА О. В. Капитальный ремонт и реконструкция как механизм повышения энергоэффективности жилых зданий.....	230
ДАНИЛОВ С. В., ОПАНАСЮК И. Л. Модернизация открытого склада филиала № 5 «Могилевжелезобетон».....	232
КОЗУНОВА О. В., ДУДОРГА В. А. К расчету дорожных плит на упругом основании.....	234

КОЗУНОВА О. В., СИРОШ К. А. Расчет бесконечной системы перекрестных лент на искусственном основании вариационно-разностным методом.....	236
КОРБУТ Е. Е., МАРКО О. Ю., МАСЛЕНКОВ А. А. Характеристики и свойства сульфатосодержащих добавок и их влияние на схватывание и твердение цемента.....	237
КУТУЗОВ В. В., ЗУБКОВ А. Е. Применение оптимизационного эксперимента в Anylogic для установления фаз светофора на перекрестке.....	239
ЛАТУН Т. С., СЕМЕНЮК Р. П., ГОЛУШКОВ А. М. Экономия строительных материалов путем частичного замещения отходами.....	241
ЛЕБЕДЕВА Ю. Н. Выбор диапазонов эффективности ремонтных работ	243
МАЛЕВИЧ А. В., КОРЖАКОВ Н. В. Вибровалковый измельчитель строительных отходов.....	245
МАРКО О. Ю., КОРБУТ Е. Е., САВОСТЕЕНКО А. А. Твердение бетона с добавкой «УКД-1» при отрицательной температуре воздуха.....	247
МИХАЛЬКОВ А. Д., МИХАЛЬКОВ В. С. Математическая модель работы вертикальной вибрационной мельницы.....	249
МИХАЛЬКОВ Д. В., ШКИЛЬНЮК М. А. Сравнение полученных данных при расчете подстропильных ферм в Robot Structural Analysis	251
МОСКАЛЬКОВА Ю. Г. Влияние конструктивных особенностей фундамента на выбор размеров фундамента	253
ОРЛОВСКИЙ П. С., БЫЗОВ А. П. Методы и математические модели оценки риска.....	255
ПОДДУБНЫЙ А. А., ЕФИМЧИК К. В. Изготовление элементов опор из композиционных материалов на основе полиолефинов и нефтешламов.....	257
ПОЛЯКОВА Т. А., СЕРГЕЕВА А. М., ТЫЛЕЦ С. А. О применении методов бережливого производства в дорожно-строительной отрасли.....	259
РЖЕВУЦКАЯ В. А. Деформации усадки керамзитобетона на основе керамзитового гравия.....	261
СКРИГАН А. Ю., ЛУЖКОВ В. С. Экологическая функция устойчивых дренажных систем в городской среде	263
СТЕПАНОВИЧ Ю. А., ШРУБОК А. О., ТВЕРДОВА Е. А. Применение комбинированных модификаторов на основе отходов полимерных производств в производстве полимерно-битумных вяжущих.....	265
ХМЕЛЬНИЦКИЙ Е. С. Архитектурные элементы и защита древесины от влажности в традиционной жилой застройке Беларуси.....	267

ШРУБОК А. О., СТЕПАНОВИЧ Ю. А. Принципы создания стабильных полимерно-битумных композиций.....	269
ЩУР А. В., ВАЛЬКО О. В. Особенности внедрения технологий фиторемедиации в естественных экосистемах арктического региона.....	271

Секция 8. Контроль и диагностика промышленных объектов и окружающей среды

БАЕВ А. Р., АСАДЧАЯ М. В., СЕРГЕЕВА О. С., РАДЬКОВА В. В. Прохождение поверхностных волн через область контакта подложки с твердыми телами	273
БОРИСОВ В. И., НИКИТИН А. С., ПРОКОПЕНКО Е. Н. Акустическое поле излучения пьезопреобразователей в виде фазированных решеток типа шахматной доски.....	275
БУЛАТОВ О. В. Повышение точности магнитодинамической толщинометрии никелевого слоя в хромоникелевом покрытии, нанесенном на двухслойное основание.....	277
БУСЬКО В. Н., КРЕНЬ А. П., ГНУТЕНКО Е. В. Оценка качества термообработки образцов стали 09Г2С, изготовленных с помощью аддитивной технологии	279
БУСЬКО В. Н., СЧАСТНЫЙ А. С., ОСИПОВ А. А. Возможность использования магнитных методов для контроля нормальной анизотропии листового проката	281
ГЕРАСИМЕНКО Н. В., ЧЕРКАСОВА И. А. Влияние толщины и магнитной проницаемости экрана на эффективность беспроводного зарядного устройства с плоскими катушками	283
ГОГОЛИНСКИЙ В. Ф., АФАНАСЬЕВ А. А., ИВАНОВ В. В., ПИСАРИК В. В. Бесконтактный оптико-электронный измерительный преобразователь размерного контроля протяженных изделий	284
ГОРДЕЕВА А. С., СЕРГЕЕВ А. В., СЕРГЕЕВ С. С. Исследование эффективности наклонных пьезопреобразователей со сменными протекторами.....	285
ГРУНТОВИЧ Ник. Вас., ГРУНТОВИЧ Над. Вл., ЖУК Е. А. Повышение достоверности выявления дефектов при вибродиагностировании силовых маслонаполненных трансформаторов.....	287
ГРУНТОВИЧ Ник. Вас., ГРУНТОВИЧ Над. Вл., ПАНФИЛОВ А. М. Вибродиагностирование центробежных насосов.....	289
КОРОТКЕВИЧ З. М., БУРАК В. А. Контроль качества термообработки быстрорежущей стали Р6М5 по полевым характеристикам.....	291
МИРЕНКОВА Я. И., НОВИКОВ В. А. Особенности магнитографического контроля ферромагнитных объектов с немагнитными покрытиями.....	293

ПОЗДНЯКОВ В. Ф., ПОЗДНЯКОВА Е. В. Устройство для измерения величины нагрузки элементов крепления игрового надувного оборудования.....	294
ПРУДНИКОВ А. Н. Особенности течеискания на трубопроводах акустико-эмиссионным методом.....	295
САНДОМИРСКИЙ С. Г. Повышение эффективности использования остаточной намагниченности сталей в магнитном структурном анализе.....	296
СОТСКАЯ Л. И., ОМЕЛЬЧЕНКО А. А., СТАСЬКОВ Н. И. Оптические характеристики поверхностного слоя при термическом окислении кремниевых пластин.....	298
ХОМЧЕНКО А. В., ПРИМАК И. У. Нелинейное поглощение света в многослойных структурах.....	300
ХОМЧЕНКО А. В., ПРИМАК И. У., СТАРОВОЙТОВ А. Г. Анализ механических напряжений в автомобильных закаленных стеклах.....	302
ЧЕРНЫШЕВ А. В., ШАРАНДО В. И., КРЕМЕНЬКОВА Н. В. Использование вихретокового метода контроля при изучении процесса пластического деформирования стали 12Х18Н10Т.....	304
ЧУДАКОВ Е. А., СОТСКИЙ А. Б., ПАРАШКОВ С. О. Плазмонные моды металлических пленок при аномальном скин-эффекте.....	306
ЧУДАКОВСКИЙ П. Я., КОРНЕЕВА И. А., ПИВОВАРОВА Е. В. Дифракция света на прозрачных фазовых объектах.....	308
ШАРАНДО В. И., ЧЕРНЫШЕВ А. В., КРЕМЕНЬКОВА Н. В. Использование магнитодинамического и термоэлектрического методов контроля при изучении процесса пластического деформирования стали 12Х18Н10Т.....	310

Секция 9. Автоматизация, электропривод и электрооборудование

АБАБУРКО В. Н., НИКИТИН П. Ф., КАЗАК Е. М. Проблемы обслуживания механической части оборудования для взрывоопасных сред.....	312
АБАБУРКО В. Н., НИКИТИН П. Ф., КАНТОР В. Ч. Повышение эффективности освещения взрывоопасных зон.....	314
АХРЕМЧИК О. Л. Приборы «Метакон-5Х2» в системе автоматизации производства полимерного оптического волокна.....	316
БОЛОТОВ С. В., ЯНКОВИЧ А. В., БОБКОВ Н. К. Разработка блока датчиков сварочного тока и напряжения на дуге.....	318
БОЧКАРЕВ Г. В., ШАРКОВ В. Н. Оптимизация параметров электропривода тележки пастеризатора молока.....	319

ЖЕСТКОВА Л. В. Модернизация приводов механизмов дозатора машин для литья под давлением.....	320
КАПИТОНОВ О. А., ТРЕТЬЯКОВ А. С. Методики фильтрации сигналов датчиков тока и напряжения в цифровых системах управления электроприводами.....	322
КОВАЛЬ А. С., КОНДРАТЕНКО А. Г. К вопросу повышения энергоэффективности массовых лифтов с регулируемым электроприводом переменного тока.....	324
КОВАЛЬЧУК В. М. Проблема оценки электромагнитной совместимости по дозе фликера.....	326
ЛАПИЦКИЙ В. А. Анализ применения импульсных блоков питания.....	328
ТРЕТЬЯКОВ А. С., КАПИТОНОВ О. А. Разработка программного обеспечения для автоматизации работы с оборудованием производителя «ОВЕН».....	329
ЧЕРНАЯ Л. Г., САЗОНКО А. Е., КОХАН А. В. Классификация взрывоопасных зон как фактор энергоэффективности.....	331
ЧЕРНАЯ Л. Г., САЗОНКО А. Е., МАКАРЕВИЧ Ю. И. Обеспечение взрывобезопасности оборудования и систем управления.....	333
 Секция 10. Информационные технологии в промышленности	
АТАМАНЦЕВ В. С. Инновационный программный продукт для паркинга.....	335
БАНАХ К. А., ЛАНИН В. Л. Микроконтроллерная система управления термопрофилем инфракрасной пайки.....	337
БЕККЕР И. А., КОЗЫРЕВ Р. И., ДАШКО В. С. Использование инструментов DATA SCIENCE в процессе проектной учебной деятельности.....	339
ВЕНБЕРГ А. В. Применение нечетко-интервальной математики для управления проектами в условиях неопределенности.....	341
ВЛАДОВА А. Ю., ЯКИМОВ А. И. Совмещение данных внутритрубных инспекций.....	343
ВЛАДОВА А. Ю., ЯКИМОВ А. И., ШЕКУНОВ Н. Ю. Сканирование интернет-ресурсов для исследования вакансий специалистов IT-отрасли.....	345
ДЕНИСЕВИЧ Д. А. Информационные технологии для оптимизации раскроя рулонных материалов.....	347
РАТНИКОВ Е. С., ЛАНИН В. Л. Моделирование электромагнитных сил при локальном индукционном нагреве в зазоре магнитопровода.....	349
САМАРЦЕВ С. Б., КАМИНСКАЯ С. О., САМАРЦЕВ К. С. Реконструкция учебно-программной документации специальностей переподготовки в условиях цифровизации экономики.....	351

СМАГИНА М. Н., СМАГИН Д. А. Особенности моделирования теплообмена при нагревании влажных тел ресурсами программного комплекса SOLIDWORKS	353
СТОЛЯРОВ Ю. Д. Разработка виртуальных лабораторных работ по архитектуре ЭВМ.....	354
ШИРОЧЕНКО В. А. Автоматизация управленческой деятельности на кафедре учебного вуза.....	356

Секция 11. Интеллектуальные технологии, системы и средства

БОЛОТОВ С. В., МАКАРОВ Е. В., ФУРМАНОВ В. А. Система автоматизированного контроля работы сварщиков и качества сварочных работ «WeldingControl».....	358
ВЫГОВСКАЯ Н. В., ГАЙЧУКОВ Е. И., ШЕКУНОВ Н. Ю. Разработка IT-средств для людей с ограниченными по состоянию здоровья возможностями.....	359
ЗАЙЧЕНКО Е. А., ОВСЯННИКОВ К. В., СИДОРЕНКО А. С. Интеллектуальные технологии тестирования программного обеспечения.....	361
ЗАХАРЧЕНКОВ К. В. Алгоритм рационального выбора научного руководителя диссертации с использованием метода Т. Саати.....	363
ЛИВИНСКАЯ В. А., ГАЙЧУКОВ Е. И. О сборе данных для анализа рынка вакансий специалистов IT-отрасли.....	365
ЛИВИНСКАЯ В. А., ИВАНОВА П. Р. Анализ площади под кривой в медицинских исследованиях.....	367
МИСНИК А. Е., КРУТОЛЕВИЧ С. К. Способ проектирования информационно-аналитических процессов в образовательных киберфизических системах на основе нейро-нечетких сетей Петри.....	368
ТИХОНОВ А. Д., МАКАРОВ С. О. Применение алгоритма обработки спутниковых данных для создания геодезических сетей протяженных объектов.....	370
ЯСЮКОВИЧ Э. И. Разработка веб-сайта шахматная доска с фигурами на основе тега html Canvas.....	372

Секция 12. Математическое моделирование и конструктивный анализ математических моделей

БОНДАРЕВ А. Н. К многоточечной краевой задаче для матричного уравнения Ляпунова с параметром	374
ВОЛК А. М., ЯНОВИЧ С. В. Эффективность процессов переноса в роторных аппаратах	376
ГРИШАКИН В. Т. Влияние модели основания на поведение вязкоупругих пластин при действии подвижных сил	378
ЗАМУРАЕВ В. Г. О преобразовании одной краевой задачи для уравнения теплопроводности	380

КАШПАР А. И. О задаче Валле-Пуссена для матричного уравнения Ляпунова второго порядка с параметром	382
ЛАПТИНСКИЙ В. Н. Структура по Прандтлю решения задачи о динамическом турбулентном пограничном слое	384
ЛАПТИНСКИЙ В. Н., РОМАНЕНКО А. А. Аналитическое решение задачи о динамическом ламинарном пограничном слое в автомоделном случае	386
ЛИВИНСКАЯ В. А. О периодических решениях уравнения Ляпунова второго порядка с параметром	388
МАКОВЕЦКАЯ О. А. К анализу периодической краевой задачи для матричного дифференциального уравнения Ляпунова – Риккати.....	390
МАКОВЕЦКИЙ И. И. К регуляризации двухточечной краевой задачи для матричного уравнения Ляпунова с параметром	392
ПРИМАК И. У., ХОМЧЕНКО А. В. К проблеме описания внутриврезонаторного отражения света от призмы	394
ПРИМАК И. У., ХОМЧЕНКО А. В. Моделирование пропускания света стеклом при наличии термоупругих напряжений.....	396
РОГОЛЕВ Д. В. К разрешимости периодической краевой задачи для системы матричных уравнений типа Риккати	398
САНДОМИРСКИЙ С. Г. Расчет погрешностей определения сформированных магнитных параметров сталей	400
ШЕБАН Т. Л., ИВАНОВА П. Р., ЛАЛОВ К. С. Выявление степени достоверных различий в выборочных совокупностях	402

Секция 13. Развитие промышленного предприятия: экономика, финансы и инновации

АЛЕКСАНДРЁНОК М. С. Социальные аспекты неплатежеспособности экономических субъектов	404
АЛЕКСАНДРОВ А. В. Сегментация белорусских интернет-пользователей	406
АЛЕКСАНДРОВ А. В. Тенденции использования информационно-коммуникационных технологий населением Беларуси	408
АЛЕКСАНДРОВА С. А. Тенденции развития транспортно-логистического сектора	410
БОРОДИЧ Т. А., КОДОЛИЧ А. С. Пути повышения эффективности функционирования транспортно-логистического центра	412
ДРАГУН Н. П., ИВАНОВСКАЯ И. В. Географическое положение и социально-экономическое развитие территорий Республики Беларусь.....	414
ЖЕЛТОК Н. С. Активизация инновационной деятельности.....	416
КАЗАНСКИЙ А. В. Тенденции развития механизма финансирования дорожного хозяйства	417

КЛИМОВА Л. А. Анализ ассортимента продукции ОАО «МОГОТЕКС» по методу Дибба–Симкина	419
КЛИМОВА Л. А. Оценка конкурентоспособности ассортиментного портфеля ОАО «Моготекс» по индексу концентрированности и индикатору напряженности	421
КРОТОВА А. Г., КОМАРОВА С. Л. Исследования рынка и потенциальных потребителей инновационной продукции промышленного предприятия	423
КРОТОВА А. Г. Оценка конкурентоспособности инновационной продукции методом бенчмаркинга	425
ЛОБАНОВА Т. М. Проблемы и направления развития промышленности Могилевской области	427
МАКАРЕВИЧ О. Д., МАКАРЕВИЧ Д. М. Проблема просроченной задолженности агроориентированных районов Могилевской области	429
МАКАРЕВИЧ О. Д. Стратегия развития распределительной деятельности промышленного предприятия	431
МЕДВЕДСКАЯ Т. В. К вопросу учета курсовых разниц	433
НЕЧАЕВА Т. Г., БОРОДИЧ Т. А., АНДРЕЕВА О. П. Прогнозирование развития транспортной системы Могилевской области	435
ОЛЕХНОВИЧ Л. В. Актуальность внесения поправки на риск при оценке инвестиционных проектов в современных условиях развития экономики	437
ОЛЕХНОВИЧ Л. В. Современные проблемы управления достаточностью нормативного капитала коммерческих банков	439
ПАНКОВА Т. Н., БАЛЬЧЕВСКАЯ О. В. Аналитические подходы к снижению уровня затрат на производство продукции промышленных предприятий Могилевской области	441
ПУЗАНОВА Т. В. Обоснование логистической концепции развития предприятия на основе оценки его конкурентоспособности	443
ПУЗАНОВА Т. В., ПАНТЮХОВА В. В. Разработка и обоснование путей развития предприятия	445
РОМАНЬКОВА Т. В. Показатели оценки инвестиционного потенциала промышленности регионов Республики Беларусь	447
РУБАНОВА Н. В. Факторы устойчивого развития автотранспортной организации	449
СЕРГЕЙЧИК Н. А. Выбор метода оплаты при реализации продукции предприятия	451
ТОКМЕНИНОВ К. А. Перспективы освоения полимерных композиционных материалов на СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод»	452

Секция 14. Проблемы и перспективы развития гуманитарной составляющей в вузах технико-технологического профиля

АКУЛИЧ В. М. Организация и управление образовательным процессом	454
АЛЕКСЮТИНА Г. Я. Место и роль магистратуры в современном белорусском вузе: проблемы и перспективы	456
АРТЁМЧИК В. В. Использование потенциала гуманитарного образования в работе клуба «Наследие»	458
БУДАЕВ М. Л., ГРИГОРЬЕВ М. Ф. Проблема контроля подготовленности армрестлеров	460
БУДАЕВ М. Л., ГРИГОРЬЕВ М. Ф. Проблема определения мест на соревнованиях по армрестлингу	462
ВОЛОГИНА Н. В., МИНЧЕНЯ Е. А. Оценка качества полученного образования (по результатам опроса выпускников)	464
ДОРОЩЕНКО А. В., МАКАРЕНКО О. П., СЫЧЕВИЧ В. В. Совершенствование техники бега	466
ДОРОЩЕНКО А. В., ПЕРЕЦ Н. А., ПЕРЕЦ А. Н. Травматизм в дзюдо	468
ДУБИНИНА А. П. Трансформация современной культуры: от постмодернизма к информационному этапу развития	470
ЗАМУРАЕВ В. Г. Гуманитарная составляющая как важная часть профессиональной подготовки будущих математиков	472
КАЗАНСКИЙ А. В., КОРНЕЕВА Н. Е., ПРОТАСОВА Т. В. Модель организации проектной деятельности в волонтерском движении	474
КОВАЛЕНКО О. Е., МЕДВЕДСКАЯ Т. В. Преимущества и недостатки дистанционного обучения в вузе	476
КОМАРОВА С. Л. Особенности работы инженерно-экономического факультета по адаптации студентов первого курса	478
КОПЫЛОВА Е. А., АФАНАСЕНКО Т. В. Исследование мотивации к занятиям физической культурой у студентов вуза технического профиля	480
КОРОЛЮН О. П. Война как триггер творческих инноваций.....	482
ЛИСОВАЯ И. А. Обоснование изменения перечня лабораторных работ в практикуме по дисциплине «Коррозия металлов».....	484
ЛОПАЦКИЙ Ю. Н. Высшее техническое образование в Беларуси: некоторые аспекты становления и развития	485
МАКАРОВА С. Е. Историческая память. О месте и роли дисциплины «Великая Отечественная война советского народа (в контексте Второй мировой войны)»	487
МУРАДЯН Н. В. Лингвокультурологический и обучающий потенциал интерактивного кабинета-музея в аспекте преподавания языков	489

ПАНЕЖА В. В. Арганізацыя пазааўдыторнай выхаваўчай работы і раскрыццё творчага патэнцыялу студэнтаў у межах вышэйшай навучальнай установы	491
ПОДОШЕВКО В. Д. Краеведческий музей Белорусско-Российского университета на современном этапе своего развития	493
ПОПЕЛЬШКО Д. М. Проблема использования интернет-ресурсов при преподавании гуманитарных дисциплин	495
РЫТОВА Н. Н. Гуманитарные дисциплины в технических вузах: проблемы преподавания	497
САДОВСКАЯ Л. А. Бег 3000 м как критерий общей выносливости у студентов основной и подготовительной групп	499
САМУЙЛОВ Д. Н., ПИСАРЕНКО В. Ф., МАЛЫШЕВА Е. А. Физическая подготовленность студентов первого и выпускного курсов Белорусско-Российского университета	501
САМУЙЛОВ Д. Н., ЩУР А. В. Состояние здоровья студентов Белорусско-Российского университета в современных условиях.....	503
СУХОЦКИЙ С. А. Стимулирование научной деятельности профессорско-преподавательского состава университета	505
ТАПОРЧИКОВА М. В. Физическое образование в контексте актуальных проблем высшего образования	507
ТАРЕЛКИН А. И. Классификация копинг-стратегий и копинг-ресурсов	509
ШАРАПОВА Е. В. Значимость использования национальных фольклорных текстов на занятиях по русскому языку как иностранному	511

УДК 669.1

РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕРЕДЕЛОВ,
 ВЫПОЛНЕННЫЕ В РАМКАХ ПОДПРОГРАММЫ «МЕТАЛЛУРГИЯ»
 В 2016–2020 ГОДАХ

А. В. ТОЛСТОЙ, С. Г. САНДОМИРСКИЙ
 Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
 Минск, Беларусь

Исследования в рамках подпрограммы выполнялись по четырем направлениям: литье и металлургия железуглеродистых сплавов; литье цветных металлов и сплавов; термическая обработка и упрочнение сталей и сплавов; обработка металлов давлением [1, 2].

В области литья и металлургии железуглеродистых сплавов выполнены моделирование гидродинамических процессов и анализ эффективности конструкции литниково-питающих систем, предназначенных для получения отливок-заготовок обрабатывающего инструмента и оснастки. Сформулирована математическая модель процесса затвердевания заготовки в условиях МНЛЗ, включающая уравнения теплопроводности, движения расплава в жидком ядре заготовки, массообмена (рис. 1). Достоинством данной модели является возможность более точного учета особенностей конструкции МНЛЗ и технологии непрерывной разливки.

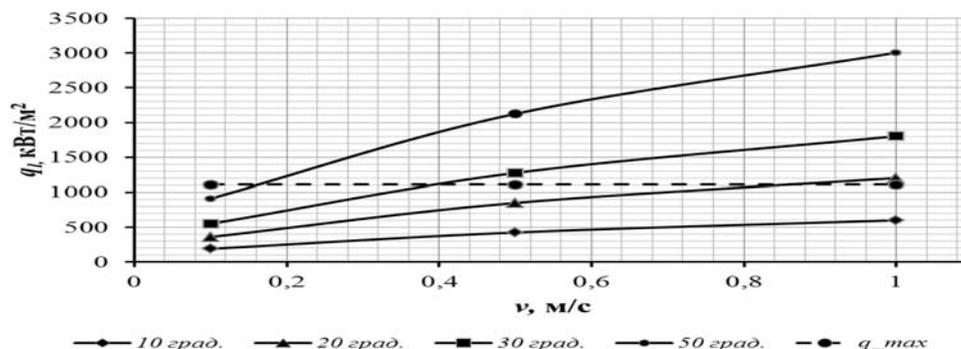


Рис. 1. Сравнение расчетных значений интенсивности теплообмена на фронте кристаллизации при различных температурах перегрева расплава в кристаллизаторе МНЛЗ

Разработана экспериментальная методика определения угара легирующих элементов и примесей при проведении серии опытных плавок в индукционных тигельных печах повышенной частоты, проведены натурные исследования по определению угара элементов при выплавке многокомпонентных высоколегированных железуглеродистых сплавов. Результаты исследований использованы при разработке технологических инструкций по выплавке износостойких чугунов в индукционной тигельной печи в производственных условиях.

Разработан экспериментальный состав утеплительной экзотермической смеси с ультрадисперсными частицами и проведено его промышленное опробование (рис. 2).

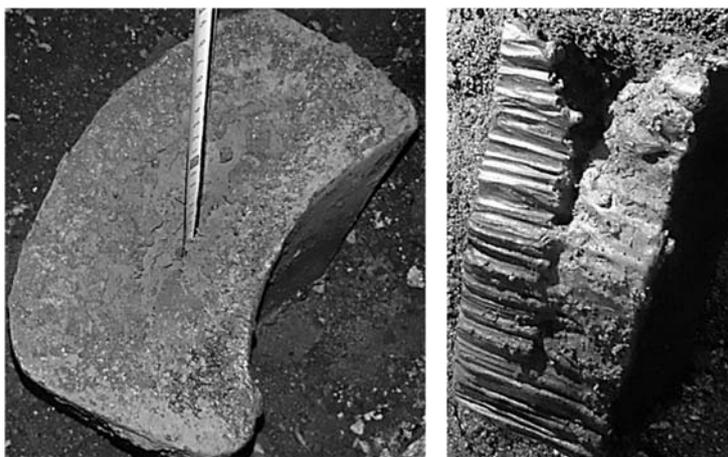


Рис. 2. Прибыльная часть отливки с использованием экзотермической смеси

Разработан состав и выпущена опытная партия комплексного модификатора с ультрадисперсными тугоплавкими компонентами для внепечной обработки стали с целью совершенствования структуры и свойств слитков и отливок.

Разработаны процессы получения комплексного металлургического сырья из железо- и углеродсодержащих отходов.

В области литья цветных металлов и сплавов Институтом технологии литья НАН Беларуси разработаны и созданы опытная установка и технологическая оснастка для получения полых фасонных заготовок из силуминов с глобулярным кремнием. Изготовлена охлаждаемая металлическая литейная форма для получения полых фасонных цилиндрических отливок с наибольшим наружным диаметром 145 мм и высотой 80 мм. Литьем в металлическую охлаждаемую форму получены экспериментальные образцы полых фасонных отливок из силумина АК14 с глобулярным эвтектическим кремнием.

Разработан и изготовлен макет опытно-экспериментальной плавильно-литейной установки непрерывного литья вверх (рис. 3).

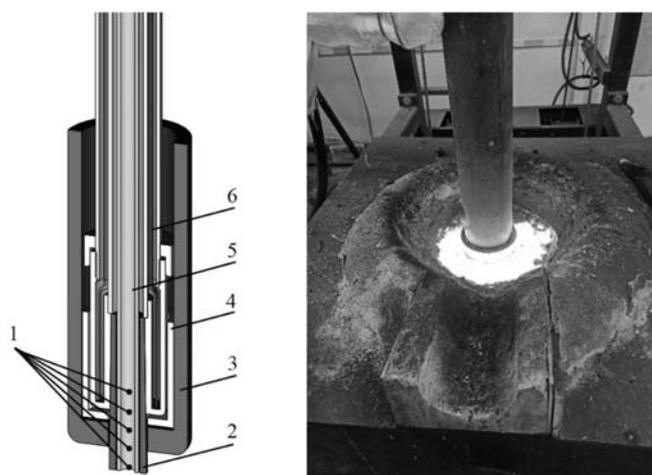


Рис. 3. Кристаллизатор установки непрерывного литья вверх и рабочий момент экспериментальной установки

Получены опытные партии алюминиевой катанки, которые прошли успешные испытания на действующем производстве ООО «ПО «Энергокомплект». Реализован договор на разработку и поставку промышленного оборудования для непрерывного литья вверх алюминиевой катанки диаметром 9,5 мм для ООО «ПО «Энергокомплект». Разработана литейная технология получения материалов с макрогетерогенной структурой на основе цветных металлов с высокими функциональными свойствами.

В области термической обработки и упрочнения сталей и сплавов Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси установлены зависимости, связывающие конструктивно-технологические параметры процесса электрофрикционного плакирования гибким инструментом (ЭФПИ) и тепловое состояние материала покрытия и контактирующего с ним ворса щетки, отличающиеся от известных учетом дополнительного тепла, возникающего от электрического тока (рис. 4).

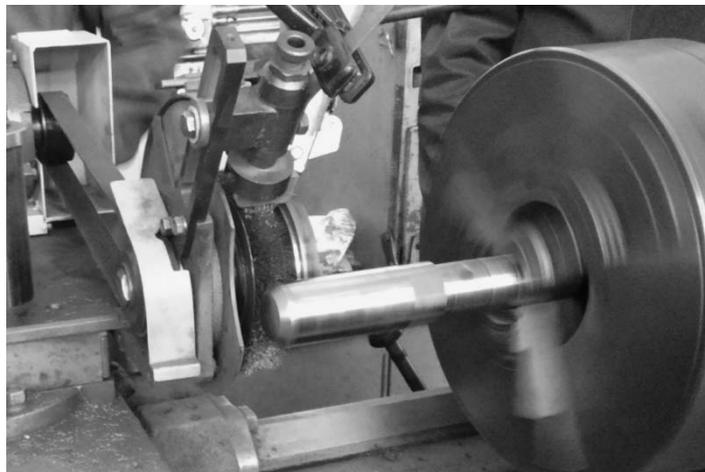


Рис. 4. Процесс нанесения покрытия на плунжер

Разработаны методика выбора экономнолегированной конструкционной стали для высоконапряженных зубчатых колес регламентированной долговечности, конструкторская документация индукционного нагревателя и технологический процесс применительно к изготовлению изделий типа ножей кормоуборочной техники. Проведены испытания экспериментальных образцов деталей на соответствие устойчивости к ударным нагрузкам и абразивному изнашиванию. Выполнено технологическое обоснование снижения деформаций и остаточных напряжений после термической обработки маложестких деталей типа дисков и валов с использованием динамической стабилизации на основе знакопеременного циклического нагружения.

В области обработки металлов давлением Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси выполнено технологическое обоснование снижения деформаций и остаточных напряжений после термической обработки маложестких деталей типа дисков и валов с использованием динамической стабилизации на основе знакопеременного циклического нагружения. Технологическое обоснование снижения деформаций и остаточных напряжений

маложестких деталей типа дисков и валов позволяет для такого типа деталей аналитическим путем определять режимы циклического знакопеременного нагружения и по расчетным параметрам этого нагружения с учетом конструктивных особенностей проектировать установки для реализации динамической стабилизации без проведения длительного и затратного цикла экспериментальных исследований.

Гомельским государственным техническим университетом имени П. О. Сухого разработана численная модель редуцирования горячедеформированных бесшовных стальных труб, позволяющая производить оценку напряжённо-деформированного, теплового состояния заготовки в процессе прокатки. Определено влияние деформационных режимов редуцирования на распределение напряжений, возникающих в заготовке в процессе прокатки, и степень неравномерности деформации стенки получаемого трубного профиля.

Физико-техническим институтом НАН Беларуси спроектирован инструмент для производства заготовок рабочих элементов шаровых мельниц из бывших в употреблении железнодорожных рельсов методом продольной прокатки (рис. 5).

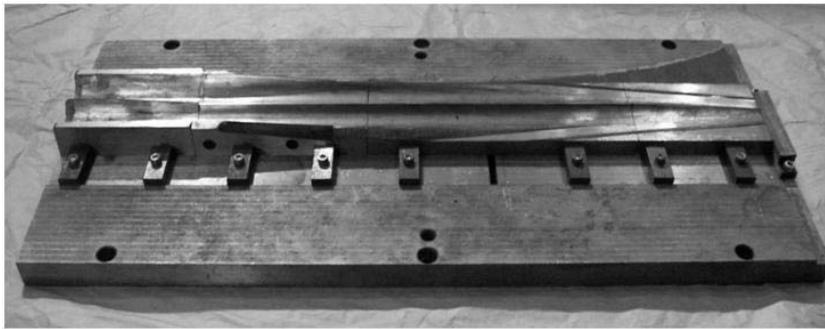


Рис. 5. Инструмент для поперечно-клиновой прокатки шаров

Разработана технология получения шаров для помола из бывших в употреблении железнодорожных рельсов методами прокатки для ОАО «Кобринский инструментальный завод «СИТОМО».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Витязь, П. А.** Исследования в области металлургических переделов, выполненные в рамках подпрограммы «Металлургия» в 2011–2015 годах. Ч. 1. Разработки в области литья и металлургии железоуглеродистых и цветных металлов и сплавов / П. А. Витязь, А. А. Шипко, А. В. Толстой // Металлургия в машиностроении Беларуси: итоги и перспективы научного обеспечения: сб. ст. – Минск: Беларуская навука, 2016. – С. 308–324.
2. **Витязь, П. А.** Исследования в области металлургических переделов, выполненные в рамках подпрограммы «Металлургия» в 2011–2015 годах. Ч. 2. Результаты в области термической обработки и обработки металлов давлением / П. А. Витязь, А. А. Шипко, А. В. Толстой // Металлургия в машиностроении Беларуси: итоги и перспективы научного обеспечения: сб. ст. – Минск: Беларуская навука, 2016. – С. 330–355.

УДК 621.3:658.34

СВЯЗЬ НАУКИ С ПРОИЗВОДСТВОМ – ВЕРНЫЙ ВЕКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ

Л. Г. ЧЕРНАЯ¹, А. Е. САЗОНКО²¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Департамент по надзору за безопасным ведением работ в промышленности

(Госпромнадзор)

Минск, Беларусь

Промышленная безопасность и деятельность научно-исследовательской лаборатории «Взрывозащищенное электрооборудование» (НИЛ «ВЗЭО») объединены общими целями и задачами: обеспечение взрывобезопасности производственных объектов, имеющих взрывоопасные газовоздушные и пылевоздушные среды (предприятия нефтехимического комплекса, пищевой промышленности, шахты и рудники). Направления деятельности, связанные с безопасной эксплуатацией электроустановок во взрывоопасных зонах, систем автоматизации и противоаварийной автоматической защиты взрывоопасных производств и объектов, повышением их надежности, представлены на рис. 1.



Рис. 1. Направления деятельности по обеспечению взрывобезопасности

Среди задач, решаемых в рамках данных направлений, – разработка программ и методик испытаний взрывозащищенных частотно-регулируемых

электроприводов. На промышленных предприятиях нефтехимического комплекса Республики Беларусь проводится модернизация ранее спроектированных систем электроприводов со взрывозащищенными асинхронными электродвигателями, установленными во взрывоопасных зонах. При этом основная цель данной модернизации – повышение энергоэффективности существующей системы электропривода за счет установки преобразователя частоты в цепи питания взрывозащищенного асинхронного электродвигателя. Основной проблемой такой модернизации системы является проведение комплексной оценки взрывобезопасности созданной системы «преобразователь частоты–асинхронный двигатель».

Для автоматизации обработки результатов проводимых испытаний на взрывобезопасность частотно-регулируемого электропривода НИЛ «ВЗЭО» создан программный комплекс TermoDrive, который позволяет провести анализ и дать рекомендации по применению частотно-регулируемых электроприводов для взрывоопасных зон (рис. 2).

Асинхронный электродвигатель взрывозащищенный

**тип BS187120TEFCWP
FLP-GIII (1Ex d IIB T3 Gb)**
питается от преобразователя частоты
типа АИН-ШИМ
установленного во
взрывобезопасной зоне
с диапазоном регулирования
скорости 1:4

175,0 Вт	50 Гц	595 об/мин	6000 В
110,3 кВт	32 Гц	381 об/мин	3845 В
37,3 кВт	2,4 Гц	148 об/мин	1494 В

**Преобразователь с ШИМ
Режим S1
Нагрузка электродвигателя -
компрессор**

Рис. 2. Окно программного комплекса TermoDrive и рекомендации по применению электродвигателя для взрывоопасной зоны, питаемого от преобразователя частоты

Полученные рекомендации внедрены на ОАО «Нафтан», ОАО «Гродно Азот», РУП «Производственное объединение «Белоруснефть».

Следующей группой задач является разработка научно-методических материалов по расчету размеров и классификации взрывоопасных зон. В связи с принятыми новыми принципами классификации взрывоопасных зон возникла

необходимость в разработке методики по ее определению для предприятий, имеющих взрывоопасные производства. Переход на новые принципы классификации взрывоопасных зон приводит не только к сокращению материально-технических затрат, но и позволяет: получить наглядную картину, отражающую уровень опасности и размеры взрывоопасных зон; оценить надёжность проектных решений; оценить необходимый парк взрывозащищенного электрооборудования, эксплуатируемого в пределах рассчитанных зон.

Разработанная НИЛ «ВЗЭО» методика классификации взрывоопасных зон определяет чёткие границы пространств повышенного риска. В результате определения размеров и классов взрывоопасных зон по данной методике стало возможным обеспечить рациональный выбор и размещение электрооборудования с точки зрения взрывобезопасности для предприятий ПТК «Химволокно» ОАО «Гродно Азот», РУП «Производственное объединение «Белоруснефть».

С целью безопасной эксплуатации и ремонта взрывозащищенного электрооборудования, в рамках хозяйственных договоров с ведущими предприятиями Республики Беларусь, такими как ОАО «Мозырский НПЗ», г. Мозырь; РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель; ОАО «Нафтан», г. Новополоцк; ОАО «Гродно Азот», г. Гродно; завод «Полимир» ОАО «Нафтан», г. Новополоцк, НИЛ «ВЗЭО» проводит исследования технических параметров взрывозащищенного электрооборудования на основе эскизирования и разрабатывает ремонтно-эксплуатационную документацию, включая методики по ремонту и методики по эксплуатации, на взрывозащищенные электродвигатели, контрольно-измерительные приборы (рис. 3).

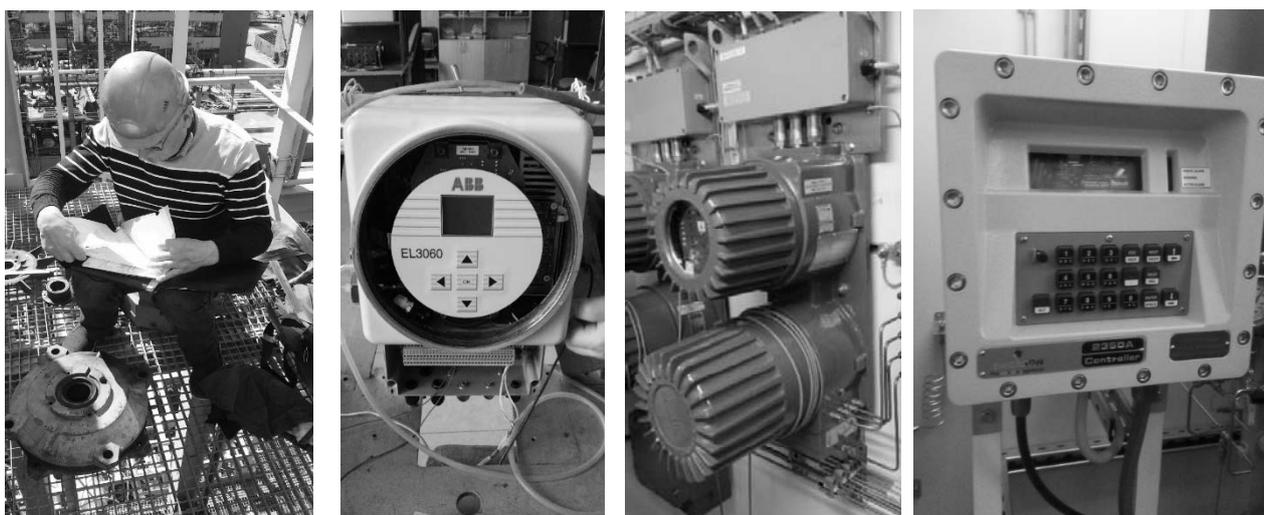


Рис. 3. Эскизирование и исследование технических параметров взрывозащищенного электрооборудования

НИЛ «ВЗЭО» привлекает студентов и магистрантов участвовать в работах по хозяйственным договорам. На базе лаборатории создано студенческое конструкторское бюро. Результаты студенческой научно-исследовательской работы: внедрены в производство в соответствии с заключенными хозяйственными договорами; используются в учебном процессе на кафедре «Электропривод и автоматизация промышленных установок» (при чтении лекций по дисциплинам «Автоматизация типовых технологических установок и комплексов», «Информационно-измерительные системы автомобилей и тракторов», «Введение в электромеханические системы», «Компьютерные расчеты режимов работы электрических сетей и систем энергоснабжения», «Обслуживание электроустановок во взрывоопасных зонах»; выполнении курсовых и дипломных работ, магистерских диссертаций).

В рамках представленных направлений деятельности проводится повышение квалификации и аттестация специалистов как на базе Института повышения квалификации и переподготовки кадров Белорусско-Российского университета, так и на базе предприятий Республики Беларусь по направлению «Эксплуатация, ремонт, монтаж, наладка, обслуживание, проектирование систем автоматического (автоматизированного) управления и противоаварийной защиты для взрывоопасных сред, включая оборудование во взрывозащищенном исполнении» по учебным программам, скорректированным и согласованным с Госпромнадзором с учетом специфики предприятий.

С целью повышения качества обучения и контроля знаний НИЛ «ВЗЭО» выполнена разработка комплекса программного обеспечения, позволяющего автоматизировать процесс повышения квалификации, переподготовки и аттестации специалистов. В состав программного комплекса входят программы: Ex_Mark – предназначена для идентификации и расшифровки маркировки взрывозащиты взрывозащищенного электрооборудования; Ex_Zone – предназначена для получения навыков по определению параметров взрывозащиты, оценке искробезопасности взрывозащищенного электрооборудования; Ex_Drive – предназначена для формирования и ведения паспортов индивидуальной эксплуатации на взрывозащищенное электрооборудование; Ask_Ex – предназначена для проведения компьютерного тренинга и тестирования знаний в области требований взрывобезопасности.

Рассмотрев направления деятельности НИЛ «ВЗЭО», можно судить об их научно-практической значимости. Все вышеуказанные задачи для промышленных предприятий нефтехимического комплекса решаются специалистами НИЛ «ВЗЭО» в рамках договора о сотрудничестве с Департаментом по надзору за безопасным ведением работ в промышленности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госпромнадзором).

УДК 621.9

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

А. В. АКУЛИЧ¹, В. М. ЛУСТЕНКОВ¹, В. М. АКУЛИЧ²¹Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В Республике Беларусь большое внимание уделяется развитию различных производств, результативность которых зависит от эффективности работы оборудования. Современные промышленные теплотехнологические установки оснащены системой пылеулавливания, которая, с одной стороны, решает экологическую проблему, связанную с выбросами мелкодисперсных твердых частиц в окружающую среду, а с другой стороны, экономическую – способствует уменьшению потерь готового продукта.

Осуществлен подбор научно-технической информации и дан анализ существующих систем пылеулавливания промышленных теплотехнологических установок. Установлено, что чаще всего применяются одноступенчатые системы пылеочистки, которые в зависимости от свойств и характеристик пылей содержат циклоны различных типов и конструкций. В отдельных случаях в установках используются рукавные фильтры.

Разработаны и исследованы вихревые пылеуловители различных типов и конструкций, основанные на взаимодействии двух закрученных потоков газозвеси, которые рекомендованы к использованию в одноступенчатых системах пылеулавливания. Они расширяют область применения сухой центробежной очистки пылегазовых выбросов в теплотехнологических установках.

Установлено, что при очистке пылегазовых потоков с большой концентрацией мелкодисперсных твердых частиц одноступенчатые системы пылеулавливания не обеспечивают требуемую эффективность очистки. Для повышения эффективности работы промышленных теплотехнологических установок целесообразно применять двухступенчатые системы пылеулавливания, состоящие из последовательно установленного пылеулавливающего оборудования различного типа, которые обеспечивают требуемую производительность при высокой эффективности улавливания и невысоком гидравлическом сопротивлении.

Предложена двухступенчатая система пылеулавливания, состоящая из последовательно установленных циклона и вихревого пылеуловителя. Для улавливания различных мелкодисперсных материалов в промышленных теплотехнологических установках рекомендуется использовать циклоны и вихревые пылеуловители различных типов как прямоточные, так и противоточные. Кроме того, необходимо выполнять компоновку пылеуловителей таким образом, чтобы двухступенчатая система содержала как можно меньше соединительных воздухопроводов.

УДК 621.785

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА МОДИФИЦИРОВАНИЕМ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВАЮ. Г. АЛЕКСЕЕВ¹, А. С. БУДНИЦКИЙ¹, Г. М. СЕНЧЕНКО²¹Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Благодаря особым свойствам титан и сплавы на его основе получили в настоящее время широкое распространение при производстве ряда ответственных изделий. Эти материалы применяются в самолетостроении, атомной энергетике, космической технике, ультразвуковой технике, а также при производстве изделий медицинского назначения. Причем именно производство изделий медицинского назначения является в последнее время одной из важнейших сфер применения титана и его сплавов.

К важнейшим преимуществам титана и титановых сплавов относятся малая плотность, высокая удельная прочность, высокая жаропрочность и чрезвычайно высокая коррозионная стойкость, обусловленная способностью титана образовывать на поверхности тонкие сплошные оксидные пленки. При этом имеются недостатки, которые ограничивают, а в некоторых случаях делают невозможным применение титана при изготовлении многих изделий. К ним относятся низкая износостойкость и усталостная прочность, плохие антифрикционные свойства, обусловленные налипанием частиц титана на контртело, в особенности при работе пары трения титан–титан. Поэтому применение изделий из титана и его сплавов в узлах трения и в подвижных соединениях является крайне ограниченным. Обладая незначительной толщиной окисной пленки и большой реакционной способностью участков поверхностей, образующихся в процессе трения, титан склонен к схватыванию с последующим повреждением поверхностей контакта.

Существующие способы повышения твердости, износостойкости и антифрикционных характеристик поверхности изделий авиационной техники, машиностроения и медицины из титана и его сплавов, применяемые в настоящее время в мировой практике, основаны на модифицировании поверхностного слоя с применением ионно-плазменных и химико-термических методов. Данные методы позволяют получать на поверхности титана и его сплавов упрочненные слои с микротвердостью до 20 ГПа толщиной до 0,2 мм.

Повышение прочностных и антифрикционных свойств поверхности титана и его сплавов методом химико-термической обработки достигается за счет диффузионного насыщения азотом, бором, кремнием, металлами. Наиболее распространенным видом химико-термической обработки титана и титановых сплавов является азотирование, позволяющее добиться высоких значений микротвердости. Химико-термическое азотирование титана достигается

нагреванием его в атмосфере аммиака или азота соответственно при 870 и 980 °С. Недостатком метода является ухудшение таких механических свойств титана, как прочность, пластичность и вязкость, что связано с образованием на поверхности, наряду с нитридным, также и гидридного слоя. Другой недостаток способа – малая глубина упрочненного слоя – до 0,16 мм. Кроме того, максимальное упрочнение поверхности достигается после очень продолжительной обработки – 16 ч. Ионно-плазменное азотирование обеспечивает диффузионное насыщение поверхностного титана и титановых сплавов азотом в азотной плазме при температуре 800...950 °С. Кроме повышения износостойкости и антифрикционных характеристик, метод обеспечивает повышение коррозионной стойкости поверхности титана. К недостаткам метода необходимо отнести сложность его реализации, необходимость дорогостоящего технологического оборудования и достаточно большую длительность обработки – 3...6 ч.

В качестве альтернативы существующим методам модифицирования поверхности титана и титановых сплавов предложен метод электрохимико-термической обработки – электролитно-плазменный нагрев в азот- или углеродсодержащем электролите с последующей закалкой путем отключения рабочего напряжения [1]. При подаче напряжения в диапазоне 100...300 В на электрохимическую ячейку вокруг заготовки происходит локальное вскипание жидкости за счет выделения джоулева тепла. В этих условиях электролит вблизи поверхности заготовки разогревается до температуры кипения и обрабатываемая заготовка, оказываясь отделенной от основной массы электролита, разогревается до температуры 400...1100 °С. Высокие температуры заготовки позволяют проводить насыщение поверхности атомами легких элементов, содержащихся в веществах-донорах, растворенных в электролите. Наличие в электролите углеродсодержащих и азотсодержащих компонентов обуславливает определенный углеродный или азотный потенциал парогазовой оболочки, в результате чего становится возможной химико-термическая обработка. В условиях электролитно-плазменного нагрева интенсифицируются диффузионные процессы, что позволит значительно сократить время химико-термической обработки до 5...10 мин.

Преимуществом такого метода перед другими существующими методами термической обработки является высокая скорость нагрева заготовки (до 250 °С/с), а также высокая скорость диффузионного насыщения (до 100 мкм/мин). Кроме того, применение электролитно-плазменного нагрева позволяет сформировать на поверхности защитный оксидный слой, обеспечивающий дополнительное повышение коррозионной стойкости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности электролитно-плазменного нагрева при электрохимико-термической обработке стали / Ю. Г. Алексеев [и др.] // Наука и техника. – 2013. – № 6. – С. 20–24.

УДК 621.794.61

ФОРМИРОВАНИЕ СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Ю. Г. АЛЕКСЕЕВ¹, А. Э. ПАРШУТО¹, Г. М. СЕНЧЕНКО²

¹Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Светопоглощающие покрытия применяются в электронно-оптических системах, в приборостроении для снижения рассеянного светового фона, а также при изготовлении приемников излучения, преобразователей солнечной энергии, устройств оптической обработки информации, которые изготавливаются, как правило, из алюминиевых и титановых сплавов. Такие покрытия обеспечивают ослабление фонового излучения. Коэффициент ослабления различается в зависимости от типа и материалов покрытий, химико-физических свойств поверхностей, на которые их наносят.

К светопоглощающим покрытиям предъявляются особые требования: обеспечение заданного спектрального коэффициента отражения и коэффициента яркости; обеспечение механической прочности, твердости и стойкости к воздействию внешней среды в течение срока эксплуатации изделия, высокая адгезия покрытия к основанию. В ряде случаев от покрытия требуется также высокая устойчивость к ультрафиолетовому и ионизирующему излучению, низкому давлению.

Существующие в настоящее время методы получения светопоглощающих покрытий включают химические методы, анодное оксидирование с последующим окрашиванием в анилиновых красителях, электрохимическое осаждение, вакуумно-плазменную обработку, микродуговое оксидирование (МДО). Преимуществом химических методов является возможность обработки поверхностей сложных форм, а также низкая стоимость промышленного оборудования для получения покрытий. Основным недостатком является сложность управления в широких пределах эксплуатационными свойствами покрытий: коэффициентами отражения и яркости, адгезией, износостойкостью. Преимущество вакуумного метода нанесения светопоглощающих покрытий заключается в гибком управлении технологическими параметрами процесса, достижении заданных спектральных значений коэффициента отражения, что весьма затруднительно при использовании химических методов. При этом недостатком является сложность технологии, необходимость контроля большого количества технологических характеристик и высокая стоимость технологического оборудования.

Недостатками применяемых процессов черного никелирования являются, как правило, низкая коррозионная стойкость, низкая износостойкость форми-

рующихся покрытий, а также их слабое сцепление с металлом основы. Ультрачерные пленки, получаемые анодным оксидированием с последующим заполнением пор черным анилиновым красителем, не устойчивы к ультрафиолетовому и ионизирующему излучению.

Существующие методы, основанные на применении МДО, обеспечивают высокие прочностные и эксплуатационные характеристики светопоглощающих покрытий: высокую износостойкость, твердость, термостойкость, коррозионную стойкость, хорошую адгезию к основе. Главным недостатком МДО являются низкие коэффициенты поглощения формируемых покрытий. Кроме того, особой проблемой является создание на базе метода МДО таких покрытий как на наружных, так и на внутренних поверхностях длинномерных изделий и изделий сложной формы – внутренних и наружных поверхностей корпусов оптических приборов, которые эксплуатируются в жестких условиях.

В применяемых методах МДО, как правило, используется переменный ток промышленной частоты (50 Гц), что сильно ограничивает возможность управления амплитудно-частотными характеристиками рабочих импульсов и свойствами формируемых оксидных слоев. Поэтому повышение оптических поверхностей обычно осуществляется за счет разработки новых или усовершенствования существующих электролитов для МДО. Причем часто такие электролиты содержат токсичные компоненты и требуют постоянной корректировки в процессе работы, что затрудняет их широкое практическое применение.

Наряду с разработкой новых электролитов возможным решением проблемы получения качественных светопоглощающих слоев на изделиях из алюминиевых и титановых сплавов с низким коэффициентом отражения является совершенствование характеристик технологических импульсов процесса МДО и создание принципиально новых схем обработки с применением потоков электролита. Поэтому для решения проблемы получения качественных светопоглощающих покрытий, в том числе и на внутренних поверхностях, было предложено выполнять процесс МДО с управляемыми анодными и катодными импульсами длительностью 3...10 мс с использованием специальной электродно-гидравлической системы. Изменение соотношений длительностей и амплитуд анодных и катодных импульсов тока позволяет значительно расширить технологические возможности процесса оксидирования, что дает возможность управлять характеристиками формируемых светопоглощающих покрытий в широких диапазонах значений.

Для формирования на внутренней поверхности трубчатых изделий из алюминиевых и титановых сплавов оксидных слоев разработана специальная электродно-гидравлическая система, позволяющая создать в зоне обработки необходимые электрические и гидравлические условия для успешного протекания микродугового плазменного процесса.

УДК 621.81

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК

В. Е. АНТОНЮК, С. Г. САНДОМИРСКИЙ
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Кольцеракатку [1] широко используют в автомобилестроении. Анализ зарубежных научно-технических источников показал, что современный объем производства заготовок бесшовных колец достигает 16 % производства кузнечных заготовок. Кроме изготовления сложных деталей, кольцеракатка позволяет создавать ответственные детали машиностроения с высокими точностью и механическими свойствами.

В Европе работает более 30 кольцеракатных производств, из которых только две линии (одна из них – на Минском подшипниковом заводе) являются автоматизированными. В 2021 г. планируют закупку технологии и оборудования автоматизированной линии для изготовления кольцевых заготовок для БЕЛАЗа. При этом наблюдается острый дефицит специалистов, квалификация которых позволит обеспечить бесперебойную эксплуатацию автоматизированных кольцеракатных комплексов, работающих и планируемых к запуску на белорусских предприятиях.

Рассмотрены требования к специальностям, необходимым для подготовки специалистов, обеспечивающих работу белорусских автоматизированных линий изготовления кольцевых заготовок.

В основе кольцеракатки лежит пластическое деформирование материалов и при разработке технологий кольцеракатки используют его основные положения [2]. Пластическое деформирование начинается с теплового преобразования металла, для чего используют разные виды нагрева и кузнечно-прессового оборудования. Выполнение этой операции требует соблюдения условий течения материала без образования трещин и внутренних напряжений. Правильным выбором схемы течения материала и соотношения усилий деформирования и пластичности можно достичь улучшения структуры материала и механических свойств изготавливаемой детали. Перспективными являются процессы пластического деформирования с многократным нагружением, к которым относятся радиальная и радиально-осевая кольцеракатки.

При осуществлении кольцеракатки деформирование и течение материала аналогично процессу прокатки. Современные процессы пластического деформирования используют сложные кинематические системы и схемы деформирования деталей с целью сокращения зоны деформирования и снижения усилий деформирования (рис. 1) [3].

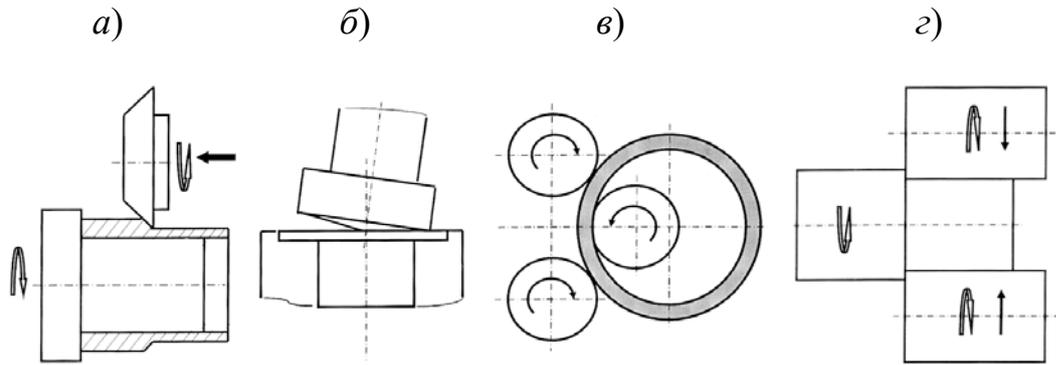


Рис. 1. Развитие схем пластического деформирования с сокращением зоны деформирования: *а* – обкатка роликом; *б* – сферодвижущая раскатка; *в* – кольцераскатка; *г* – радиально-осевая прокатка валов

Результат создания таких схем – многократное приложение нагрузок, вследствие чего снижаются усилия для установок пластического деформирования и затраты на изготовление деталей с его использованием. При использовании радиально-осевой прокатки валов (см. рис. 1, *г*) и кольцераскатки (см. рис. 1, *в*) сокращение зоны деформирования позволяет достичь экономии материала около 20 % [1, 2].

При расчете технико-экономических показателей кольцераскатки учитывают потери материала на образование окалины при нагреве. В зависимости от программы изготавливаемых колец следует рассчитать затраты на получение профильного кольца и выгоду от экономии материала, сопоставить эти затраты с изготовлением кольца прямоугольного сечения с учетом последующей механической обработки.

Исследования кольцераскатки послужили созданию и развитию систем управления ею на основе современной компьютерной техники [2].

Проведенный анализ позволил сформулировать требования к знаниям специалистов для обеспечения эксплуатации белорусских автоматизированных линий изготовления кольцевых заготовок: нагрев сталей; пластическое деформирование сталей; моделирование пластического деформирования; особенности кольцераскатки; охлаждение и деформирование; передача тепла и рекуперация тепла; особенности управления системами автоматизации и транспорта; термообработка; остаточные напряжения; высоколегированные стали в условиях нагрева и охлаждения. Если специалистов не подготовить вовремя, полноценная эксплуатация белорусских автоматизированных кольцераскатных комплексов будет невозможна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кольцераскатка в производстве деталей машиностроения / В. Е. Антонюк [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2013. – 188 с.
2. **Groche, P.** Inkrementelle Massivumformung / P. Groche, D. Fritsche // Werkstattstechnik. – 2005. – № 10. – P. 798–802.

УДК 621.735.34

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКРЫТИЯ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОТЯЖКЕ В СТУПЕНЧАТО-КЛИНОВИДНЫХ БОЙКАХ

А. В. ВОЛОКИТИН, А. О. ТОЛКУШКИН,
Е. А. ПАНИН, И. Е. ВОЛОКИТИНА
Рудненский индустриальный институт
Рудный, Казахстан

Получение поковок высокого качества, без внутренних дефектов является одной из первостепенных задач процессаковки. На закрытие и залечивание внутренних дефектов благоприятно влияет реализация механизма знакопеременной деформации [1–5]. Реализовать существенные знакопеременные деформации в металле при его ковке можно в разработанных ступенчато-клиновидных бойках. Целью данной работы было изучить на основе компьютерного моделирования в программном комплексе DEFORM-3D влияние реализуемой в ступенчато-клиновидных бойках знакопеременной деформации на закрытие внутренних дефектов. Для данного моделирования в программном комплексе КОМПАС были построены модели ступенчато-клиновидных бойков и исходных заготовок размерами $30 \times 60 \times 200$ мм. В исходных заготовках по всему сечению прошили отверстия диаметром 3 мм, которые имитировали внутренние дефекты в реальном металле (пустоты, поры и т. д.).

Исследование процесса закрытия внутренних дефектов при деформировании заготовок в ступенчато-клиновых бойках осуществляли в трех сечениях и при трех величинах обжатия: 10, 15 и 20 % (рис. 1).

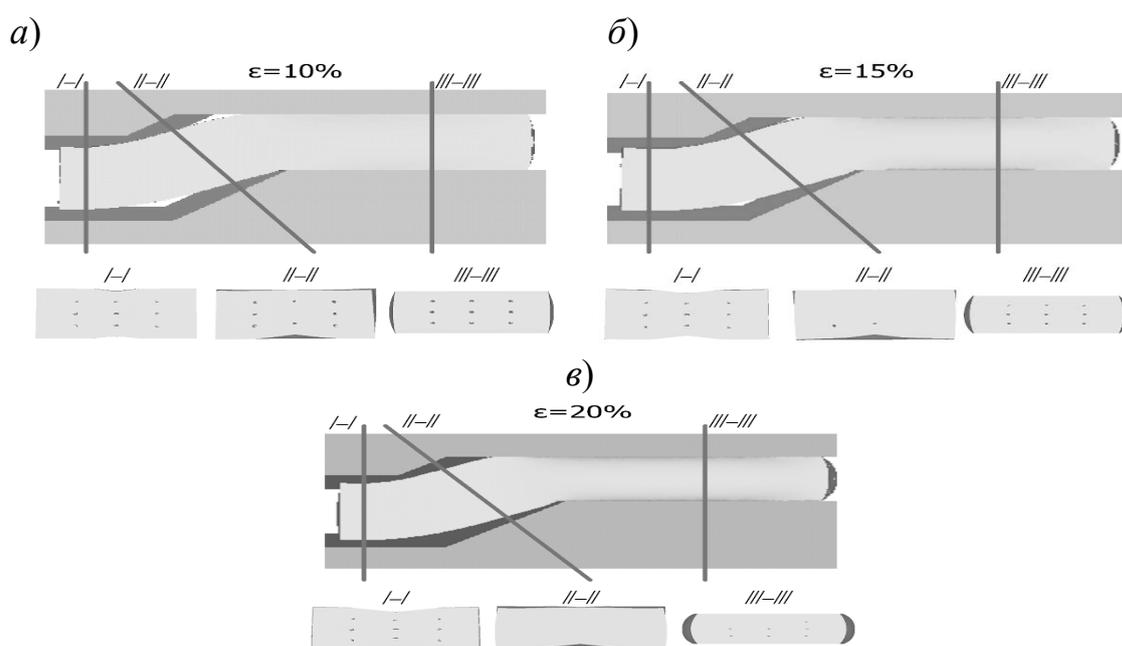


Рис. 1. Результаты моделирования закрытия внутренних дефектов

Проведенный анализ результатов закрытия внутренних дефектов, распределенных по сечению деформируемых заготовок, показал, что при деформировании заготовок в ступенчато-клиновых бойках уже при обжатии 15 % на ступени бойков, выполненной с клином (сечение II–II), дефекты практически закрылись. Полное закрытие внутренних дефектов на данном участке произошло при обжатии 20 %. Менее интенсивнее происходит закрытие внутренних дефектов на первом участке с клином (сечение I–I), в данном случае происходит более интенсивное закрытие дефектов по середине сечения. На плоском участке бойков, выполненном без клина (сечение III–III), закрытие дефектов в основном происходит по ковочному кресту. Но даже при обжатии 20 % закрытия дефектов в сечениях I–I и III–III не наблюдается.

Но в связи с тем, что ковка в ступенчато-клиновых бойках подразумевает не процесс осадки, а процесс протяжки, то в ходе обжатия весь объем заготовки будет проходить все три участка заготовки, что будет способствовать более интенсивному закрытию внутренних дефектов, т. к. на этих участках предполагается различная схема закрытия внутренних дефектов. Как уже отмечалось, на плоском участке будет происходить закрытие дефектов в основном в центральной части, на наклонном – по всему сечению, а на плоском – как по ковочному кресту, так и по всему сечению, т. к. в этом случае дополнительно будет реализовываться схема знакопеременной деформации в результате выпрямления заготовки. В итоге можно сделать вывод, что ковка заготовок в ступенчато-клиновидных бойках будет благоприятно влиять на закрытие внутренних дефектов, распределенных по сечению деформируемых заготовок и слитков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Марков, О. Е.** Изменение размеров осевых дефектов при осадке заготовок / О. Е. Марков // *Обработка материалов давлением: сб. науч. тр.* – Краматорск: ДГМА, 2011. – № 4 (29). – С. 103–110.
2. Условия развития сдвиговых деформаций при ковке заготовок в ступенчатых бойках / В. К. Воронцов [и др.] // *Изв. вузов. Черная металлургия.* – 1987. – № 5. – С. 50–53.
3. **Тюрин, В. А.** Инновационные технологииковки с применением макросдвигов / В. А. Тюрин // *КШП ОМД.* – 2007. – № 11. – С. 15–20.
4. **Найзабеков, А. Б.** Анализ формоизменения и закрытия внутреннего осевого дефекта заготовки / А. Б. Найзабеков, Ж. А. Ашкеев // *Изв. вузов. Черная металлургия.* – 1995. – № 2. – С. 34–35.
5. **Naizabekov, A. B.** Investigation of the billet deformation process in the dies with elastic elements realizing a cross and a longitudinal shear / A. B. Naizabekov, S. N. Lezhnev // *Materials Science Forum.* – 2008. – Vol. 575–578. – P. 555–559.

УДК 621.771

МИКРОСТРУКТУРА БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОКИ,
ДЕФОРМИРОВАННОЙ МЕТОДОМ «ПРЕССОВАНИЕ–ВОЛОЧЕНИЕ»

И. Е. ВОЛОКИТИНА, Т. Д. ФЕДОРОВА

Рудненский индустриальный институт

Темиртау, Казахстан

Важной задачей в современном материаловедении является прогнозирование структуры и свойств материалов после деформационных воздействий, не проводя при этом натуральных экспериментов. Поэтому исследование процессов трансформации структуры, происходящих в биметаллических проволоках, и разработка моделей процессов деформирования биметаллических проволок достаточно актуальны. На данный момент существует ограниченное количество работ, посвященных изменению микроструктуры биметаллической проволоки при ее деформировании, т. к. сталь и медь имеют разные механические свойства, эти металлы на границе раздела могут деформироваться по-разному, чтобы оставаться «связанными» друг с другом во время волочения. Поэтому целью настоящего исследования является исследование эволюции микроструктуры биметаллической проволоки в процессе РКУП-волочения.

Лабораторный эксперимент проводился на промышленном волочильном стане В-1/550 М. Для этого перед волокой была закреплена равноканальная ступенчатая матрица с диаметром каналов, равным 10,0 мм, и углом стыка каналов матрицы, равным 145°. Матрица была расположена в контейнере для смазки. Деформирование осуществлялось в три прохода. Начальный диаметр исходной заготовки составлял 10,0 мм. После первого и второго проходов в контейнер для смазки устанавливали новую равноканальную ступенчатую матрицу и волоку с меньшим диаметром канала. Для волочения применялись твердосплавные волокнистые каналы с полированными каналами, уменьшенными углами конусности рабочей зоны и плавными переходами от одной зоны к другой. Подготовка поверхности биметаллической проволоки к волочению проводилась по обычной для проволоки из стали технологии, в качестве смазки использовалась смесь порошков мыла и серы. Скорость прохождения проволоки через матрицу составляла 10 мм/с, а через фильеру – 13,6 мм/с. Дефектов поверхности обнаружено не было.

Начальная микроструктура была изучена с помощью оптической микроскопии на травленном образце в светлой области с помощью микроскопа Leica (Германия). Для исследования вырезались образцы длиной 15 мм биметаллической проволоки, затем на торцевых сторонах этих заготовок приготавливали микрошлифы. Для удобства приготовления и отсутствия завалов плоскости шлифы закрепляли в струбцине.

Микроструктура исходной сталемедной проволоки, полученной на оптическом микроскопе, приведена на рис. 1, *а*. Размер зерен меди составляет 50 мкм, микроструктура стального сердечника соответствует характерной структуре низкоуглеродистой доэвтектоидной стали, размер зерен составляет 18 мкм.

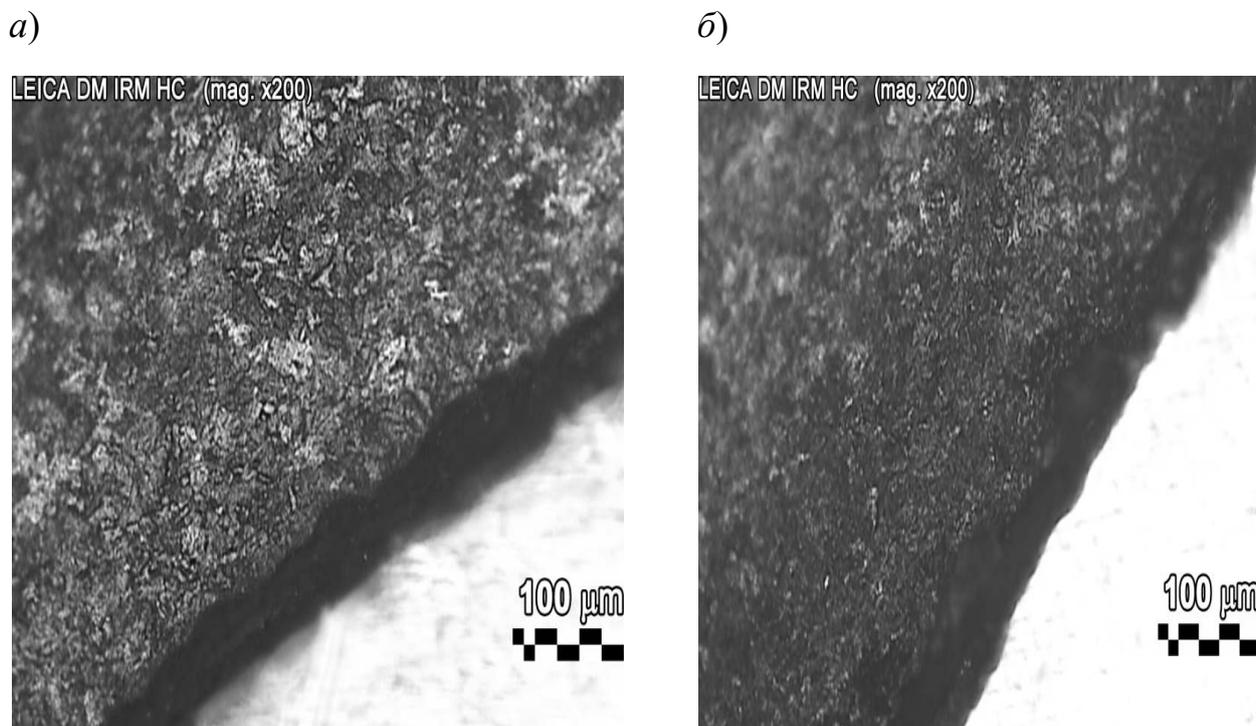


Рис. 1. Микроструктура сталемедной заготовки, полученной на оптическом микроскопе: *а* – исходная проволока; *б* – три прохода РКУП-волочения

Как видно из рисунка, РКУП-волочение сталемедной проволоки сопровождается значительными изменениями как в поверхностных слоях, так и в центральной области образцов. Размеры и морфология структурных составляющих, сформированных в оболочке волокон, неразличимы даже при больших увеличениях (рис. 1, *б*).

Важным результатом исследования, демонстрирующим высокую технологичность и практическую ценность процесса, является то, что при совмещении РКУП с традиционным волочением проволоки на меньший диаметр полученная при РКУП структура после волочения не только сохраняется, но и измельчается.

УДК 004.356.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕЧАТИ НА 3D-ПРИНТЕРЕ ULTIMAKER

О. А. ВОРОБЬЕВА, М. В. СЕРИКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Печать на 3D-принтере – это изготовление предметов из пластика по ранее созданной цифровой модели. Процесс представляет собой последовательное нанесение слоев жидкого пластика по заданным координатам.

Рассмотрим некоторые особенности печати на примере «раструба», а также как расположение детали на столе 3D-принтера влияет на качество печати.

На рис. 1 деталь расположена вертикально. Такое расположение хорошо сказывается на качестве поверхности, но также влияет и на прочность, т. к. при эксплуатации нагрузка будет идти вдоль укладки слоев и деталь будет хрупкой.



Рис. 1. Вертикальное расположение детали

На рис. 2 деталь расположена горизонтально, что сильно сказывается в худшую сторону на качестве поверхности (есть дефекты после печати), но в то же время повышается прочность детали, т. к. слои при эксплуатации детали будут идти поперек.

С помощью поддержек (рис. 3) можно напечатать деталь со сложной формой (с множественными навесными элементами) или большими размерами. Но устанавливать поддержки нужно в таких местах, чтобы их легко можно было удалить и они минимально влияли на качество поверхности. Большинство слайсеров автоматически выставляют поддержки в нужные места на детали, но для более сложных изгибов лучше их добавлять самостоятельно. После печати следует доработать поверхности наждачной бумагой. Для несложных деталей,

без изгибов, можно делать печать без поддержки (рис. 4), но располагать её так, чтобы при печати она не отвалилась из-за маленькой площади соприкосновения со столом. При печати с поддержками возрастает расход пластика, однако возрастает и площадь прилипания к столу и устойчивость детали.



Рис. 2. Горизонтальное расположение детали

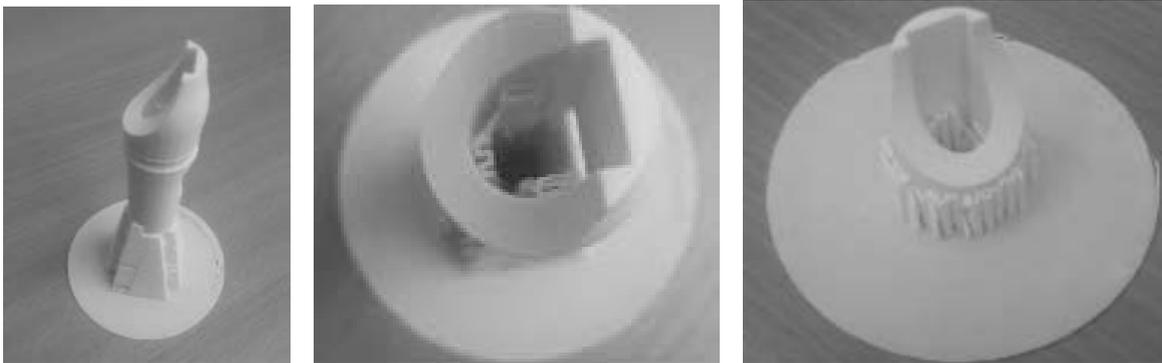


Рис. 3. Печать с поддержками

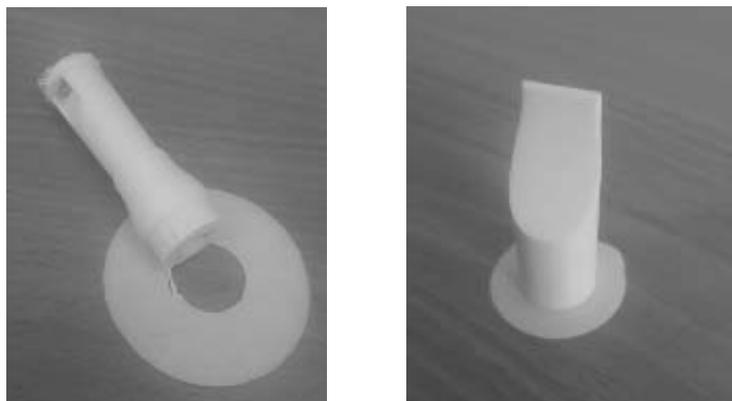


Рис. 4. Печать без поддержек

Таким образом, при выборе способа печати нужно учитывать сложность детали и необходимость высокого качества печати.

УДК 621.83

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛИСТОГИБА С ПОВОРОТНОЙ БАЛКОЙ

Д. С. ГАЛЮЖИН, Е. Г. КРИВОНОГОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В Республике Беларусь немалое количество оборудования, которое морально устарело, однако не имеет большого физического износа. Таким образом, имеется необходимость в оценке данного оборудования с точки зрения модернизации. Так, для проведения модернизации был выбран листогиб с поворотной балкой модели ИВ2144. Листогибы с поворотной балкой выпускались в СССР на Нелидовском заводе гидравлических прессов. Оборудование на тот момент не оснащалось системами ЧПУ, что в итоге приводило к невысокой производительности и долгой переналадке оборудования. К настоящему времени этот тип оборудования, выпускаемый в мире, является одним из востребованных и оснащается интеллектуальной системой ЧПУ и роботизированным рабочим местом.

Имеющаяся в наличии гидроаппаратура не представляла интерес с точки зрения восстановления и применения в ней современной системы управления, в связи с чем была разработана новая принципиальная гидравлическая схема. Одним из главных преимуществ данной системы было использование одного насоса требуемой производительности с объемным регулированием вместо трех, а также современных гидрораспределителей и датчика давления.

Предлагаемая модернизация позволит, с применением относительно недорогой системы управления, выполнять следующие настройки: прижим листа с требуемым усилием; гибку листа на заданный угол; изменение глубины расположения упоров; введение корректировки с учетом толщины листа. Режимы работы в станке: ручной и полуавтоматический. Для работы на обоих режимах используется одна педаль. На ручном режиме цикл выполняется до тех пор, пока нажата педаль, при полуавтоматическом режиме нажатие педали приводит к выполнению цикла полностью. Применяемые последовательные циклы следующие: прижим заготовки; гибка; отжим заготовки. На дисплее имеется следующая индикация параметров: толщина листа; линейное расстояние от оси гибки до упоров; угол гибки; давление в системе для прижимной балки. Помимо этого, предусмотрена и световая индикация на пульте и непосредственно на станине станка.

Таким образом, проведенные исследования позволили получить современное оборудование с ценой ниже рыночной для бывшего в эксплуатации оборудования, а также со значительными преимуществами благодаря открытой системе ЧПУ и предлагаемым режимам работы.

УДК 004.356.2

КАЛИБРОВКА СМЕЩЕНИЯ ПЕЧАТНОГО СТОЛА 3D-ПРИНТЕРА ULTIMAKER ПО ОСЯМ X и Y

Ю. А. ГУЩА, М. В. СЕРИКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Иногда при печати детали происходит смещение слоев по осям X и Y (рис. 1). Для устранения этого нужно откалибровать стол принтера Ultimaker по осям XY. Правильная калибровка смещения по осям XY обеспечивает правильную печать по заданным в слайсере Cure-3D-координатам расположения модели без смещения слоев на печатном столе.



Рис. 1. Смещение слоев

Для выполнения калибровки понадобится распечатать лист для калибровки по осям XY (рис. 2), который можно найти на официальном сайте поддержки support.ultimaker.com. Калибровка выполняется в ручном режиме.

1. В меню принтера перейти во вкладку «Система» → «Обслуживание» → «Калибровка» → «Калибровка смещения по осям XY».

2. Принтер Ultimaker напечатает конструкцию в виде сетки на печатном столе.

3. После того как принтер Ultimaker напечатает и остынет, нужно извлечь стекло из принтера, не снимая с него напечатанные сетки.

4. Поместить стекло с сетками на заранее распечатанный калибровочный лист так, чтобы сетки на напечатанном листе совпали с сетками на калибровочном листе (рис. 3).

5. Найти совмещенные линии на напечатанной сетке X и посмотреть, какое число им соответствует. Ввести это число в качестве значения смещения по оси X на принтере Ultimaker 3.

6. Найти совмещенные линии на напечатанной сетке Y и посмотреть, какое число им соответствует. Ввести это число в качестве значения смещения по оси Y на принтере Ultimaker 3.

7. После завершения настройки повторить печать.

В случае повторения смещения слоев нужно повторить калибровку.

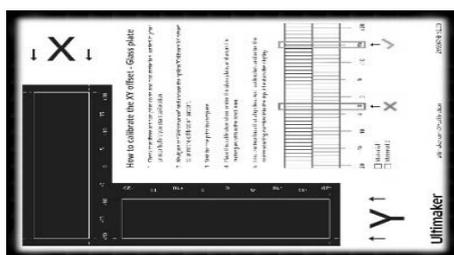


Рис. 2. Калибровочный лист

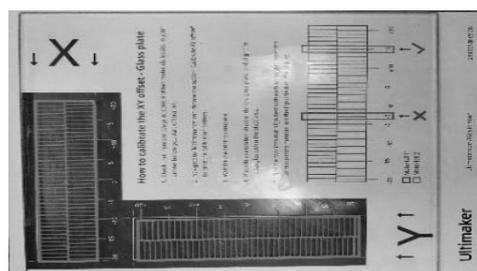


Рис. 3. Сетка для калибровки

УДК 621.9.06:004

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПОРНЫХ ТОЧЕК БОЧКООБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ ЗУБЬЕВ

Е. Ю. ДЕМИДЕНКО, Т. Н. АВЧИННИКОВ, П. С. ФЛАНЧЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Если при формировании управляющей программы фрезерования зубьев с профилем, отличающимся от стандартного, допустить ошибку в области обхода криволинейных траекторий, результатом может быть получение как исправимого, так и неисправимого брака. Программист по итогу должен обеспечить правильную эквидистанту траектории червячной фрезы.

Особенно это касается выбора начальных параметров (координат) при использовании круговой интерполяции и написании программы в ручном режиме. При обходе бочкообразного профиля с постоянным радиусом следует принимать два правила: радиус эквидистанты должен быть равен сумме радиусов фрезы и радиусу профиля; диаметр вершин фрезы должен обкатываться по заданному профилю, не пересекая его. Часто при программировании допускается ошибка при определении точки начала обхода профиля. В результате высота зуба будет отличаться на величину Δ (рис. 1 и 2).

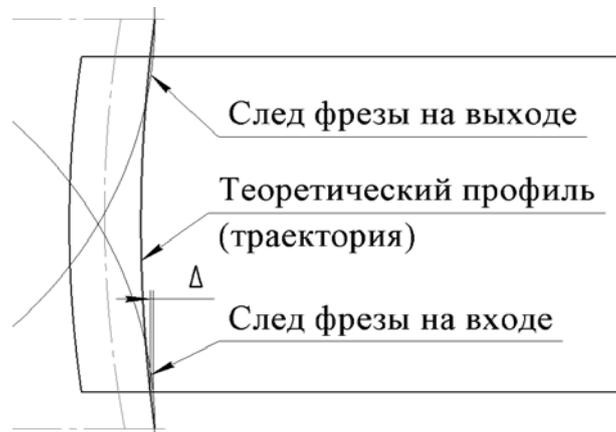


Рис. 1. К определению опорных точек бочкообразного профиля



Рис. 2. Формирование погрешности внутреннего диаметра

УДК 621.9.06:004

ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Е. Ю. ДЕМИДЕНКО, И. Ю. БОБРОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Технологические возможности зубофрезерного станка модели GBCN-332CNC26 с системой управления Siemens Sinumerik 828D не ограничены базовыми опциями и могут быть дополнены благодаря функциям расширенного программирования и возможности формирования пользовательских экранов с применением технологии EasyScreen.

Часто для выполнения своего функционального назначения детали с зубчатыми венцами и шлицами имеют продольный профиль венца, отличающийся от прямолинейного профиля (рис. 1). Примерами могут служить детали, которые в изделии должны самоустанавливаться относительно друг друга. Данная задача решается с помощью формирования бочкообразного профиля наружного и/или внутреннего диаметра венца на одной и/или обеих деталях.

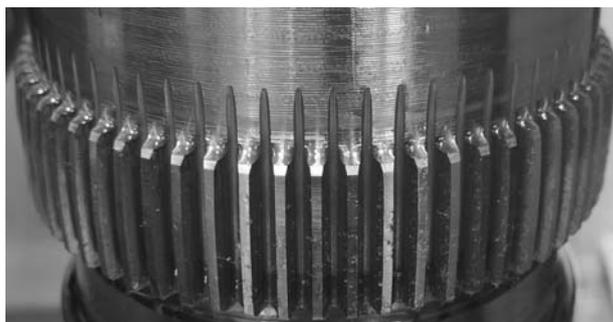


Рис. 1. Зубчатый профиль с бочкообразными зубьями

Для формирования наружного диаметра применяется обработка на токарном станке с ЧПУ, а для обработки венца с формированием бочкообразной впадины – зубофрезерный станок с числовым программным управлением.

Для выполнения технологической операции обработки бочкообразных зубьев был выбран зубофрезерный станок модели GBCN-332CNC26, находящийся в многопрофильной учебно-экспериментальной лаборатории кафедры «Технология машиностроения» Белорусско-Российского университета. Базовыми опциями зубофрезерного станка с ЧПУ является обработка зубчатых колес с прямым и косым зубом.

Для создания пользовательской программы обработки деталей специального профиля необходимо создать подпрограмму обработки, которая будет включать в себя стандартный набор команд для вызова основных функций (включение электронного редуктора, определение взаимосвязей между осями, определение рабочих плоскостей, определение переменных и др.). Последующий текст управляющей программы обработки должен включать как взаимо-

связь с пользовательским экраном ввода параметров обработки (mask), так и непосредственную программу обхода контура с определением режимов обработки.

Стратегия обработки назначается либо постоянной для каждой детали, либо оператору станка с ЧПУ предоставляется возможность выбора. Все эти факторы должны быть учтены программистом системы ЧПУ при создании функционального и эргономичного пользовательского экрана на основе технологии EasyScreen.

Программист системы ЧПУ может создавать пользовательские экраны, используя как текстовое программирование, так и прибегнув к специализированным программам-интеграторам, которые имеют наборы готовых решений для различных технологий обработки.

Технология EasyScreen дает возможность квалифицированному программисту формировать собственные пользовательские экраны ввода параметров обработки. Это предотвращает случайные ошибки ввода параметров непосредственно в управляющую программу, позволяет применять одну программу для обработки однотипных деталей, повышает информативность вводимых параметров, а оператор станка с ЧПУ в любой момент может проверить правильность введенных параметров без потребности проверки всего текста управляющей программы.

При необходимости результаты работы могут быть промоделированы в виртуальной среде Siemens SinuTrain (рис. 2), которая позволяет создавать цифровую копию оборудования под управлением ЧПУ семейства Sinumerik. Данная среда рекомендована при подготовке операторов, наладчиков, программистов для получения как первоначальных навыков, так и для повышения их профессиональной квалификации. Также отпадает необходимость в использовании дорогостоящего оборудования как основной площадки тестирования разработанных программ.

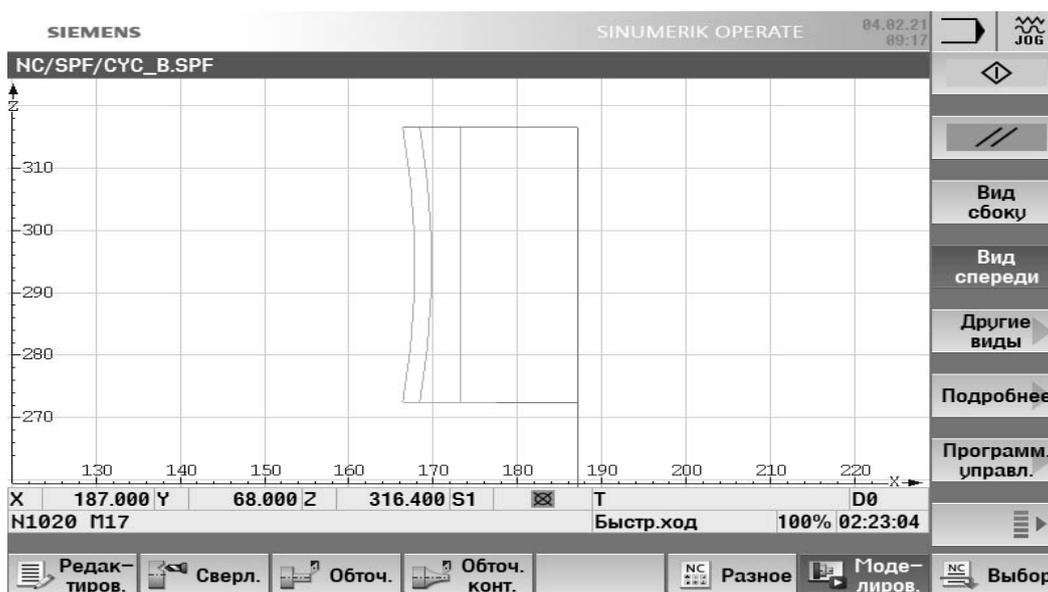


Рис. 2. Моделирование обработки бочкообразного зуба в среде SinuTrain

УДК 621.787

ПОВЫШЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ МАСЛОЕМКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СОВМЕЩЕННЫМ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКИМ НАКАТЫВАНИЕМ

А. М. ДОВГАЛЕВ, И. А. ТАРАДЕЙКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Разработанный метод совмещенного магнитно-динамического накатывания (СМДН) в активной технологической среде позволяет получать на поверхности ферромагнитных деталей антифрикционные твердосмазочные покрытия различного состава, имеющие стохастический микрорельеф в виде сетки взаимно пересекающихся микролунок от деформирующих шаров инструмента.

Формируемый в процессе совмещенной обработки деталей микрорельеф определяет удельную маслоемкость упрочненных поверхностей и оказывает существенное влияние на их эксплуатационные свойства, такие как прирабатываемость, гидроплотность, сопротивление охватыванию, износостойкость.

Главными характеристиками микрорельефа упрочненной поверхности являются шаг (P) микролунок и их глубина (h_n). В связи с этим актуально проведение исследований, позволяющих установить зависимости указанных параметров микрорельефа поверхности от основных режимов процесса СМДН в активной технологической среде. Параметры микрорельефа обработанных внутренних поверхностей колец из стали 45 (30...35 HRC), имеющих после растачивания исходную шероховатость по параметру Ra 1,60...1,63 мкм, измеряли методом профилографирования с использованием профилометра-профилографа модели SurfTest SJ-210. За экспериментальные величины параметров P и h_n принимали их среднее значение пяти измерений на участке поверхности с длиной трассирования 6,4 мм.

Анализ исследований показал, что в процессе СМДН в активной технологической среде на внутренней поверхности колец формируется микрорельеф в виде сетки пересекающихся микролунок с шагом $P = 0,32...0,57$ мм и глубиной $h_n = 0,15...0,22$ мм в зависимости от режимов обработки.

Представлены результаты исследований удельной маслоемкости поверхностей деталей, обработанных шлифованием, упрочненных СМДН и СМДН в активной технологической среде. Удельную маслоемкость обработанных поверхностей (в соответствии с требованиями стандарта DIN EN ISO 4287–2010) определяли с учетом параметров профиля шероховатости и соответствующей ему кривой Аббота–Файерстоуна.

Установлено, что СМДН внутренней поверхности стальных колец увеличивает ее удельную маслоемкость в 2,8 раза, а СМДН в активной технологической среде – в 1,4 раза (по сравнению с поверхностью, обработанной шлифованием).

УДК 621.785.5

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

А. Н. ЕЛИСЕЕВА, М. А. РАБЫКО, В. В. ХИТРИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В последние годы для реализации процессов повышения эксплуатационных характеристик деталей машин наибольшее предпочтение отдается технологическим процессам, основанным на использовании ионных и плазменных потоков. Это связано с тем, что одним из достоинств ионно-плазменной обработки является возможность эффективного управления технологическими параметрами процесса и объемной обработки изделия [1].

Основой ионно-плазменной технологии в современном машиностроении является использование тлеющего разряда как источника ионизации рабочей атмосферы и зажигания плазмы с различными энергетическими характеристиками.

В зависимости от вольт-амперных характеристик тлеющий разряд как источник энергетического воздействия получил большое распространение при реализации процессов, связанных с диффузионным насыщением поверхностей деталей машин различными химическими элементами, напылением различных покрытий, распылением и травлением металлов.

Как известно, азотирование в тлеющем разряде является одним из самых перспективных процессов наряду с цементацией. Используется при необходимости получения твердости и износостойкости рабочих поверхностей и, как следствие, хорошо себя зарекомендовал в инструментальном производстве, станкостроении и космической промышленности [2].

Напыление с использованием ионно-плазменных методов является одним из перспективных процессов при получении тонкопленочных покрытий различных тугоплавких материалов и композиций на рабочие поверхности изделий, работающих в сложных условиях [3].

Также одной из ярких технологий, используемых в современном материаловедении, является ионное травление, которое позволяет выявить текстуру исследуемых поверхностей металлов без применения экологически вредных травителей на основе сложных кислот [4].

Стоит повториться, что все перечисленные методы хорошо себя зарекомендовали на современном этапе развития науки и техники и достигли макси-

мальной своей эффективности, однако дальнейшее их развитие связано с большими материальными затратами.

В результате исследований, проводимых в Белорусско-Российском университете, получены данные, которые позволяют утверждать, что одним из перспективных направлений дальнейшего повышения эффективности способов, основанных на ионно-плазменной обработке, может явиться возможность управления частотой течения тока в межэлектродном пространстве [5].

Как показали результаты научно-исследовательской работы «Разработка технологических основ формирования эксплуатационных свойств и параметров качества поверхностных слоев штамповой оснастки комплексной обработкой, основанной на импульсном тлеющем разряде», выполняемой в рамках задания 3.3.2 «Разработка технологических и научных основ модифицирования поверхностных слоев деталей машин и инструментальной оснастки магнитно-динамическим накатыванием и плазменным воздействием в различных средах» Государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограммы 8.3 «Электромагнитные, пучково-плазменные и литейно-деформационные технологии обработки и создания материалов», уменьшение частоты течения тока с 200 до 100 кГц позволяет повысить как глубину диффузионного слоя при азотировании, так и эффективность процесса модифицирования поверхностного слоя, а также эффективность распыления поверхности при нанесении износостойких покрытий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Григорьев, С. Н.** Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник для студентов вузов / С. Н. Григорьев. – Москва: Машиностроение, 2009. – 368 с.: ил.
2. **Самохоцкий, А. И.** Технология термической обработки металлов / А. И. Самохоцкий, Н. Г. Парфеновская. – Москва: Машиностроение, 1976. – 311 с.: ил.
3. **Кривобоков, В. П.** Плазменные покрытия (методы и оборудование): учебное пособие / В. П. Кривобоков, Н. С. Сочугов, А. А. Соловьёв. – Томск: Томский политехн. ун-т, 2008. – 104 с.: ил.
4. **Григорьев, Ф. И.** Плазмохимическое и ионно-химическое травление / Ф. И. Григорьев. – Москва: Машиностроение, 2003. – 48 с.: ил.
5. Структурно-фазовое модифицирование инструментальных материалов тлеющим разрядом: монография / В. М. Шеменков [и др.]; под общ. ред. канд. техн. наук, доц. В. М. Шеменкова. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 270 с.: ил.

УДК 621.785.5

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ТОКА НА ГЛУБИНУ ЕГО ТЕЧЕНИЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЯХ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

А. Н. ЕЛИСЕЕВА, В. М. ШЕМЕНКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Как известно, любое течение тока по металлическому проводнику создает электромагнитное поле, которое влияет на плотность течения данного тока по сечению данного проводника, причем плотность течения тока напрямую зависит от частоты самого тока, что объясняется возникновением в процессе скин-эффекта.

Наличие указанного физического эффекта приводит к формированию в поверхностном слое любого металлического проводника градиентного «активного слоя» глубиной, напрямую зависящей, как оказалось, не от силы протекаемого тока, а от его частоты, и, как правило, чем больше частота протекаемого тока, тем меньше глубина формируемого «активного слоя» (рис. 1) [1].

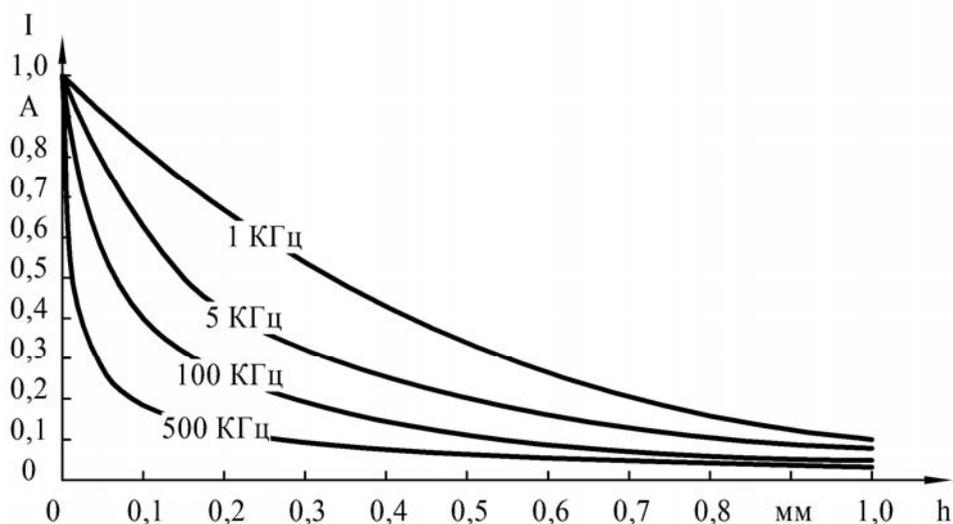


Рис. 1. Зависимость величины «активного слоя» h от частоты течения тока по проводнику

Стоит также отметить, что с ростом частоты протекающего тока графическая зависимость величины «активного слоя» приобретает ярко выраженный экстремум, свидетельствующий о том, что с ростом частоты тока наступает такое условие, при котором граница указанного слоя становится ярко выраженной.

Опираясь на вышеописанные факты, можно выдвинуть гипотезу о том, что данная зависимость справедлива для всех условий, где по металлическому изделию, как по проводнику, происходит течение тока, причем природа формирования его характеристик не имеет значения.

Исходя из сказанного, огромный интерес вызывает установление величины «активного слоя» при обработке металлсодержащих изделий в тлеющем разряде, а самое главное – возможность управления его величиной за счет частоты горения разряда.

В результате исследований, проводимых в Белорусско-Российском университете на протяжении многих лет, установлено, что обработка металлсодержащих изделий тлеющим разрядом характеризуется тем, что в процессе обработки через изделие от анода к катоду протекает ток с частотой горения от 80 до 120 кГц (рис. 2) [2].

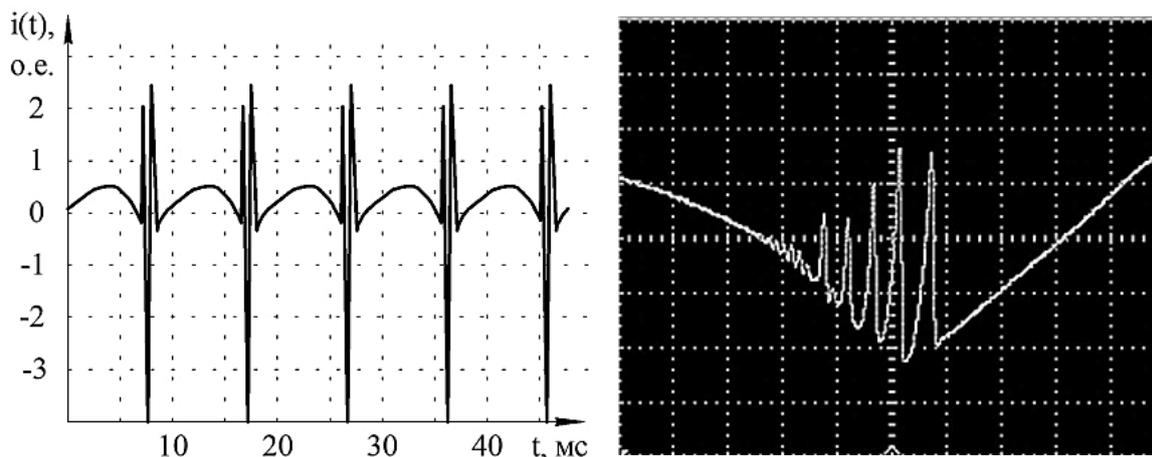


Рис. 2. Осциллограммы тока тлеющего разряда, протекающего от анода к катоду

Интерес к частотным характеристикам протекающего тока между анодом и катодом в процессе обработки тлеющим разрядом вызван тем, что от этих характеристик может напрямую зависеть глубина структурно-фазовых превращений, протекающих в поверхностном слое металлсодержащих изделий, что приводит к повышению их эксплуатационных характеристик.

Как показали предварительные результаты исследований, выполняемых в рамках задания 3.3.2 Государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии», уменьшение частоты течения тока с 120 до 80 кГц позволяет повысить глубину модифицированного слоя у инструментальных сталей с 80 до 100 мкм, что в дальнейшем может привести к значительному повышению их износостойкости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Матвеев, А. Н.** Электричество и магнетизм: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А. Н. Матвеев. – 2-е изд. – Москва: Оникс 21 в.; Мир и образование, 2005. – 463 с.: ил.
2. Структурно-фазовое модифицирование инструментальных материалов тлеющим разрядом: монография / В. М. Шеменков [и др.]; под общ. ред. канд. техн. наук, доц. В. М. Шеменкова. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 270 с.: ил.

УДК 621.91.02

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ РАСТОЧНОГО РЕЗЦА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ

А. А. ЖОЛОБОВ, О. Н. КЛЯУС
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

На данный момент актуальной проблемой во многих отраслях машиностроения при обработке глубоких отверстий являются погрешности, связанные с отжатием расточного резца. Соответственно, на этапе обеспечения точности обработки при изготовлении деталей изобретено и запатентовано множество различных конструкций расточных резцов. Обеспечить точность обработки на этапе проектирования технологического процесса можно при помощи САПР SOLIDWORKS.

Таким образом, для предупреждения получаемых на практике погрешностей, связанных в основном с податливостью расточного резца из-за изменения его длины, зависящей от длины растачиваемой поверхности, необходимо теоретически рассчитать ожидаемые величины отжатия расточного резца с целью выбора оптимальной его конструкции при проектировании операций формирования отверстий.

Целью настоящей работы является теоретическое исследование изгиба стандартного расточного резца и резца с бочкообразной рабочей частью под воздействием сил резания.

Задачей исследования является получение максимальных деформаций заявленных конструкций.

В данном примере исследованию подвергался расточной резец по ГОСТ 25987–83 с минимальным диаметром растачиваемого отверстия $d = 25$ мм при длине его рабочей части $L = 160$ мм и модифицированный расточной резец с минимальным диаметром растачиваемого отверстия $d = 25$ мм и длине его рабочей части $L = 160$ мм.

Для проведения инженерного анализа были заданы исходные данные: диаметр обрабатываемого отверстия $d = 40$ мм; длина $l = 130$ мм. Определены параметры режимов резания посредством справочной литературы: $t = 2$ мм; $s = 0,165$ мм/об; $V = 269$ м/мин; $P_Y = 277$ Н. В качестве материала державки расточного резца выбрана сталь 45, подвергшаяся улучшению, а режущей части – твердый сплав Т15К6.

Получены следующие результаты: максимальный прогиб стандартного расточного резца – $2,785 \cdot 10^{-1}$ мм; модифицированного расточного резца – $1,022 \cdot 10^{-1}$ мм. Конструкция расточного резца с максимальным отжатием, равным $1,022 \cdot 10^{-1}$ мм, является лучшей.

Полученные результаты исследований в дальнейшем предполагают применение их при разработке математической модели выбора конструкции расточного резца, учитывающей податливость расточной оправки, изменяющуюся в процессе механообработки.

УДК 621.83.06

СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИЙ
И НАПРЯЖЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ С БЕГОВЫМИ ДОРОЖКАМИ
ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ

А. В. КАПИТОНОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При контакте сателлитов-шаров с беговыми дорожками и сепаратором-водило планетарных передач с телами качения торцового типа возникают большие контактные напряжения и деформации [1, 2]. Целью исследования является статический анализ твердотельных моделей в программе SolidWorks Simulation методами конечных элементов для проверки на прочность деталей передачи, а также определение значений упругих перемещений для оценки ее кинематических погрешностей.

Разработаны модели обработки дорожки на станке в кулачковом патроне и от действия сил при передаче мощности. В модуле Simulation программы SolidWorks задавались параметры для статического анализа твердотельных моделей колеса с беговой дорожкой, крепление по наружной цилиндрической поверхности колеса, внешняя нагрузка. Размер сетки (количество узлов и элементов) определялся в зависимости от геометрии и размеров модели, допуска и параметров управления сеткой, характеристик контакта. В результате статического анализа моделей получены эпюры напряжений, деформаций и перемещений в материале колеса с беговой дорожкой.

Так как по результатам моделирования напряжения на рабочей поверхности колеса не превышают предела текучести материала, то при работе передачи возникают упругие деформации. Эти деформации (перемещения) незначительны, наибольшие из них составляют $5,1 \cdot 10^{-5}$ мм. Они не могут повлиять на кинематическую погрешность при работе передачи. Наибольшие перемещения материала поверхности беговой дорожки колеса от действия сил при моделировании обработки на станке составили 0,009 мм. Они характеризуют погрешности обработки, связанные со смещением инструмента – фрезы при упругих деформациях, и образование неточного профиля дорожки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сасковец, К. В.** Уменьшение воздействия контактных напряжений в передачах с промежуточными телами качения и увеличение передаваемых моментов / К. В. Сасковец, М. В. Лебедев, А. В. Капитонов // Информационные технологии, энергетика и экономика: материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Смоленск, 25–26 апр. 2019 г. – Смоленск, 2019. – С. 290–293.

2. **Капитонов, А. В.** Анализ кинематических и энергетических параметров некоторых типов планетарных передач / А. В. Капитонов, О. А. Капитонов, М. В. Лебедев // Машиностроение и металлообработка: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Могилев, 10–11 окт. 2019 г. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 39–40.

УДК 621.833; 621.9.08

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ПЕРЕДАЧ И МЕХАНИЗМОВ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

А. В. КАПИТОНОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Разработано простое по конструкции, быстро переналаживаемое устройство, которое позволяет проводить контроль кинематической точности передач и механизмов после изготовления методом дискретных измерений. Устройство содержит диски, закрепленные на ведущем и ведомом валах передачи, измерительное индикаторное устройство, определяющее разность между теоретическим и фактическим углами поворота ведомого диска. Индикаторное устройство имеет подвижное основание, на котором закреплен индикатор, перемещающийся вместе с основанием в перпендикулярном к оси ведомого вала направлении, совпадающем с направлением движения измерительного наконечника индикатора. На цилиндрических поверхностях дисков закреплены гибкие нерастяжимые нити, одна из которых связана с подвижным основанием измерительного индикаторного устройства, а другая – с измерительным наконечником индикатора. Диски имитируют эталонную передачу с точным передаточным отношением, равным передаточному отношению контролируемой передачи, путем специально подобранному соотношению их диаметров. При измерении кинематических погрешностей производится поворот ведущего вала контролируемой передачи и ведущего диска эталонной передачи шаговым двигателем на некоторый угол. При каждом повороте индикаторное устройство фиксирует кинематическую погрешность.

Модернизация устройства позволяет измерять кинематические погрешности передач с большими передаточными отношениями (100 и более). При этом эталонная передача выполнена в виде винтового механизма, шаг резьбы которого подобран в зависимости от диаметра измерительного диска, закрепленного на ведомом валу. Кинематическая погрешность контролируемой передачи определяется по показаниям индикаторного устройства [1, 2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Антонюк, В. Е.** Математическая модель автоматизированного двухпрофильного контроля зубчатых колес / В. Е. Антонюк, А. В. Будзинская, А. В. Капитонов // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 23–24 апр. 2020 г.* – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 25.
2. **Капитонов, А. В.** Методы оценки точности малогабаритных планетарных передач с промежуточными телами качения / А. В. Капитонов, В. М. Пашкевич // *Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр.* – Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2020. – Вып. 9. – С. 51–54.

УДК 621.91.02

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РАСТАЧИВАНИИ ОТВЕРСТИЙ

О. Н. КЛЯУС

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время большинство научных работ в области повышения точности формируемых отверстий носят практическую направленность, связанную с модернизацией технологических систем. Однако вследствие все большего развития систем интеллектуального управления процессами формирования поверхностей деталей они требуют более пристального внимания в целях их использования в вопросах прогнозирования ожидаемых погрешностей на этапе проектирования технологического процесса, в том числе и при обработке отверстий.

При формировании отверстий в деталях растачиванием должно уделяться внимание жесткости расточного инструмента. Изменение конструкции в месте перехода от рабочей части к хвостовику оказывает влияние на ее отжатие от формируемой поверхности под воздействием радиальной составляющей силы резания.

Целью настоящей работы является теоретическое исследование деформаций расточных оправок различной конфигурации, в том числе и разработанных на кафедре «Технология машиностроения» (Белорусско-Российский университет), под воздействием сил резания.

Основной задачей этих исследований является нахождение конфигурации оправки, оказывающей наибольшее сопротивление силам и имеющей наименьший прогиб. В данном примере исследованию подвергалась расточная оправка $d_{on} = 50$ мм при ее длине $L = 304$ мм и вылете $l = 150$ мм.

Для проведения инженерного анализа в САПР Solidworks были заданы исходные данные: диаметр обрабатываемого отверстия $d = 60$ мм; длина $l = 90$ мм. Определены параметры режимов резания посредством справочной литературы: $t = 3$ мм; $s = 0,2$ мм/об; $V = 193$ м/мин; $P_Y = 200$ Н. В качестве материала оправки выбрана сталь 45, подвергшаяся улучшению.

При выполнении инженерного анализа определен максимальный прогиб расточной оправки: со ступенчатым переходным элементом – $1,211 \cdot 10^{-2}$ мм; с вогнутым элементом – $1,330 \cdot 10^{-2}$ мм; с выпуклым элементом – $6,151 \cdot 10^{-3}$ мм.

Самым неблагоприятным элементом в конструкции расточной оправки является вогнутый элемент, дающий деформацию $1,330 \cdot 10^{-2}$ мм, а самым благоприятным – выпуклый элемент с деформацией $6,151 \cdot 10^{-3}$ мм.

Полученные результаты исследований в дальнейшем предполагают разработку математической модели прогнозирования ожидаемой погрешности формируемого отверстия, учитывающую жесткость расточной оправки, изменяющуюся в процессе механообработки.

УДК 621.9.047.7

ИМПУЛЬСНАЯ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
РАЗМЕРНОЙ И ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А. Ю. КОРОЛЁВ¹, В. С. НИСС², А. Э. ПАРШУТО¹¹Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Для снижения энергоемкости и повышения эффективности процесса электролитно-плазменной обработки (ЭПО) с целью модификации и полирования поверхности изделий из металлических материалов, их размерной обработки при сохранении высокой интенсивности, качества и экологической безопасности разработан принципиально новый импульсный метод (импульсная ЭПО), совмещающий преимущества как электрохимического, так и электролитно-плазменного процесса. Разработанный метод импульсной ЭПО основан на применении униполярного импульсного режима с длительностью импульсов 0,5...10 мс и амплитудой более 200 В, при котором в пределах каждого импульса последовательно чередуются электрохимическая стадия, переходная стадия и устойчивая стадия ЭПО [1].

Повышение эффективности разработанного процесса импульсной ЭПО достигается за счет основного интенсивного съема металла при реализации электрохимической стадии с низкими энергетическими затратами и оптимизации продолжительности электролитно-плазменной стадии, при которой обеспечивается высокое качество поверхности. Повышение частоты следования импульсов при снижении их длительности позволяет увеличить электрохимическую составляющую процесса и обеспечить более интенсивный съем металла с поверхности, удалить значительные неровности поверхности и т. п. Снижение частоты следования импульсов при одновременном увеличении их длительности позволяет увеличить электролитно-плазменную составляющую процесса и достигнуть низкой шероховатости при общем снижении энергоемкости процесса.

Использование импульсного технологического напряжения сделало возможным независимо управлять каждой стадией процесса. Расчет энергетических затрат показал, что в процессе импульсной ЭПО съем металла в 6 раз больше, чем при традиционной ЭПО. При этом удельная мощность в импульсном процессе больше только в 2,9 раза. Таким образом, производительность импульсного процесса ЭПО, оцениваемая по съему металла, в 2 раза выше по сравнению с традиционным процессом на постоянном токе.

Проведенные исследования показали, что при импульсной ЭПО происходит более интенсивный съем материала с обрабатываемой поверхности, чем при тра-

диционных методах электрохимического и электролитно-плазменного полирования. При этом основной вклад в съём материала вносит электрохимическое воздействие токового импульса, возникающего в начальной стадии импульса, а электролитно-плазменная стадия обеспечивает полирование поверхности детали, но в то же время и обеспечивает в несколько раз меньший удельный съём. Удельный съём металла при электрохимической стадии может быть больше, чем при электролитно-плазменной стадии, в 6 раз (по результатам эксперимента съём для цилиндрического образца в 20-процентном электролите равен $16,2 \cdot 10^{-5}$ г/(мм²·мин)). При этом величину съёма можно изменять в меньшую сторону путём уменьшения паузы между импульсами. Это приводит к уменьшению амплитуды токового импульса и его длительности.

Большой удельный съём позволяет быстрее удалять мелкие дефекты металлообработки, например заусенцы. С целью проверки параметров снятия заусенцев были подготовлены детали в виде цилиндров диаметром 2 мм со шлифовкой торцов и детали, вырезанные лазером из стали AISI 316. Для более быстрого удаления заусенцев подходит режим с большей амплитудой электрохимического импульса, когда длина импульса и паузы по 2 мс, амплитуда напряжения импульса 200 В. Электролит с большей концентрацией сульфата аммония способствует увеличению амплитуды электрохимического импульса и ускорению снятия заусенцев за счёт увеличения проводимости электролита.

В процессе экспериментов определено, что специальная предварительная очистка поверхности деталей перед обработкой не требуется. Обезжиривание поверхности, очистка от загрязнений и окалины осуществляется непосредственно в процессе обработки. Разработанный процесс не требует точного поддержания определенной температуры электролита. Наиболее стабильное протекание процесса, как и в случае с традиционным электролитно-плазменным полированием, наблюдается при достаточно высокой температуре электролита – около 90 °С. При этом в процессе обработки происходит мощный локальный разогрев электролита в прилегающей к поверхности анода области и даже при меньшей средней температуре электролита в этой области самопроизвольно устанавливается близкая к оптимальной температура. Далее в результате теплообмена температура остального объема электролита также повышается и поддерживается на необходимом уровне.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Королёв, А. Ю.** Технология полирования с применением комплексного электрохимического и электролитно-плазменного воздействия в управляемых импульсных режимах / А. Ю. Королёв, В. С. Нисс, А. Э. Паршутто // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 апр. 2019 г.* – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 51–52.

УДК 678.057.9

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АВТОТРАКТОРНЫХ ФИЛЬТРОВ ИЗ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

М. А. КСЕНОФОНТОВ, В. С. ВАСИЛЬЕВА, С. В. ВЫДУМЧИК
Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко
Белорусского государственного университета
Минск, Беларусь

Особые требования к оборудованию по переработке пенополиуретановых композиций обусловлены жесткими временными ограничениями процессов смешения и подачи сырьевых компонентов, широким диапазоном их соотношений и количеств, эксплуатационными свойствами образующихся продуктов.

Научно-технической базой для создания оборудования и технологического процесса производства изделий послужили физико-химические представления о молекулярно-структурной организации полимеров, а также оригинальные конструкторские и технические решения с использованием лучших мировых достижений в области машиностроения и материаловедения.

Представлено высокопроизводительное автоматизированное оборудование (рис. 1), разработанное на базе новых конструкторских и инженерных решений с использованием микропроцессорной техники и специальных информационно-аналитических и логических программ для производства из полимерных композитов уплотнительных поверхностей специальных фильтров круглого типа масляных, топливных, для вентиляции, промышленных, салонных и т. д.

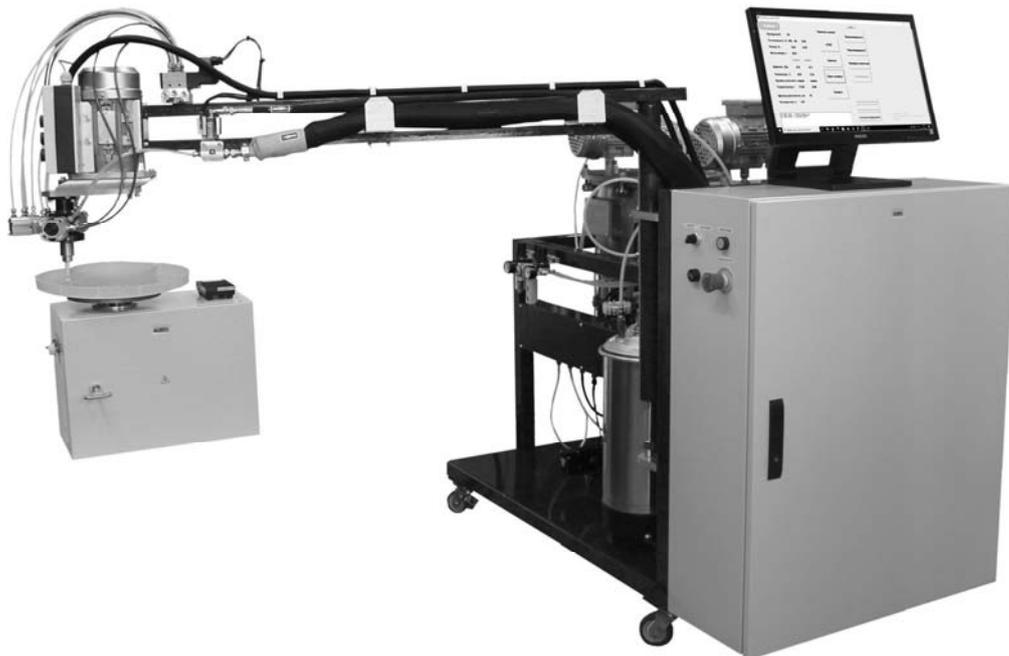


Рис. 1. Заливочно-смесительная установка для производства уплотнительных элементов круглых фильтров из пенополиуретанов

Установка предназначена для дозирования, смешения и заливки двухкомпонентных полиуретанов в форму, которая вращается по окружности на разгонном столе. В результате застывания композиции получается герметичный концевой элемент круглой формы.

В основу работы оборудования положен принцип подачи дозированного количества двух жидких компонентов А и Б в смесительную головку с динамическим перемешиванием. Процесс смешения компонентов осуществляется в проточной малогабаритной смесительной камере за счет механической энергии, благодаря высокой скорости вращения смесительного элемента.

В состав заливочно-смесительной установки входят следующие основные функциональные узлы: емкости для компонентов и очистителя, дозирующие узлы компонентов, блок подготовки воздуха, шкаф управления с расположенным внутри компьютером и интерактивной панелью оператора, поворотная стойка с закрепленным на ней смесительным устройством, блоком пневмораспределителей и кранами рециркуляции компонентов. Стол для разгона круглых форм устанавливается на рабочем месте оператора. Управление работой установки, ввод и контроль технологических параметров перерабатываемых компонентов осуществляется с интерактивной сенсорной панели оператора. Для управления установкой непосредственно из зоны заливки используют дистанционный пульт, закрепленный на смесительной головке, либо ножную педаль, связанную со столом для разгона круглых форм. В рабочей зоне поворотного устройства размещена емкость для слива очистителя при промывке и сбросовой заливке. Для удобства перемещения по цеху вручную установка имеет опорные катки с интегрированным тормозом.

При проектировании оборудования использовались самые современные стандарты качества и передовые технологии, обеспечивающие переработку материалов в соответствии с технологическими регламентами и паспортными характеристиками.

Преимуществами разработки являются современный эргономичный дизайн, адаптированный интерфейс для удобства настройки и работы оборудования, полностью собственная разработка, включая программу управления NIIPFP dosing-mixingСФ1-01, что позволяет оперативно решать возникающие вопросы обслуживания заливочно-смесительной установки. Программа выполняется на персональном компьютере под управлением операционной системы Windows версии от XP до Windows 10. Требования к быстродействию процессора и объёму памяти минимальны. Программа не требует установки и может выполняться с любого накопителя. Единственным требованием к компьютеру является наличие папки C:NIIPFPFiles в корневом каталоге диска.

Созданное наукоемкое автоматизированное оборудование по своим производственно-технологическим параметрам соответствует лучшим мировым аналогам благодаря использованию принципиально новых идей, современной электронной компонентной базы и оригинального системного программного обеспечения.

УДК 621.785.5

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УПРОЧНЕННОГО ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ
РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Р. В. КУЛИНЕЧЕНКО¹, В. В. ШЕМЕНКОВ², В. В. УШКОВ¹

¹Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

²Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

Как известно, одним из основных направлений развития современного машиностроения, наряду с повышением производительности, является сокращение производственных затрат. В общей себестоимости продукции после затрат на материалы, режущий инструмент и заработную плату расходы на электроэнергию являются основной статьей. Учитывая то, что большей частью на расходы электроэнергии при обработке металлов лезвийным инструментом влияют силовые характеристики процесса резания, чрезвычайно интересно будет установить степень влияния модифицирующей обработки тлеющим разрядом лезвийного инструмента на показатели главной составляющей силы резания.

В рамках выполнения задания 4.1.38 Государственной программы научных исследований «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» в Белорусско-Российском университете проводились исследования по установлению влияния использования модифицированного тлеющим разрядом твердосплавного лезвийного инструмента на главную составляющую силы резания при точении заготовок из конструкционной стали 45 по ГОСТ 1050–88 (160...180 НВ).

Выявлено, что использование обработанного тлеющим разрядом режущего твердосплавного инструмента при токарной обработке заготовки из стали 45 ГОСТ 1050–88 приводит к снижению главной составляющей силы резания для твердого сплава ВК8 в среднем на 15...20 %, для твердого сплава Т15К6 – на 10...15 %, для твердого сплава ТН-20 – на 8...10 %, при использовании обработанной минералокерамики ЦМ-332 главная составляющая силы резания уменьшается до 5 %.

Учитывая, что главная составляющая силы резания непосредственно влияет на мощность резания, полученные результаты явно показывают на то, что использование тлеющего разряда при модифицировании лезвийного инструмента приведет к значительному повышению энергоэффективности процесса резания.

УДК 621.91.01

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ

М. Н. МИРОНОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Известно, что одним из эффективных средств снижения вспомогательного времени является минимизация холостых перемещений инструментов. Поэтому для повышения производительности технологического процесса обработки отверстий перемещения инструментов должны выполняться по маршруту, при движении по которому вспомогательное время, затрачиваемое на холостые перемещения, минимально.

Следует отметить, что последовательность обработки отдельных участков поверхности детали и смены инструмента до сих пор определяет технолог на основе личного опыта без применения современных методов моделирования. Однако без применения программных средств перебор большого количества вариантов с полным анализом последствий выбора осуществить невозможно.

В связи с этим на кафедре «Технология машиностроения» Белорусско-Российского университета была разработана интеллектуальная система Drill-Control, осуществляющая управление процессом сверления отверстий и включающая модуль оптимизации траектории перемещения инструмента при обработке отверстий.

В системе использован метод определения оптимального маршрута сверл одного типоразмера при движении между одной группой участков, подлежащих обработке.

Для определения оптимального маршрута движения инструмента система осуществляет поиск минимального холостого перемещения при смене обрабатываемого участка. Проводит расчет длин всех пар участков, входящих в одну группу. При этом длина холостого перемещения при переходе инструмента в пределах двух обрабатываемых участков зависит от локальной безопасной высоты, на которую инструмент должен подняться (безопасная высота обеспечивает осуществление перехода инструмента от участка к участку без столкновения инструмента с заготовкой или обработанной поверхностью детали).

С целью повышения производительности технологического процесса обработки отверстий система определяет маршрут сверл с минимальной суммарной длиной их холостых перемещений. Эти маршруты должны начинаться и заканчиваться в позиции смены инструмента, сверло должно проходить через каждый участок только один раз. Кроме того, рабочее время у каждого сверла не должно превышать его заданного периода стойкости.

Таким образом, интеллектуальная система может использоваться для решения задачи определения оптимальной последовательности обработки участков при минимальном числе смен инструмента с учетом их стойкости.

УДК 621.787

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕТЬ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

М. Н. МИРОНОВА, Е. Н. АНТОНОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Управление параметрами упрочняющей пневмоцентробежной обработки отверстий на функциональной семантической сети заключается в том, чтобы, используя зависимости, определить значения режимов обработки и параметра раскатника, при которых обеспечивается требуемое качество поверхности.

Для эффективного управления шероховатостью и формой микрорельефа поверхности проведен энергетический анализ пневмоцентробежных раскатников, позволяющий установить взаимосвязи основных конструктивных параметров инструмента и режимов обработки отверстий. Это позволило построить функциональную семантическую сеть для управления качеством поверхности при упрочняющей пневмоцентробежной обработке отверстий, включающей 23 отношения и 42 параметра [1].

На основе анализа множества параметров функциональной семантической сети установлено, что число управляемых параметров при решении задач, связанных с управлением процессом упрочняющей пневмоцентробежной обработки отверстий, может достигать более 25, что существенно превышает число факторов, используемых принятыми методиками обеспечения качества поверхности. В качестве управляемых выбраны диаметр, количество и масса шаров, давление в осевой полости инструмента, диаметр и количество сопел, зазор между заготовкой и инструментом, исходная шероховатость поверхности, скорость и частота вращения заготовки (при условии ее вращения), осевая подача инструмента и др.

Неуправляемыми параметрами сети являются твердость обрабатываемого материала, диаметр заготовки, а также требуемая шероховатость и форма микрорельефа поверхности. Параметрами, определяющими форму микрорельефа, являются размеры, форма и расположение сопел в распорных втулках раскатника, глубина регулярной неровности рельефа.

Использование функциональной семантической сети позволяет не только прогнозировать шероховатость обработанной поверхности, но и определять конструкторско-технологические параметры, обеспечивающие получение заданного уровня качества поверхности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Миронова, М. Н.** Управление шероховатостью и формой микрорельефа при упрочняющей пневмоцентробежной обработке отверстий на основе использования функциональных семантических сетей / М. Н. Миронова, Е. Н. Антонова // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2020. – № 3. – С. 76–85.

УДК 621.9.02

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ БАЗОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СВЕРЛ

М. И. МИХАЙЛОВ, О. А. ЛАПКО

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого
Гомель, Беларусь

Исследованию работоспособности осевого инструмента посвящено большое количество работ [1–6]. Одним из способов повышения износостойкости режущего инструмента и улучшения условий контакта между базовыми поверхностями осевого режущего инструмента и конуса шпинделя является применение композиционного покрытия, наносимого на базовые поверхности инструмента [2, 5, 6].

Цель работы – повышение стойкости режущего инструмента.

Исследовалось влияние композиционного покрытия на основе полимеров с абразивным наполнителем, которое наносилось на базовые поверхности сменных втулок, на работоспособность сверл.

Исследования проводили по известной методике [1] в лаборатории ГГТУ имени П. О. Сухого на кафедре «Робототехнические системы». Исследовали винтовые сверла, выполненные по ГОСТ 10903–77.

Для экспериментального исследования на наружную поверхность стандартной переходной втулки был нанесен слой композиционного материала с абразивным наполнителем [2].

Испытания проводили на вертикально-сверлильном станке модели 2Н125. Заготовка призматическая из стали 45. Режимы резания, при которых проводились испытания: $V = 4,6$ м/мин; $S = 0,25$ мм/об; $t = 5,9$ мм; $n = 125$ об/мин; $D = 11,8$ мм.

После каждого прохода, который составлял 40 с, определяли под микроскопом характер износа режущей кромки. Обработку продолжали до тех пор, пока режущая кромка достигала допустимого износа.

В результате проведения испытаний после каждого прохода делали соответствующие фотографии с использованием микроскопа (рис. 1).

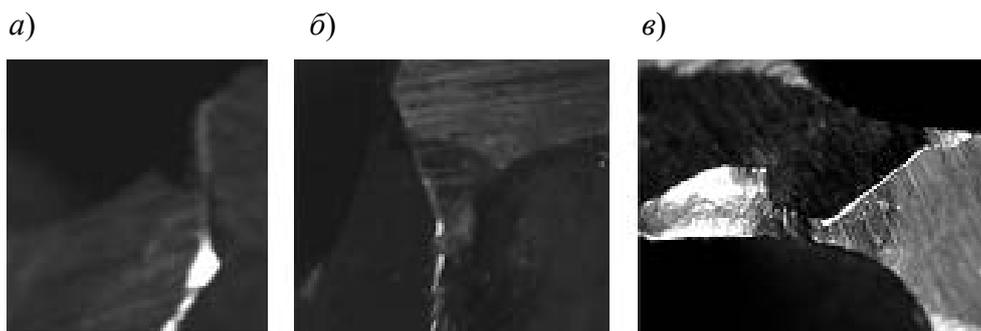


Рис. 1. Фотографии рабочей части сверла с переходной втулкой без композиционного покрытия при работе: а – 40 с; б – 80 с; в – 120 с

Фотографии рабочей части сверла, работавшего с переходной втулкой, базовая поверхность которой покрыта композиционным материалом, представлены на рис. 2.

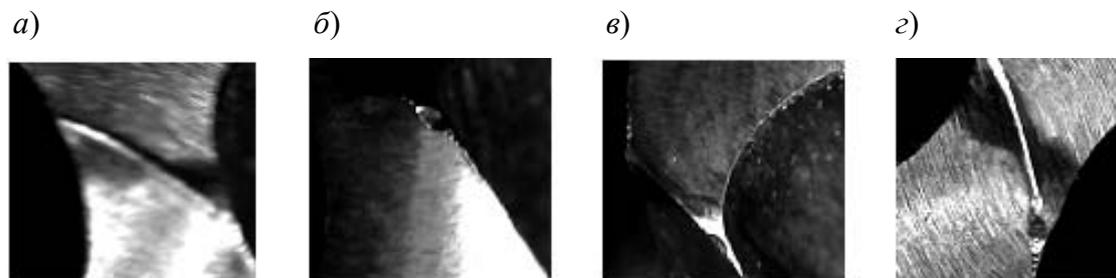


Рис. 2. Фотографии рабочей части сверла (с переходными втулками с композиционным покрытием) при работе: *a* – 40 с; *b* – 80 с; *v* – 120 с; *z* – 160 с

Графики изменения величины износа от времени для двух экспериментов представлены на рис. 3.

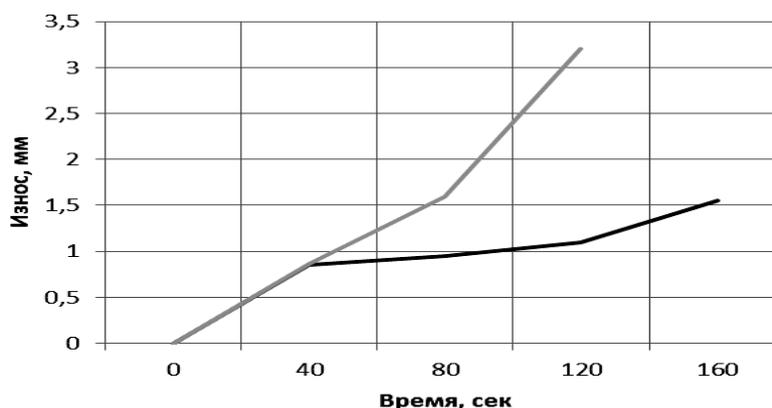


Рис. 3. График зависимости износа от времени

В результате проведенных исследований установили, что стойкость осевого режущего инструмента увеличилась более чем в 2 раза в результате применения при обработке переходных втулок с композиционным покрытием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев, С. Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента / С. Н. Григорьев. – Москва: Машиностроение, 2011. – 368 с.
2. Михайлов, М. И. Прогнозирование работоспособности сборных сверл / М. И. Михайлов. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2020. – 241 с.
3. Верещака, А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака. – Москва: Машиностроение, 1993. – 336 с.
4. Axer, H. Aufwand, Leitsung und Wirtschaftlichkeit neuerer Werkzeugmaschinen / H. Axer // IV Aachener Werkzeugmaschinen Kolloquium. – Essen, 1953.
5. Бобровский, В. А. Электродиффузионный износ инструмента / В. А. Бобровский. – Москва: Машиностроение, 1970. – 202 с.
6. Повышение стойкости режущего инструмента методом электроизоляции / В. В. Медисон [и др.] // Технология машиностроения. – 2012. – № 10. – С. 13–16.

УДК 621.91.01

ПРИМЕНЕНИЕ СУПЕРГАУССОВЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В. М. ПАШКЕВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При экспериментальных исследованиях технологических объектов используются различные по своим принципам методы, позволяющие строить как линейные, так и нелинейные эмпирические модели. Однако часто возникают сложности при построении многомодовых эмпирических моделей. На практике такую проблему часто решают путем разбиения области построения на набор подпространств, для каждого из которых строится частная модель. В этом случае общая модель технологического объекта существует в неявном виде, в форме набора частных моделей. Примером подобного подхода могут служить эмпирические формулы теории резания, в которых, например, значения эмпирических коэффициентов приводятся для различных интервалов геометрических параметров инструмента, интервалов физико-механических свойств обрабатываемых материалов и т. д. [1].

Существенным недостатком полученного результата является разрывность функции, описывающей модельную зависимость, что не позволяет использовать для ее анализа большинство классических численных методов, базирующихся на свойствах непрерывности и монотонности функций.

Применение супергауссовых функций позволяет объединить набор дискретных моделей $y_i(x)$ непрерывной функцией-суперпозицией $Y(x)$ в форме взвешенной суммы:

$$Y(x) = \sum_{i=1}^k w_i(x, \{\pi\}) \cdot y_i(x), \quad (1)$$

где $w_i(x, \{\pi\})$ – супергауссова весовая оконная функция, определяемая множеством параметров $\{\pi\}$.

В общем случае такая функция может быть описана зависимостью

$$w(x, x_{\min}, x_{\max}, p) = e^{-\left|\frac{x-x_c}{2s}\right|^p}, \quad (2)$$

где x_{\min}, x_{\max} – область значений весовой функции, в которой она принимает ненулевое значение, а за пределами нее равна нулю; $x_c = (x_{\min} + x_{\max})/2$ – центр указанной области; $2s = (x_{\max} - x_{\min})/2$ – ширина области по аргументу; p – показатель степени, выбираемый эмпирическим путем.

Пример такой весовой функции приведен на рис. 1.

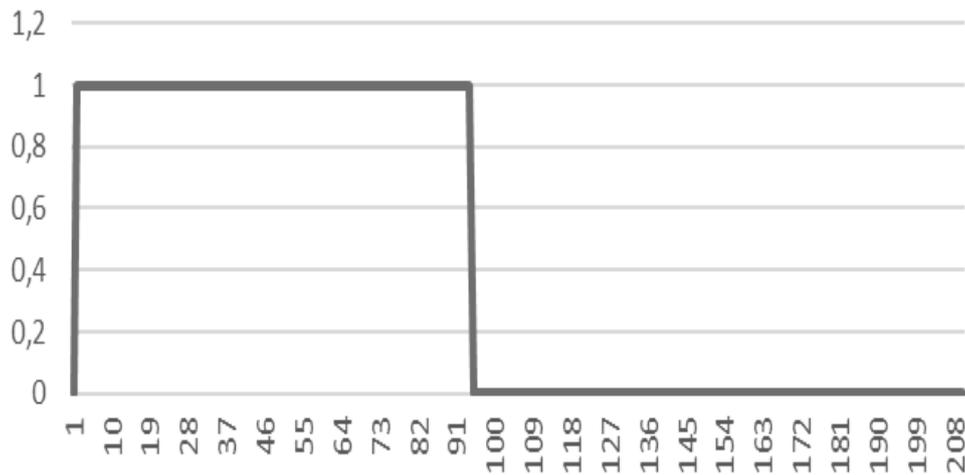


Рис. 1. Пример супергауссовой весовой функции $x_{\min} = 1$, $x_{\max} = 94$, $p = 100$

На рис. 2 приведен пример построения эмпирической непрерывной модели в форме композиции двух моделей – гауссовой и линейной функций.

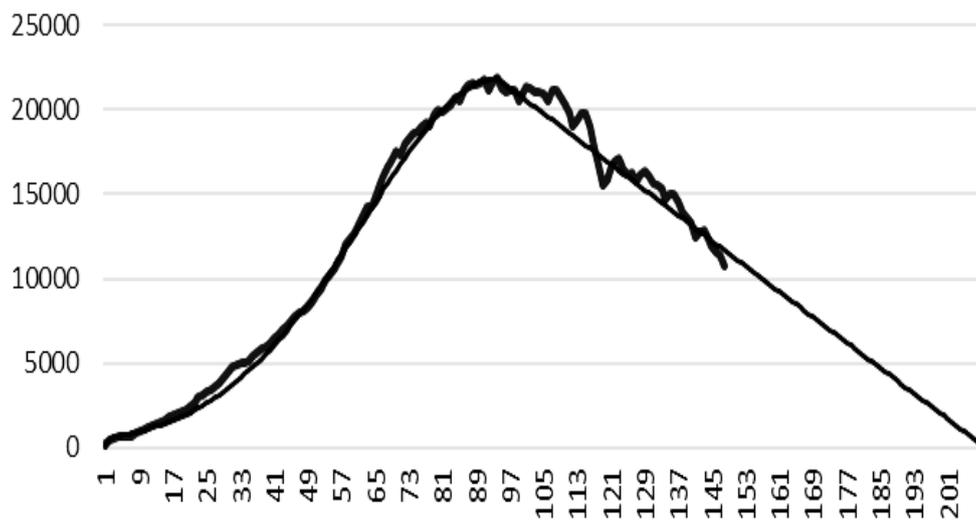


Рис. 2. Пример применения супергауссовых весовых функций

Другой областью применения супергауссовых функций может стать нечеткое моделирование, в котором их использование обеспечит построение непрерывной функции принадлежности, а также позволит легко автоматизировать процедуры агрегирования и дефаззификации [2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашкевич, В. М. Функциональные семантические сети для обеспечения точности механической обработки: монография / В. М. Пашкевич, М. Н. Миронова. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2015. – 210 с.

2. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

УДК 621.83

ГРАННЫЕ ОТВЕРСТИЯ В ПРОФИЛЬНЫХ МОМЕНТОПЕРЕДАЮЩИХ СОЕДИНЕНИЯХ

С. Г. ПОЛТОРАЦКИЙ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время в мировом машиностроении, автомобилестроении, судостроении и авиастроении всё чаще встречаются профильные моментопередающие соединения, предназначенные для передачи крутящего момента сопряженными поверхностями. Такие соединения имеют ряд эксплуатационных и технологических преимуществ по сравнению со шлицевыми и шпоночными соединениями, среди которых долговечность, малая металлоёмкость, менее шумные, имеют более высокий коэффициент полезного действия, отсутствие концентрации напряжения.

Наиболее распространенными профильными моментопередающими соединениями являются соединения с РК-профилем (профильные кривые с равноосным контуром, т. е. с нечетным количеством граней: РК-3, РК-5 и др., где цифра обозначает количество граней профильной кривой) и К-профилем (профильные кривые с четным количеством граней: К-2, К-4 и др.) [1].

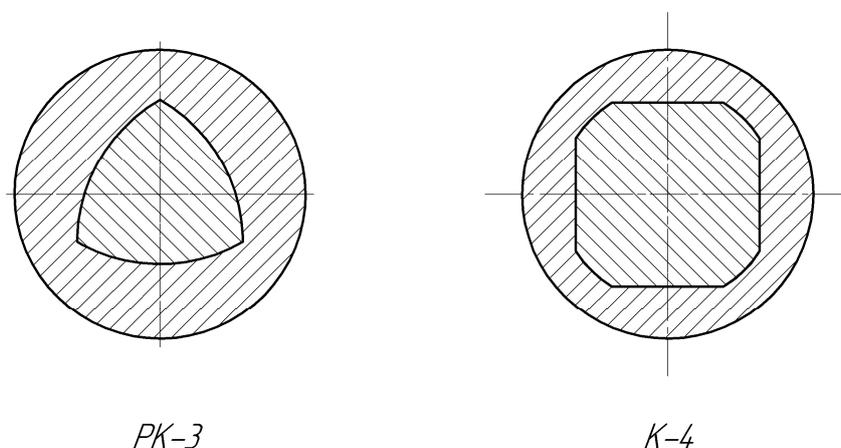


Рис. 1. Профильные моментопередающие соединения с профилем РК-3 и К-4

Если при формировании наружных поверхностей некруглых валов для таких соединений проблем не возникает (фрезерование, строгание, долбление, полигональное точение и др.) [2], то с отверстиями всё куда сложнее. Отверстия имеют сложную геометрическую форму и для их формирования необходимо специализированное оборудование и инструмент. Поэтому с точки зрения науки и практики внимание заслуживает создание устойчивого метода получения отверстий для профильных моментопередающих соединений. В настоящее время практикуется получение гранных отверстий методом качающего прошивания [3], но для его реализации требуется специализированное оборудование,

обеспечивающее большое осевое усилие (чем больше отверстие, тем больше необходимо усилие), что требует предварительного сверления отверстия круглой формы и обеспечивает точность не ниже 11-го качества.

Одним из способов формирования профильного моментопередающего соединения можно предложить соединение вал–отверстие с прямыми гранями. В [4] представлен способ формирования некруглых валов резцовой головкой внешнего касания.

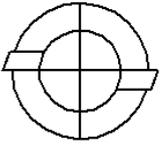
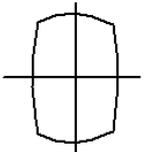
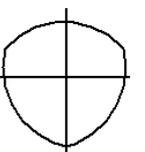
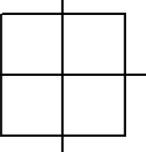
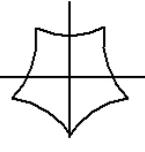
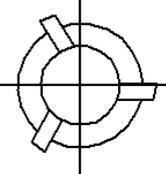
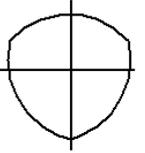
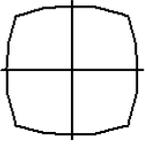
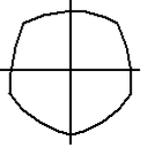
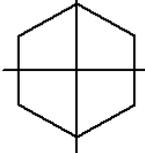
Типовая конструкция инструмента	Образуемый профиль				
$z=2$ 	$m=2$ 	$m=3$ 	$m=4$ 	$m=5$ 	
$z=3$ 	$m=3$ 	$m=4$ 	$m=5$ 	$m=6$ 	

Рис. 2. Технологические возможности схемы обработки многогранных поверхностей резцовой головкой внешнего касания: z – число режущих зубьев; m – число граней [4]

Формирование отверстий с прямыми гранями можно обеспечить на основании методов, описанных в [5], которые выгодно отличаются от других методов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тимченко, А. И.** Исследование процесса формообразования профильных валов с равноосным контуром: дис. ... канд. техн. наук / А. И. Тимченко. – Москва, 1979. – 120 л.
2. **Пантелеенко, Ф. И.** Классификация методов формообразования и синтез на ее основе схем обработки профильных моментопередающих поверхностей / Ф. И. Пантелеенко, А. А. Данилов // Наука и техника. – 2020. – Т. 19, № 4. – С. 280–287.
3. **Зубков, Н. Н.** Получение гранных отверстий методом качающейся прошивки / Н. Н. Зубков, А. В. Ломакин // Технология машиностроения. – 2008. – № 7. – С. 13–15.
4. **Данилов, В. А.** Армирование многогранных поверхностей на базе циклоидальных кривых / А. А. Данилов // Респ. межведомств. сб. науч. тр. – 2020. – С. 50–56.
5. **Полторацкий, С. Г.** Особенности формирования квадратных отверстий сверлением / С. Г. Полторацкий // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород. – С. 2456–2460.

УДК 621.95

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЯТИГРАННЫХ ОТВЕРСТИЙ

С. Г. ПОЛТОРАЦКИЙ, В. М. ШЕМЕНКОВ, М. А. РАБЫКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

По мере развития машиностроения в современном мире возникает потребность в разработке деталей со сложным наружным и внутренним контуром. Проблемы с внутренним контуром возникают тогда, когда речь идет о необходимости формирования гранных отверстий. В основном это квадратные и шестигранные, но иногда возникает необходимость в формировании пятигранных отверстий.

Для получения пятигранных отверстий необходимо использование дорогостоящего специализированного оборудования, требующего квалифицированных рабочих. Использование такого оборудования при единичном и среднесерийном производстве экономически нецелесообразно.

Одним из способов получения пятигранных отверстий можно предложить обработку их специальным осевым инструментом, работающим по принципу обкатывания. В основе этого инструмента лежит четырехугольник постоянной ширины (рис. 1), отличающийся от простого квадрата тем, что грани не являются прямыми линиями, а дугами, проведенными из противоположной вершины.

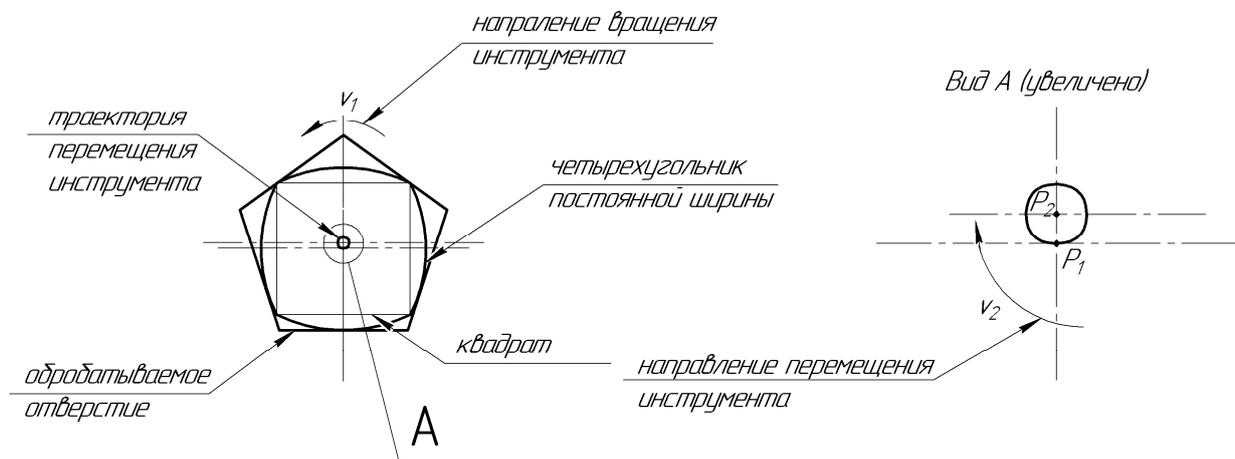


Рис. 1. Четырехугольник постоянной ширины: P_1 – центр инструмента; P_2 – центр обрабатываемого отверстия

Таким образом, придавая вращение этому инструменту вокруг своей оси (v_1) и одновременно перемещая его по траектории (v_2), возможно сформировать пятигранное отверстие. Одновременно с этими двумя движениями инструмент перемещается вдоль своей оси внутрь обрабатываемой детали для снятия металла.

УДК 621.91.01/02

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ МНОГОЦЕЛЕВОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ С ЧПУ

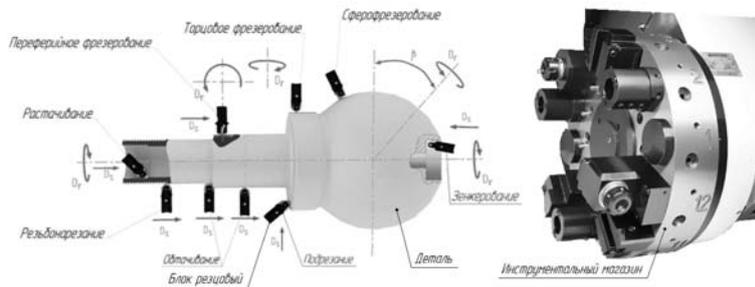
Н. Н. ПОПОК, В. С. АНИСИМОВ, Г. И. ГВОЗДЬ
Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь

При обработке различных поверхностей деталей на металлорежущих станках с ЧПУ стремятся к максимальной концентрации операций на одном рабочем месте. При этом ограничивающими факторами являются номенклатура режущих инструментов, входящих в состав инструментальных магазинов, и сопоставимая стойкость разных типов режущих инструментов.

Предлагается оснащать многоцелевые станки с ЧПУ модульными режущими инструментами, включающими унифицированный блок резцовый, использовать, по возможности, вращающиеся режущие инструменты с касательным движением крутонаклонных режущих кромок [1].

Разработана гамма блочно-модульных режущих инструментов различного функционального назначения, схемы обработки комплексных деталей которыми представлены на рис. 1.

а)



б)

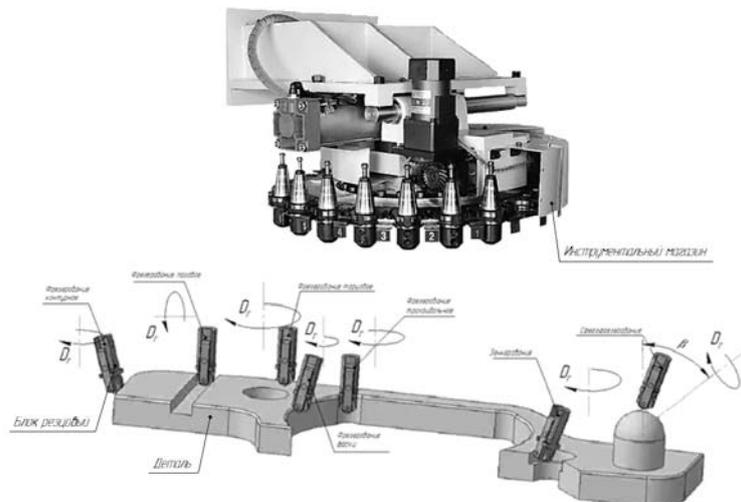


Рис. 1. Схемы обработки поверхностей комплексных деталей: а – типа «шаровый палец» на токарном станке с ЧПУ; б – типа «поводок» на фрезерном станке с ЧПУ

Проведены теоретические исследования кинематических, деформационных и динамических характеристик обработки вращающихся деталей вращающимися режущими инструментами на токарном станке с ЧПУ модели S45 Emco, которые позволили установить рациональные диапазоны геометрических параметров режущих инструментов и режимов резания, что обеспечивает повышение производительности обработки. Например, на рис. 2 представлена одна из полученных зависимостей нормальной силы резания от угла наклона режущей кромки, которые позволяют установить минимальные значения сил и мощности резания и скорректировать режим обработки [2].

Экспериментально исследованы различные схемы врезания и проходов фрез при обработке корпусных деталей на станке с ЧПУ модели Robodrill.

Установлены преимущества врезания фрез в заготовку по касательной и дуге и оптимальная, с точки зрения сокращения времени, последовательность проходов в движении подачи.

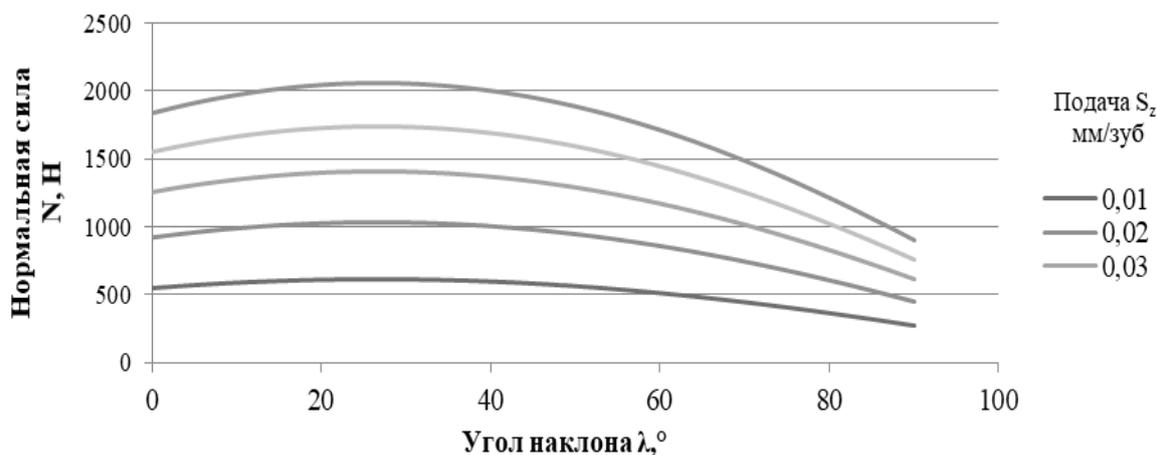


Рис. 2. Влияние угла наклона режущей кромки λ на нормальную силу резания при соотношении составляющих силы резания $P_x = 0,3P_z$ и $P_y = 0,5P_z$

В результате исследований выработаны рекомендации по рациональным значениям геометрических параметров лезвий режущих инструментов, увеличению скорости и подачи резания до двух раз и сокращению времени на переустановку и дефектацию режущих инструментов в 1,5 раза по сравнению с традиционными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Попок, Н. Н.** Автоматизация инструментального обеспечения многоцелевых станков с ЧПУ / Н. Н. Попок, Г. И. Гвоздь // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Минск: Бизнесофсет, 2020. – С. 85–86.
2. **Попок, Н. Н.** Деформация и стружкообразование при обработке плоских и криволинейных поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом на токарных и фрезерных станках с ЧПУ / Н. Н. Попок, В. С. Анисимов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2020. – № 3. – С. 28–34.

УДК 621.91.01/02.723

КОНСТРУИРОВАНИЕ СБОРНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ 3D-ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Н. Н. ПОПОК, С. А. ПОРТЯНКО, Е. М. ТИХОН

Полоцкий государственный университет

Новополоцк, Беларусь

Большой резерв в сокращении временных и финансовых затрат на конструкторскую и технологическую подготовку производства сборных режущих инструментов заложен в использовании 3D-прототипирования. Создание 3D-макетов режущих инструментов позволяет отработать конструкции отдельных сборочных единиц и конструктивных элементов, проверить их на соответствие функциональному и технологическому назначению [1].

Получены математические модели формирования модулей корпусов, блоков резовых, механизмов регулировки и балансировки, проведена оптимизация их геометрических форм и размеров, а также параметров высокоточных резьбовых соединений с учетом результатов компьютерного моделирования в SolidWorksFlow и AnsysWorkbench, разработаны конструкции отдельных типов сборных режущих инструментов [2].

С использованием FDM-технологии изготовлены экспериментальные образцы торцовых фрез и расточных головок из пластика ABSplus-P430 на 3D-принтере StratasysMojo и из PLA-пластика Wanhao на 3D-принтере MassPortalPharaoh XD 30.

Методика исследований предусматривала измерение линейных размеров полученных макетов на видеоизмерительном микроскопе модели NVM-4030D фирмы NORGAU, шероховатости поверхностей деталей на профилографе-профилометре модели AbrisPM7 и температуры формирования поверхностей образцов с помощью пирометра модели OptrisLS.

Отдельные фрагменты изменения внешнего вида конструктивных элементов фрез при возрастающих значениях и времени воздействия температуры нагрева показаны на рис. 1.

Эскизы для измерения линейных и угловых параметров корпусного модуля и державки блока резового представлены на рис. 2.

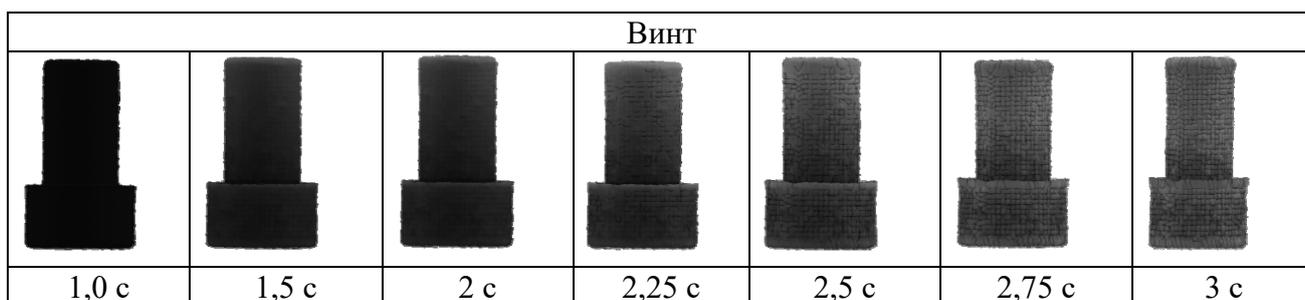
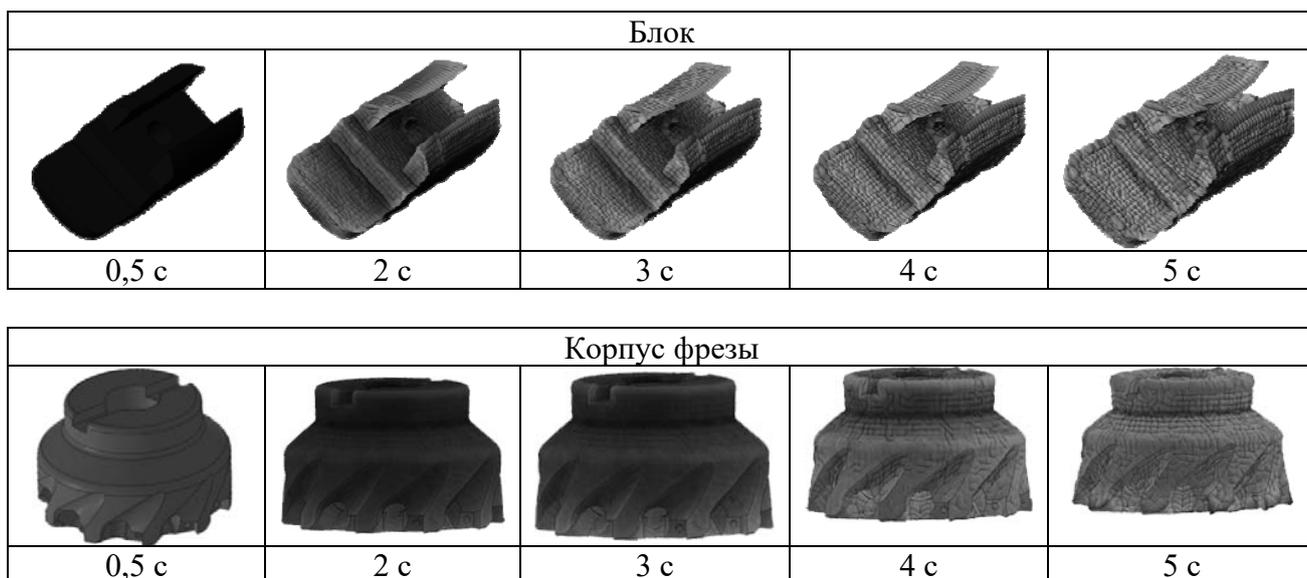


Рис. 1. Внешний вид конструктивных элементов фрез



Окончание рис. 1

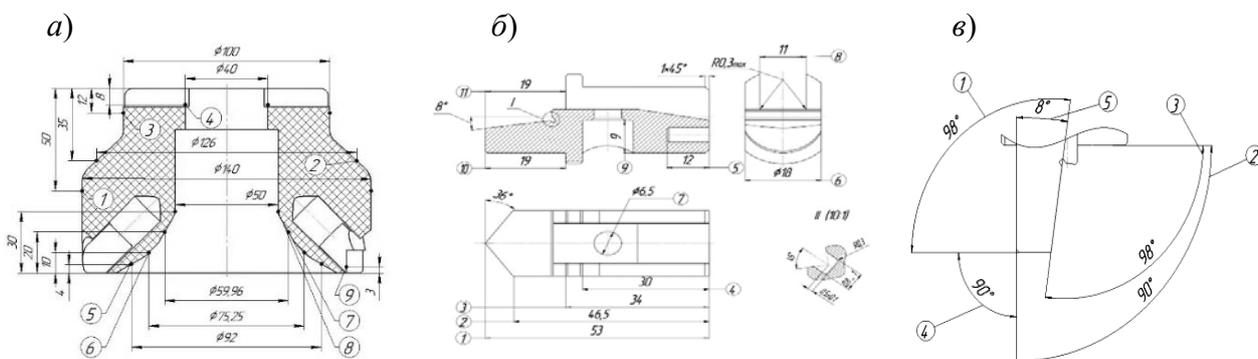


Рис. 2. Эскизы: *a* – корпусного модуля; *б* – державки; *в* – измерения угловых параметров

Анализ результатов исследований позволил выработать рекомендации по совершенствованию конструкций фрез и расточных головок, учитывающих качественные изменения форм от температурных деформаций и отклонение линейных и угловых размеров от номинальных значений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попок, Н. Н. Автоматизация подготовки производства на основе 3D-макетирования технологической оснастки / Н. Н. Попок, С. А. Портянко // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Минск: Бизнесофсет, 2020. – С. 95–96.
2. Попок, Н. Н. Методология исследования работоспособности фрезерных и осевых режущих инструментов на основе 3D-прототипирования / Н. Н. Попок, С. А. Портянко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2020. – № 11. – С. 29–39.

УДК 621.787:621.9.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА
СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ
И МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКИМ НАКАТЫВАНИЕМ

Д. М. СВИРЕПА, А. С. КРУЧИНИНА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Известен способ совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим накатыванием, при котором расположенные в полости кольцевой камеры деформирующие шары, перемещаясь в окружном и продольном направлениях, производят попеременное ударное воздействие на поверхность детали и взаимодействуют с другими деталями инструмента, а также элементы резцовой части являются источником возникновения шума [1].

Исследование шумовых характеристик и оценка соответствия санитарным нормам способа совмещенной обработки проводились с использованием прибора для измерения шума и вибраций с целью контроля соответствия фактических уровней шума допустимым санитарно-эпидемиологическим нормам в соответствии с ГОСТ 12.1.050–86 *Методы измерения шума на рабочих местах* [2].

Совмещенную обработку внутренней цилиндрической поверхности производили на вертикально-фрезерном станке модели ВФ-130 при режимах: окружная скорость инструмента 251...703 м/мин (частота вращения 800...2240 мин⁻¹); осевая подача инструмента: $S = 20$ мм/мин, $S = 100$ мм/мин; смазочно-охлаждающая жидкость – масло индустриальное 45.

Характеристики обрабатываемой детали: размеры ($D \times d \times l$) 120 × 99,6 × 50 мм; материал – сталь 20 (180...200 НВ).

Проведенные исследования показали, что при реализации способа совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим накатыванием с использованием технологической оснастки для закрепления заготовки уровень шума колеблется в пределах 81...91 дБА и не превышает установленных норм (110 дБА).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свирепа, Д. М. Влияние способов совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим накатыванием на шероховатость поверхности / Д. М. Свирепа, А. С. Семёнова // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2019. – № 2. – С. 34–43.

2. Свирепа, Д. М. Исследование шумовых характеристик процесса магнитно-динамического упрочнения / Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков, А. М. Довгалев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16–17 апр. 2009 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – С. 102.

УДК 621.9

АКТУАЛЬНОСТЬ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКИМ РАСКАТЫВАНИЕМ И ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ

Д. М. СВИРЕПА, В. М. ШЕМЕНКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В машиностроении существует широкая номенклатура деталей, имеющих отверстия, к качеству поверхности которых предъявляются высокие требования. К числу таких деталей относятся гильзы, цилиндры, втулки и т. д. Качество этих деталей во многом определяется состоянием их поверхностного слоя, непосредственно участвующего в работе и формируемого на финишных операциях технологического процесса.

Важным направлением повышения качественных характеристик деталей является использование физико-механических низкоэнергетических энергосберегающих способов обработки, позволяющих сформировать модифицированный поверхностный слой с высокими качественными и эксплуатационными характеристиками.

Традиционные методы модификации поверхностного слоя (механические, термические, химико-термические, ионная имплантация и др.) являются энергоемкими, не позволяют получить на поверхности деталей маслоудерживающий микрорельеф, реализуются на сложном технологическом оборудовании, не позволяют осуществлять модификацию поверхностей крупногабаритных заготовок, не всегда обеспечивают необходимую износостойкость пар трения и, как правило, оказывают вредное влияние на окружающую среду, характеризуются значительным временем воздействия и имеют высокую себестоимость.

Для более широкого использования технологии магнитно-динамического раскатывания и низкоэнергетического воздействия тлеющим разрядом на предприятиях металлообрабатывающей отрасли важно иметь обоснованные рекомендации по выбору рациональных режимов модифицирования. В этой связи является актуальной разработка инновационных технологий поверхностной модификации материалов, основанных на комплексном энергетическом воздействии на поверхностный слой детали [1, 2].

Предложен перспективный метод комплексного воздействия магнитно-динамической обработки и тлеющего разряда на внутреннюю цилиндрическую поверхность деталей машин. Исследования проводятся в рамках Государственной программы научных исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Свирепа, Д. М.** Влияние способов совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим накатыванием на шероховатость поверхности / Д. М. Свирепа, А. С. Семёнова // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2019. – № 2. – С. 34–43.
2. Способ магнитно-динамического упрочнения внутренней поверхности круглого отверстия в металлической детали: пат. ВУ 17976 / А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа. – Оpubл. 28.02.2014.

УДК 621.9

КОНСТРУИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО РАСКАТЫВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА

Д. М. СВИРЕПА, А. В. ШУРАЕВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Известен способ магнитно-динамического раскатывания отверстий деталей машин, разработанный в Белорусско-Российском университете. Проведено большое количество лабораторных исследований и промышленных испытаний технологических возможностей способа, подтверждающих его эффективность. Большинство технологических задач было связано с модификацией поверхностного слоя внутренних цилиндрических поверхностей отверстий деталей диаметром от 60 до 240 мм [1]. Вызывают интерес технологические возможности способа при обработке отверстий малого диаметра. В связи с этим необходимо, учитывая конструктивные особенности инструментов для магнитно-динамического раскатывания, определиться с минимально возможным диаметром отверстия под обработку.

Возможны две концепции конструирования магнитно-динамических раскатников для обработки отверстий малого диаметра: с расположением источника магнитного поля за пределами кольцевой камеры инструмента и выносом его за пределы обрабатываемой заготовки, при этом инструмент снабжается устройством перераспределения магнитного поля, что существенно увеличивает его осевые размеры [2]; смежное расположение источников магнитного поля и кольцевой камеры инструмента. В последнем случае сохраняется компактность осевых размеров, что позволяет использовать инструменты на обычном универсальном оборудовании.

Смежное расположение источников магнитного поля и кольцевой камеры инструмента характерно для магнитно-динамических раскатников с осевым и радиальным расположением источников магнитного поля [3].

Выполненные расчеты показывают, что инструментами с осевым расположением источников магнитного поля целесообразно осуществлять обработку заготовок твердостью до 20 HRC диаметром от 20 мм, а раскатниками с радиальным расположением источников магнитного поля рекомендуется осуществлять обработку заготовок твердостью от 20 до 55 HRC диаметром от 40 мм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свирепа, Д. М. Влияние способов совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим накатыванием на шероховатость поверхности / Д. М. Свирепа, А. С. Сёменова // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2019. – № 2. – С. 34–43.
2. Упрочнение поверхностей отверстий малых диаметров магнитоуправляемыми деформирующими элементами / А. М. Довгалев [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – С. 53.
3. Упрочняющий инструмент: пат. ВУ 15364 / А. М. Довгалев [и др.]. – Оpubл. 28.02.2012.

УДК 621.9.016

К ВОПРОСУ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ ТОКАРНОЙ ОПЕРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНКОВ С ЧПУ

А. М. ФЕДОРЕНКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Основным недостатком большинства станков с ЧПУ является использование принципа последовательной обработки, что приводит в случае изготовления конструктивно сложных деталей к значительной длительности цикла операции. В настоящее время токарные станки стали оснащаться несколькими револьверными головками, позволяя совместить обработку ряда поверхностей или одной поверхности несколькими инструментами, тем самым сократив время выполнения технологической операции.

Возможность использования одновременно двух, трех и более револьверных головок существенно усложняет выбор оптимального варианта построения операции технологом.

В ходе исследований был разработан программный модуль, осуществляющий расчет длительности операций для всех допустимых сочетаний переходов с учетом возможности выполнения параллельной обработки. Исходными данными являются: совокупность элементарных ходов обработки поверхностей; таблица, учитывающая технологические особенности выполнения переходов (последовательность выполнения, возможность совмещения обработки); таблица технологических режимов обработки (длина обрабатываемой поверхности, снимаемый припуск, подача, скорость резания).

В качестве объекта исследований выступала операция черновой обработки вала-шестерни из стали 40ХН длиной 532 мм и максимальным диаметром обработки 130 мм, включающая одиннадцать переходов.

Установлено, что количество вариантов построения операции из одиннадцати переходов для станка с двумя револьверными головками составляет 2048 шт., для станка с тремя револьверными головками – 177147 шт.

Показано, что количество вариантов построения операции, обеспечивающих минимальное время операции, для станка с двумя револьверными головками составляет 32 шт. или 1,5 % от общего количества вариантов. В случае применения станка с тремя револьверными головками вариантов выполнения операции, обеспечивающих минимальное время, составляет всего 5 шт. – 0,0028 % от общего количества вариантов.

В результате исследований можно сделать вывод, что ручное проектирование операции может привести к неоптимальному ее построению.

Проведенный анализ показал, что сокращение времени данной операции по сравнению с использованием станка, оснащенного одной револьверной головкой, составит для оборудования, оснащенного двумя головками, 42,6 %, а для станка с тремя – 44,7 %.

УДК 621.785.5

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЫШЕННЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ УГЛЕРОДИСТЫХ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ОБРАБОТКОЙ
ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ

В. Ю. ШАРАПОВ¹, В. В. ШЕМЕНКОВ², Н. В. ДАШЕВСКИЙ¹

¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Белорусский государственный университет информатики

и радиоэлектроники

Минск, Беларусь

Современные тенденции в обработке металлов резанием, связанные с постоянным повышением скоростей их обработки, диктуют особые, повышенные требования к эксплуатационным характеристикам инструментальных материалов. Указанная тенденция на данном этапе привела к тому, что около 80 % стружки в процессе обработки снимается твердосплавными инструментами. Однако есть ниши, в которых твердосплавный инструмент не может в полной мере заменить инструментальные стали при изготовлении штамповой и кузнечной оснастки, слесарного и сложнопрофильного инструмента, особенно работающего со знакопеременными силовыми и тепловыми нагрузками.

С точки зрения материальных затрат углеродистые стали наиболее предпочтительны при изготовлении ряда инструментальной оснастки, несмотря на их низкую теплостойкость, особенно для резьбообразующего и ручного инструмента, и повышение их эксплуатационных свойств является важной задачей для современного машиностроения.

В рамках выполнения задания 3.4.30 Государственной программы научных исследований «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» в Белорусско-Российском университете проводились исследования по установлению влияния обработки тлеющим разрядом на формирование свойств поверхностных слоев углеродистых инструментальных сталей.

В рамках работы исследования проводились на образцах из углеродистых сталей У8 и У10А ГОСТ 1435–99.

В результате проделанной работы установлено, что обработка тлеющим разрядом образцов из углеродистых сталей приводит к диспергированию карбидных включений и более их равномерному распределению, увеличению плотности дислокаций в поверхностном слое глубиной до 100 мкм без изменения их фазового состава. Указанные изменения в комплексе приводят к повышению поверхностной твердости образцов на 15...25 % и износостойкости в 1,2–1,4 раза.

УДК 621.787

СОВМЕЩЕННОЕ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ НАКАТЫВАНИЕ
В АКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕВ. К. ШЕЛЕГ¹, А. М. ДОВГАЛЕВ²¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Предложен новый метод поверхностного упрочнения деталей машин, при котором совмещенную обработку концентрированным потоком энергии вращающегося магнитного поля и импульсно-ударным деформированием осуществляют в активной технологической среде, состоящей из соединений мягких металлов или мелко- и ультрадисперсных порошков металлов, а также веществ, восстанавливающих металлы и активизирующих процесс растворения химически стойких окислов [1]. Разработанный метод позволяет получить на поверхности ферромагнитных деталей твердосмазочные покрытия различного состава (в зависимости от компонентов активной технологической среды), характеризующиеся высокими качественными характеристиками и эксплуатационными свойствами [2–5].

Однако в настоящее время отсутствуют исследования микрорельефа поверхности ферромагнитных деталей, упрочненных совмещенным магнитно-динамическим накатыванием в активной технологической среде, что не позволяет выбрать рациональные режимы обработки и сдерживает внедрение метода в промышленность.

В связи с этим были проведены исследования шероховатости поверхности ферромагнитных заготовок, упрочненных по разработанному методу.

Обработку внутренней поверхности колец осуществляли на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ модели FSS-400CNC.

Упрочняемые кольца: размеры ($D \times d \times l$) 125 × 110 × 12 мм; материал – сталь 45 (30...35 HRC). Отверстия колец предварительно растачивали в размер Ø 110H8 мм с обеспечением шероховатости по параметру Ra 1,60...1,63 мкм.

Режимы совмещенного процесса упрочнения: частота вращения инструмента $n = 1600...3500$ мин⁻¹; осевая подача инструмента $S = 20...160$ мм/мин; индукция вращающегося магнитного поля, действующего на упрочняемую поверхность, – 0,20...0,25 Тл; количество рабочих ходов инструмента – один. Состав активной

технологической среды: CuSO_4 (60 %) + глицерин (15 %) + 10 % раствор соляной кислоты (20 %) + спирт (5 %).

В ходе исследований (для указанных условий обработки внутренней поверхности колец из стали 45 (30...35 HRC) с исходной шероховатостью 1,63...1,60 мкм) выявлены рациональные значения частот вращения (скорости) инструмента для достижения минимальной шероховатости упрочненной поверхности: для СМДН – 3250 мин^{-1} ($v = 18,7 \text{ м/с}$); для СМДН в активной технологической среде – 2900 мин^{-1} ($v = 16,7 \text{ м/с}$).

Анализ результатов исследования показал, что в диапазоне подач инструмента от 20 до 160 мм/мин обеспечивается снижение исходной шероховатости поверхности Ra с 1,60...1,63 до 0,20...0,52 мкм при упрочнении СМДН и 0,13...0,50 мкм при обработке СМДН в активной технологической среде.

Повышение эффективности снижения исходной шероховатости заготовок при СМДН в активной технологической среде обусловлено дополнительным заполнением исходных микронеровностей, формируемым на поверхности твердосмазочным медьсодержащим покрытием с более высокой пластичностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ и устройство для отделочно-упрочняющей обработки внутренней поверхности отверстия в ферромагнитной детали: пат. ВУ 22193 / В. К. Шелег, А. М. Довгалева, А. А. Жолобов, Д. М. Свирепа, С. А. Сухоцкий, М. В. Мовчан. – Оpubл. 30.10.2018.
2. Довгалева, А. М. ППД деталей в магнитном поле, совмещённое с формированием антифрикционных покрытий / А. М. Довгалева, Н. В. Тулевский, Л. В. Жолобова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 18–19 апр. 2013 г.: в 2 ч. – Могилев: Беларус.- Рос. ун-т, 2013. – Ч. 1. – С. 36.
3. Довгалева, А. М. Формирование антифрикционных покрытий комбинированным магнитно-динамическим накатыванием / А. М. Довгалева, Д. М. Свирепа, Л. В. Жолобова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 14–15 апр. 2016 г. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2016. – С. 83–84.
4. Довгалева, А. М. Технология совмещенного магнитно-динамического накатывания в активной технологической среде / А. М. Довгалева // Научно-технологические инновации: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2019. – С. 19–21.
5. Шелег, В. К. Исследование триботехнических свойств поверхностей деталей, упрочненных совмещенным магнитно-динамическим накатыванием / В. К. Шелег, А. М. Довгалева // Актуальные вопросы машиноведения. – 2018. – Т. 7. – С. 330–334.

УДК 621.923.4

ТОПОГРАФИЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОСЛЕ ПНЕВМОВИБРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Н. М. ЮШКЕВИЧ, Е. В. ИЛЬЮШИНА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Ранее проведенные исследования технологических возможностей инструмента для пневмовибродинамической обработки (ПВДО) плоских поверхностей позволили определить оптимальные режимы обработки, при которых на поверхности заготовки образуется сетка лунок со 100 % перекрытием и шероховатостью обработанной поверхности $Ra = 1,25 \dots 1,63$ мкм [1]. Затем были проведены топографические исследования поверхности заготовок из серого чугуна СЧ20, обработанных на оптимальных режимах (зазор между торцом инструмента и обрабатываемой поверхностью $h = 1,4$ мм; минутная подача инструмента $S_{мин} = 125 \dots 160$ мм/мин; давление сжатого воздуха, подаваемое в инструмент, $P = 0,1$ МПа).

Исследования параметров шероховатости плоских поверхностей после ПВДО проводились на профилометре-профилографе Mitutoyo SJ-210 в соответствии с DIN EN ISO 13565:1998. Измерения проводились в двух направлениях: вдоль и поперек направления подачи инструмента при обработке, что связано с анизотропией поверхности после ПВДО. Исходная поверхность под ПВДО получена фрезерованием. Среднее значение параметра шероховатости Ra фрезерованной поверхности составило: вдоль направления подачи – 0,62 мкм, поперек направления – 0,53 мкм. На рис. 1 представлена профилограмма исходной фрезерованной поверхности.

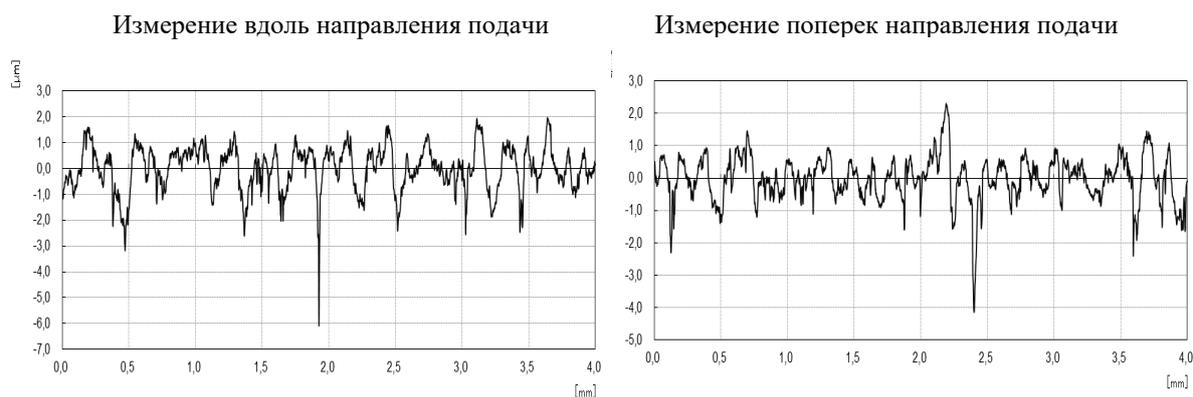


Рис. 1. Профилограммы исходной фрезерованной поверхности

После ПВДО шероховатость обработанной поверхности на вышепредставленных режимах составила: вдоль направления подачи – 1,00...1,40 мкм, поперек направления подачи – 1,10...1,30 мкм (рис. 2 и 3). В ходе исследования качественных параметров формы шероховатости выявлено, что параметр Rvk , показывающий глубину впадин, увеличился в 2–2,5 раза после ПВДО в обоих

направлениях измерения. Это доказывает преимущества поверхности после ПВДО над фрезерованной поверхностью с позиции смазывающей способности. При этом маслоспособность поверхности увеличилась в 2 раза и составила $0,015...0,020 \text{ мм}^3/\text{см}^2$. Параметр R_{pk} , характеризующий начальную высоту истирания (высоту пика), вдоль направления подачи увеличился незначительно по сравнению с исходной поверхностью. Сумма параметров R_{pk} и R_k , которые влияют на износ поверхности, после ПВДО соизмерима с такими же параметрами для фрезерованной поверхности.

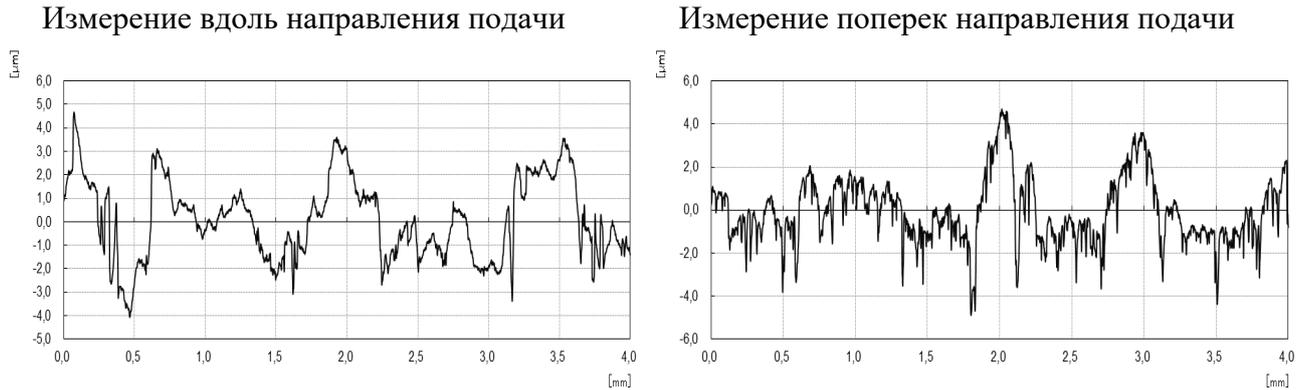


Рис. 2. Профилограммы поверхности после упрочняющей ПВДО: $h = 1,4 \text{ мм}$; $S_{мин} = 125 \text{ мм/мин}$; $P = 0,1 \text{ МПа}$

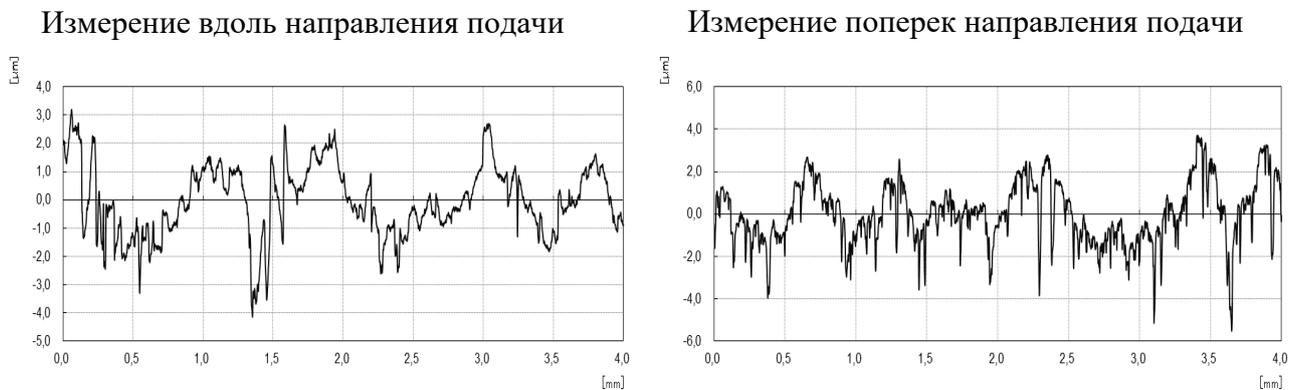


Рис. 3. Профилограммы поверхности после упрочняющей ПВДО: $h = 1,4 \text{ мм}$; $S_{мин} = 160 \text{ мм/мин}$; $P = 0,1 \text{ МПа}$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юшкевич, Н. М. Технологические возможности инструмента для пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей / Н. М. Юшкевич, Е. В. Ильюшина // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 26–27 апр. 2018 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – С. 64–65.

УДК 621.926

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КАЧЕСТВО МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

О. В. БЛАГОДАРНАЯ, О. А. ПОНОМАРЕВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Одним из способов обеспечить надежность и качество нежестких деталей является магнитно-абразивное полирование (МАП). Особенности метода МАП является непрерывный контакт абразивных частиц с поверхностью обрабатываемого изделия, что способствует съему материала с поверхности в течение всего периода обработки без появления в зоне резания критических давлений и температур, вызывающих прожоги поверхности при обычных способах полирования.

Возможность использования МАП для повышения качества нежестких деталей можно обосновать, проведя экспериментальное исследование значимости определяющих факторов, среди которых и величина магнитной индукции между полюсами электромагнитов, и материалы магнитно-абразивного порошка и обрабатываемой детали, и величина рабочего зазора между полюсами электромагнитов, и скорость относительных движений порошка и детали, и наличие вспомогательных рабочих движений детали и порошка, и состояние исходной поверхности, а также величина зерен порошка. Одновременное исследование влияния всех перечисленных факторов на эффективность магнитно-абразивной обработки затруднительно, поэтому необходимо выбрать из всего этого перечня факторов наиболее важные, а затем уже строить план эксперимента путем регулирования величин этих факторов. Если количество факторов брать не более четырех, то эксперимент получается не очень громоздким.

Для исследования значимости режимных факторов МАП проводился полнофакторный эксперимент (ПФЭ). В качестве параметра оптимизации выбираются наиболее значимые параметры для каждой конкретной детали, в зависимости от ее назначения.

При проведении МАП при всех экспериментах должно присутствовать магнитное поле вместе с магнитно-абразивным материалом. Устройство для МАП имеет магнитное поле постоянной мощности, а также позволяет совершать планетарное движение и вертикальные колебания обрабатываемым в абразивном материале нежестким деталям, а также продольное возвратно-поступательное движение кюветы с абразивным материалом в магнитном поле. Магнитное поле с абразивным материалом должно при всех испытаниях оставаться неизменным, поэтому получаем трехфакторный эксперимент с количеством испытаний, равным восьми.

Таким образом, можно выделить три управляемых фактора: x_1 – планетарное движение обрабатываемой нежесткой детали, x_2 – вертикальное возвратно-поступательное движение детали, x_3 – горизонтальное продольное возвратно-поступательное движение кюветы с абразивным материалом. Все управляемые факторы могут включаться и выключаться по отдельности, а это значительно упрощает эксперименты, т. к. производится не оптимизация режимов обработки, а оценка влияния каждого управляемого фактора на качество МАП для нежестких деталей.

Для проведения эксперимента был разработан следующий алгоритм.

1. Перед испытаниями все обрабатываемые детали помечаются и проходят измерения с целью определения их исходного качества.

2. Длительность испытаний следующая: 1, 2, 3, 5 и 8 мин. После каждого испытания детали измеряются.

3. Результаты испытаний сводятся в таблицу для последующей математической обработки для определения коэффициентов уравнения регрессии.

Согласно требованиям регрессионного анализа правильная обработка и использование результатов экспериментальных исследований возможны только в том случае, когда дисперсия измерений функции отклика в каждой точке опыта одинакова. Поскольку теоретические значения дисперсий неизвестны, то производится проверка однородности на основе статистических оценок. Возможность равенства нулю некоторых коэффициентов регрессии устанавливается с помощью коэффициентов регрессии путем проверки значимости коэффициентов с помощью критерия Стьюдента.

По результатам экспериментов было получено уравнение регрессии

$$y = 1,36 + 0,38x_1 + 0,15x_2 + 0,26x_3 + 0,10x_1x_2 + 0,07x_1x_3 + 0,03x_2x_3 + \\ + 0,003x_1x_2x_3 + 0,005x_1^2 + 0,001x_2^2 + 0,001x_3^2.$$

Из анализа этого уравнения можно сделать вывод о степени влияния управляющих технологических факторов на качество обрабатываемых деталей при МАП. Наибольшее влияние на качество обработки оказывает планетарное движение детали и продольное возвратно-поступательное движение кюветы с абразивным ферромагнитным порошком. Наименьшее влияние на качество обработки оказывает вертикальное движение детали. Для уточнения этих выводов необходимо провести исследования влияния этих факторов отдельно.

Для определения влияния других факторов, например, таких как состав абразивного материала, его состояния, концентрации и т. п., проводятся последующие испытания при оптимальном соотношении управляемых факторов и их длительности, полученных по результатам многофакторного эксперимента.

УДК 621.833.68

К ВОПРОСУ ОБ ИСТОЧНИКАХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПО КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЗУБЧАТОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ
ПЛАВНОРЕГУЛИРУЕМОЙ ПЕРЕДАЧИ

А. М. ДАНЬКОВ, А. Е. НАУМЕНКО, Ю. В. ГОНЧАРОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Классическая зубчатая передача состоит из колес с зубьями, которые зацепляясь между собой, образуют ряд последовательно работающих кулачковых механизмов. Известно, что в кулачковых механизмах используется силовое или геометрическое замыкание. Функционирование классической зубчатой передачи основано на геометрическом замыкании элементов, т. е. постоянном расстоянии между осями зубчатых колес. В результате получаем механическую систему, назначением которой является преобразование параметров движения ведущего вала с постоянным передаточным отношением. Совершенствование внутренних параметров такой системы никоим образом не может привести к выполнению ею новой функции или расширению имеющейся.

Зубчатая планетарная плавнорегулируемая передача – это новая оригинальная передача, являющаяся конструктивным развитием классической по критерию передаточного отношения, которое изменяется в процессе ее работы под нагрузкой. За основу ее конструкции взята планетарная передача КНУ, в которой центральное зубчатое колесо выполнено составным (фрагментированным), с переменным начальным диаметром. Из истории развития техники известны такие примеры фрагментации, как приводная цепь, деревянное зубчатое колесо, работающий на сжатие клиновой ремень. Фрагментация позволяет расширить функциональные возможности устройства, в данном случае передачи, сообщив ей новую функцию: плавное изменение передаточного отношения в процессе функционирования. При этом передача может быть и рядовой, и планетарной (последний вариант предпочтительней по компоновочным соображениям). Нормальное функционирование плавнорегулируемой передачи обеспечивается вспомогательными механизмами регулирования передаточного отношения, синхронизации перемещений элементов силовой кинематической цепи, съема вращения с сателлита, предотвращения поломок при регулировании передаточного отношения и компенсации погрешностей кинематики. Простейший механизм регулирования передаточного отношения в передаче с соосными сателлитами включает две вспомогательные планетарные передачи: управляющую и замыкающую, а также кинематическую ветвь механизма синхронизации перемещений секторов и сателлита. Еще более сложную

конструкцию имеют упомянутые механизмы в передаче с зафиксированными от собственного вращения сателлитами и центральным зубчатым колесом в качестве выходного элемента. Проблема компенсации кинематических флуктуаций решается в передаче с разделяющимся силовым потоком.

Очевидно, что конструкция плавнорегулируемой передачи значительно сложнее, чем передачи с постоянным передаточным отношением, но немаловажным обстоятельством является то, что усложнение касается вспомогательных механизмов, а силовая кинематическая цепь не усложняется.

Одним из путей реализации объективного настоятельного требования упрощения конструкции передачи является замена геометрического замыкания силовым, при котором управляющее воздействие сообщается только одному (управляющему) из элементов силовой кинематической цепи: сателлиту или секторам центрального зубчатого колеса. Второй элемент находится в постоянном контакте с управляющим благодаря замыкающему элементу, который может быть выполнен упругим (торсион или фасонная пружина) или в виде локальной гидросистемы. Предварительными исследованиями установлено, что способы организации силового замыкания и разделения силовых потоков не влияют друг на друга. Использование пружины в качестве упругого элемента в передаче с зафиксированными от собственного вращения зубчатыми венцами сателлита имеет недостаток, заключающийся в том, что при уменьшении вылета сателлита (увеличении передаточного отношения передачи) силы в зацеплении увеличиваются и, соответственно, замыкающее усилие должно возрастать, но при использовании замыкающей пружины сжатия создаваемое ей замыкающее усилие уменьшается. С целью частичного нивелирования этого недостатка могут быть рассмотрены три варианта конструктивного выполнения пружины сжатия.

Однако использование силового замыкания требует отказа от эвольвентного зацепления, потому что в этом случае реализуется двухпрофильный контакт боковых поверхностей зубьев и резко возрастает сила трения в зацеплении. В качестве альтернативы эвольвентному зацеплению могут быть рассмотрены зацепление Новикова, зацепление Гребенюка и циклоидально-цевочное зацепление. Широкое использование последнего до недавнего времени сдерживалось несовершенством технологической базы для его изготовления, но с ее успешным развитием, позволяющим изготавливать даже косозубое исполнение зацепления, предпочтение следует отдавать именно циклоидально-цевочному зацеплению.

Полученная таким образом передача реализует все фундаментальные и конструктивные принципы построения передачи с плавнорегулируемым передаточным отношением при удовлетворительном упрощении ее конструкции.

УДК 621.926

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВИБРАТОРА
ПЕСКОСТРУЙНОЙ УСТАНОВКИ

В. Л. КОМАР

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Мобильный маломощный пескоструйный аппарат должен иметь небольшой вес и применяться для любых объектов и в любых условиях. Производительность его работы определяется не только давлением воздуха, подаваемого в сопло пескоструйной установки, но снижением налипаемости песчаной смеси на стенки емкости для песка. Снижение налипаемости песчаной смеси осуществляется с помощью установленного на емкости механического вибратора.

К изменяемым параметрам механического вибратора относятся: давление воздуха, подаваемого в сосуд; масса и диаметр шарика вибратора; радиус беговой дорожки шарика. При движении шарика радиусом r по беговой дорожке вибратора радиусом r_0 на шарик действует сила тяжести, сила трения скольжения и момент трения качения между роликом и беговой дорожкой, а также движущая сила (давление воздуха, подаваемого компрессором).

Движение шарика в вибраторе является замедленным с угловым ускорением E , вызванным снижением давления компрессора в процессе работы, что приводит к снижению угловой скорости вращения в вибраторе от w_0 до w_k за один оборот. Для определения оптимальных параметров и размеров вибратора, а также его режимов работы воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода [1, с. 88].

Варьируемыми параметрами вибратора были приняты: масса подвижного шарика, радиус шарика, радиус беговой дорожки шарика, давление воздуха в системе. Приведенный момент, действующий на движущийся шарик, зависит от силы трения скольжения и момента трения качения, а также движущей силы, создаваемой давлением воздуха со стороны компрессора.

В результате решения уравнения движения были определены кинематические параметры движения шарика и, соответственно, сила удара, создаваемая шариком в вибраторе в зависимости от его параметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борисенко, Л. А.** Теория механизмов, машин и манипуляторов / Л. А. Борисенко. – Минск: Новое знание, 2011. – 285 с.: ил.

УДК 621.9126

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ПЕСКОСТРУЙНОЙ УСТАНОВКИ

В. Л. КОМАР

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Для проведения экспериментов были изготовлены образцы вибраторов с разными геометрическими параметрами. Каждый из вибраторов устанавливался жестко на боковую поверхность емкости для песчаной смеси. В вибратор подавался сжатый воздух от компрессора, что обеспечивало непрерывное вращение шарика по беговой дорожке, и вызывал биение.

В результате этого процесса происходила осадка конуса песка внутри сосуда, что приводило к равномерной и постоянной подаче песчаной смеси к обрабатываемой поверхности детали. В качестве обрабатываемых образцов были взяты пластины металла размером 200×200 мм, покрытые краской и ржавчиной. Критерием оценки работоспособности установки принято время обработки детали (рис. 1).



Рис. 1. Пескоструйная установка

Варьируемыми параметрами приняты: диаметр и масса шарика, радиус беговой дорожки шарика; по пескоструйной установке – давление подаваемого воздуха; по песку – обработка образцов проводилась кварцевым, карьерным, речным песком. По конструкции вибратора – диаметр шарика 9, 11, 14 и 18 мм; масса шарика 4,8; 6,5; 10,1 и 24,8 г; радиус беговой дорожки 33, 42 и 51 мм.

По результатам экспериментов получены следующие параметры: время удаления ржавчины для речного песка – 290 с; для карьерного – 240 с; для кварцевого – 180 с. Время удаления краски с металлической поверхности получилось на 30 с быстрее, чем для удаления ржавчины. По параметрам разработанной установки предложено: наиболее рационально использовать предварительно высушенный кварцевый песок; рабочее давление компрессора – 6...12 атм; установить на емкость вибратор с диаметром шарика 11 мм и диаметром беговой дорожки 60 мм.

УДК 624.074.5

КОНСТРУКТИВНЫЕ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д. О. КУЗМЕНКО¹, И. М. КУЗМЕНКО²

¹ООО «Воробьев и партнеры»

Минск, Беларусь

²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В Белорусско-Российском университете в сотрудничестве с кафедрой «Мосты» Российского университета транспорта (МИИТ) была разработана новая конструктивная форма несущих элементов сквозных металлических пролетных строений и подана заявка на получение патента на изобретение [1].

В результате рассмотрения материалов заявки Национальный центр интеллектуальной собственности отказал в выдаче патента.

В настоящем докладе рассматриваются различные варианты конструктивных форм несущих элементов. На их базе могут создаваться структуры несущих элементов стержневых строительных конструкций.

Каждый пространственный стержень (рис. 1, а) может быть образован как минимум двумя пластинчатыми элементами прямоугольной или трапециевидной формы – продуктами раскроя металлического проката.

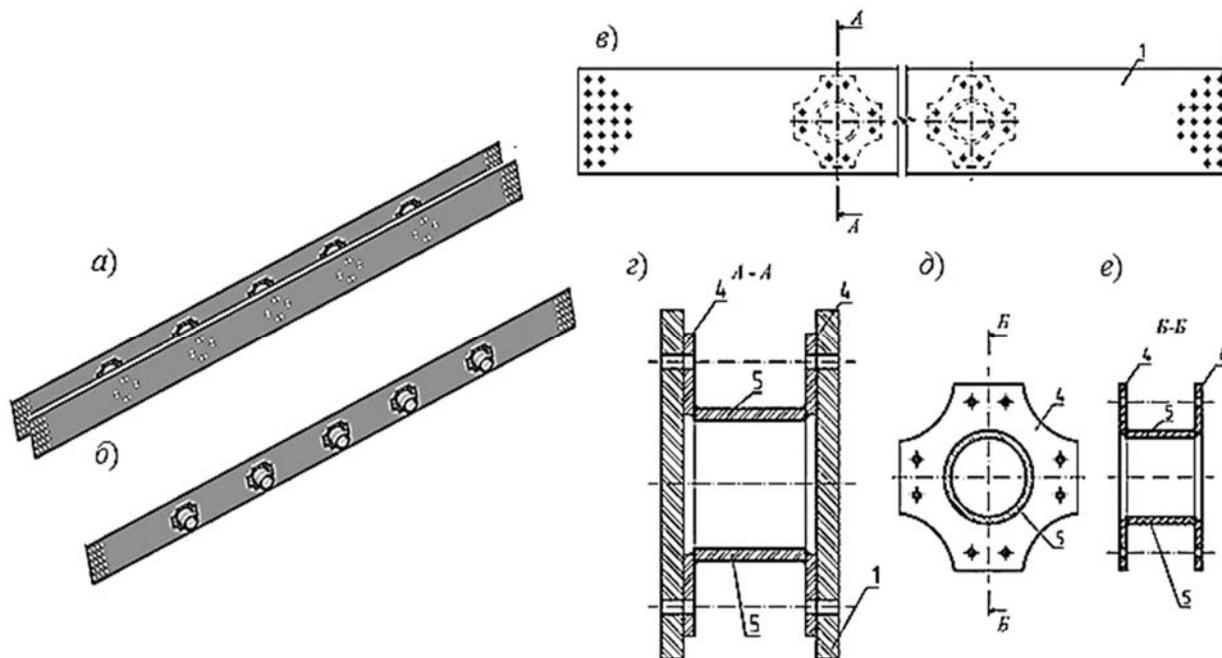


Рис. 1. Конструкция пространственного стержня структуры несущего элемента

Продольный разрез пространственного стержня показан на рис. 1, б. Несущие элементы 1 (рис. 1, в) объединяются в пространственные системы,

с помощью которых образуется каркас несущих элементов стержневой строительной конструкции (например, фермы), в том числе и как монтажный элемент сборной стержневой строительной конструкции.

Пластинчатые элементы *1*, в свою очередь, соединяются между собой посредством соединительных элементов *2* (рис. 1, *г-е*), имеющих внешний вид трубчатых «катушек» с плоскими торцевыми стыковочными шайбами или имеющих вид отрезков элементов фасонного проката.

Сборка несущих элементов *1* между собой, а также с соединительными элементами *2*, осуществляется при помощи, как правило, высокопрочных болтов. Все крепежные отверстия *3* выполняются на заводе-изготовителе и могут в различном порядке располагаться на пластинчатых несущих элементах *1*.

В свою очередь, соединительные элементы *2* состоят, по меньшей мере, из двух листовых деталей *4* фасонного профиля, соединенных неразъемно между собой посредством отрезка трубы *5*, либо иного профиля.

В [2–4] показаны преимущества предлагаемых конструктивных решений (упрощение технологии производства конструкций, снижение затрат на их изготовление) на примере несущих элементов сквозных металлических конструкций (ферм мостовых сооружений), без повышения стоимости их монтажа на площадках строительства инженерных сооружений.

Напряжения и общие деформации несущих элементов предлагаемых конструктивных форм уменьшились по сравнению с элементами, стержни которых имеют коробчатое сечение. На примере модели металлоконструкции моста под однопутную железную дорогу в программном комплексе ANSYS Workbench выполнена оптимизация сечений несущих элементов [3, 4].

Применение предлагаемых конструктивных решений позволит создавать несущие структуры стержневых металлических конструкций различных инженерных сооружений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Структура несущих элементов стержневой строительной конструкции: заявка ВУ а20160063 / В. М. Фридкин, И. М. Кузменко, Д. О. Кузменко, В. Н. Башаримова, Е. В. Кожемякина. – Оpubл. 30.10.2017.
2. **Кузменко, И. М.** Перспективы развития строительных конструкций инженерных сооружений: монография / И. М. Кузменко, В. М. Фридкин. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. – 171 с.
3. **Кузменко, Д. О.** Совершенствование пластинчато-стержневых несущих элементов сквозных металлических конструкций / Д. О. Кузменко // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2018. – С. 10–14.
4. **Ткачев, Д. Н.** Силовой анализ элементов сквозной металлической конструкции большепролетного сооружения / Д. Н. Ткачев, А. А. Моргунов; науч. рук. И. М. Кузменко, В. А. Кемова // 55 студен. науч.-техн. конф. Беларус.-Рос. ун-та. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 188.

УДК 621.83.06

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СФЕРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ С ДВУХРЯДНЫМ САТЕЛЛИТОМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Е. С. ЛУСТЕНКОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Определение напряженно-деформированного состояния основных элементов сферических роликовых передач с двухрядным сателлитом [1] проводилось на основе разработанной модели, включающей ведомый кулачок, сателлит и ролик. Использовался метод конечных элементов в модуле PrePost системы NX. Результаты моделирования показаны на рис. 1, пиковые значения контактных давлений наблюдались на гранях сферической поверхности ролика.

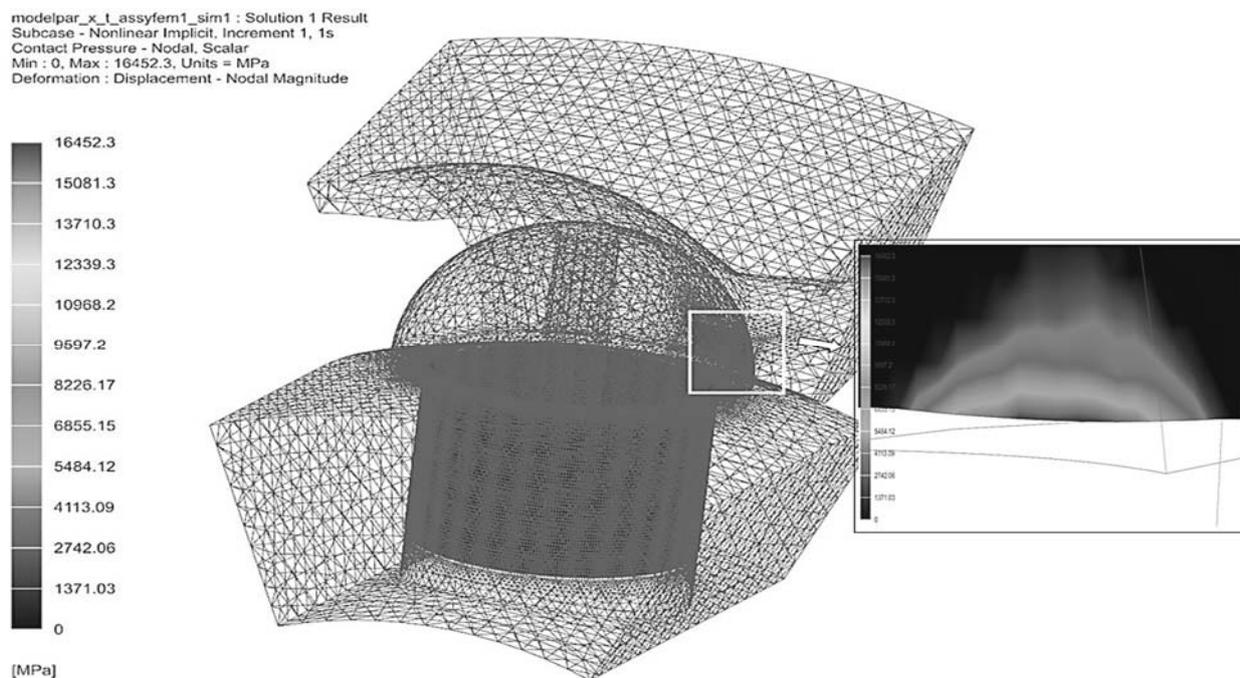


Рис. 1. Распределение контактных давлений

Исследовалась передача с диаметром корпуса 80 мм, передаточным отношением, равным 16, с моментом на ведомом валу 14 Н·м. Максимальные контактные давления (основной критерий прочности передачи) превышают значения $16 \cdot 10^3$ МПа, что в 13,76 раз больше расчетных значений, полученных согласно разработанной математической модели передачи [2]. Это связано с возникновением кромочного контакта, вызывающего пластические деформации.

Напряжения смятия, распределенные на поверхности ролика, показаны на рис. 2, а. Их максимальные значения составляют 1187 МПа, они действуют на стороне ролика, противоположной расположению зоны его контакта с ведомым

кулачком. Также наблюдается превышение полученных значений над расчетными в 54,7 раза. Однако данные напряжения – пиковые – возникают на поверхности, граничащей с опасным сечением, местом сопряжения цилиндрической и сферической поверхностей. На большинстве участков основной цилиндрической поверхности стержня ролика видно, что напряжения не превышают расчетные. На противоположной стороне цилиндрической поверхности стержня ролика, внизу у его торца (рис. 2, б), также наблюдаются увеличенные контактные давления (282 МПа – максимальные значения), что свидетельствует о перекосе оси ролика под действием нормальных нагрузок.

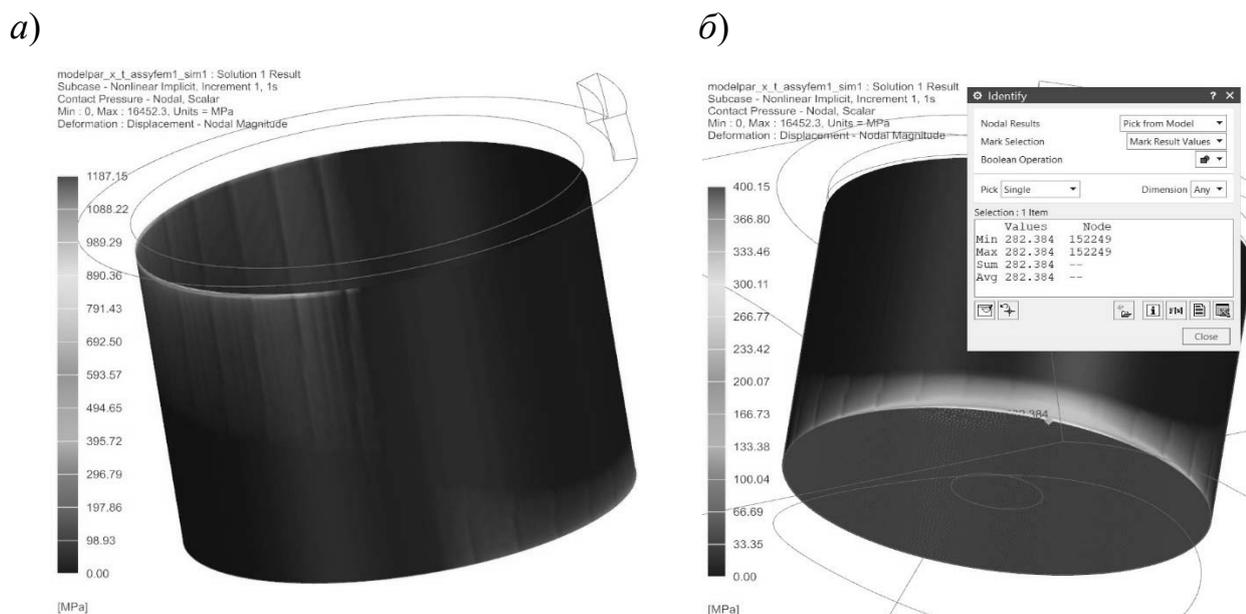


Рис. 2. Распределение напряжений смятия

Результаты теоретических исследований и компьютерного моделирования косвенно подтверждаются экспериментальными исследованиями [3]. По результатам моделирования предложено изменить конструкцию ролика и повысить жесткость сателлита.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лустенков, М. Е.** Оценка кинематических возможностей и КПД сферической и роликовой передач / М. Е. Лустенков, Е. С. Лустенкова // Вестн. машиностроения. – 2019. – № 3. – С. 25–28.
2. **Лустенков, М. Е.** Сферическая роликовая передача с двухрядным сателлитом: силовые расчеты и определение КПД / М. Е. Лустенков, Е. С. Лустенкова // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. – 2019. – № 5. – С. 32–43.
3. **Лустенков, М. Е.** Теоретические и экспериментальные исследования сферических роликовых передач / М. Е. Лустенков, Е. С. Лустенкова // Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 20, № 1. – С. 23–27.

УДК 621.83

ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МАШИН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЕРЕДАЧИ ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ТИПА

Д. Ю. МАКАЦАРИЯ, П. Н. ГРОМЫКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Дорожно-строительная отрасль, промышленность, как и другие отрасли народного хозяйства нашей страны, нуждаются в постоянном совершенствовании выпускаемой товарной продукции. Основой данного процесса является производство конкурентоспособных товаров, имеющих параметры, не уступающие по своим основным характеристикам зарубежным аналогам и даже превосходящие их. При этом необходимо стремиться уменьшать себестоимость выпускаемой продукции. Одним из направлений улучшения конкурентоспособности отечественных машин, механизмов и техники является их модернизация.

Конструкции современных машин для строительства и ремонта автомобильных дорог представляют собой совокупность различных механизмов и деталей, которые выполняют требуемые функции, обеспечивая способность техники работать по назначению. Особое место в конструкции машины занимают механические передачи. Применение современных типов механических передач, переход от использования импортных механических передач к отечественным аналогам и перспективным разработкам, имеющим более низкую себестоимость и требуемые эксплуатационные характеристики, позволит уменьшить себестоимость машины и при этом обеспечить выпуск продукции необходимого качества.

Передачи эксцентрикового типа находят все большее распространение в конструкциях различных машин, механизмов и техники. Определены перспективы создания отечественных гидроприводов на основе передачи эксцентрикового типа, которые позволяют перейти на новый уровень производства транспортных и технологических машин, задействованных в различных сферах промышленности, включая строительство и ремонт асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог нашей страны [1].

Использование передачи эксцентрикового типа в приводных механизмах способствует снижению как весовых, так и габаритных показателей машин. Получение необходимых кинематических параметров и силовых характеристик в основном определяется механической передачей, а именно ее типом. Помимо

непосредственно редуцирующих свойств, показатель компактности для механической передачи всегда играл важное значение. Данный параметр напрямую связан с габаритными размерами механической передачи. При этом перспективной по многим направлениям является конструкция передачи эксцентрикового типа, т. к. в ней заложен потенциал, позволяющий уменьшать габаритные размеры конструкции без снижения редуцирующих ее свойств [2].

Одним из способов уменьшения габаритных размеров механических передач является метод масштабирования. Он позволяет обеспечить компактность механической передачи. Однако при его применении возрастают требования, предъявляемые к материалам, используемым для изготовления деталей, входящих в состав данной конструкции. Данные условия приводят к удорожанию производства и изготовления механической передачи, а следовательно, увеличению конечной стоимости как всего изделия, так и продукции, которую оно выпускает.

В отличие от конструкции большинства механических передач, эксцентриковая передача имеет ряд преимуществ, одно из них заключается в изменении выходных параметров передачи за счет применения особого зацепления, характеризующегося специальным формообразованием зубьев. Развитие информационных технологий и использование методов компьютерного моделирования позволяют автоматизировать процесс проектирования изделия и оценить необходимые параметры механической передачи.

Таким образом, совершенствование конструкции машин для строительства и ремонта автомобильных дорог путем снижения габаритных и весовых размеров установленных в них механических передач возможно при использовании передачи эксцентрикового типа отечественного производства. Данные механические передачи имеют ряд преимуществ, позволяют заменить импортные аналоги, а также обладают потенциалом дальнейшей модернизации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Макацария, Д. Ю.** Перспективы создания отечественных гидроприводов на основе передачи эксцентрикового типа / Д. Ю. Макацария, П. Н. Громыко // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 29–30 окт. 2020 г. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 63.

2. Технологические аспекты создания рабочих поверхностей передач новых типов: монография / П. Н. Громыко [и др.]. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2012. – 209 с.

УДК 621.83.06

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА СФЕРИЧЕСКОГО РОЛИКОВОГО РЕДУКТОРА

А. Н. МОИСЕЕНКО, В. Л. КОМАР
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

На основе проведенных теоретических исследований был рассчитан, сконструирован, изготовлен и собран экспериментальный образец сферического роликового редуктора (рис. 1). Редуктор представляет собой механический модуль цилиндрической формы (рис. 2), разработанный на основе сферической роликовой передачи с двухрядным сателлитом [1]. Ряды роликов передачи смещены друг относительно друга в осевом направлении относительно центра наклоненного участка ведущего вала (кривошипа). Передаточное отношение редуктора равно 36, диаметр корпуса – 80 мм.



Рис. 1. Основные детали и узлы редуктора: 1 – ведущий вал; 2 – сателлит; 3 – неподвижное центральное колесо, соединенное с крышкой корпуса; 4 – ведомое центральное колесо, установленное на ведомом валу 5; 6 – корпус



Рис. 2. Общий вид редуктора с СРП

Предлагаемая передача относится к классу сферических механизмов, т. к. сателлит совершает сферическое движение относительно неподвижной точки, расположенной на оси передачи. Кинематические зависимости для определения передаточного отношения совпадают с формулами для планетарных передач с двухрядным сателлитом, что предполагает широкий диапазон редуцирования скорости: 16...200 в одной ступени. В отличие от прототипа [2], осевое расположение роликов позволяет уменьшить радиальные размеры передачи. От известных планетарных прецессионных передач, разрабатываемых И. А. Бостаном и др., предлагаемые передачи отличает цилиндрическая форма роликов и применение плоских центральных колес с постоянной высотой зубьев. Изготовление центральных колес сферической роликовой передачи может производиться координатным методом на вертикально-фрезерных станках с ЧПУ [3].

Обкатка редуктора на лабораторном стенде в лаборатории испытаний механических приводных систем Белорусско-Российского университета подтвердила работоспособность разработанной СРП и теоретически установленные кинематические параметры. Значительное силовое нагружение не производилось, т. к. в экспериментальном образце ролики были выполнены заодно с основанием сателлита и не имели возможности вращаться. Это снизило КПД редуктора, среднее значение которого составило 0,65, при использовании консистентной смазки Литол 24. Кулачки были изготовлены методом 3D-печати с использованием порошкового принтера по разработанным компьютерным моделям в системе NX. Следующим этапом исследований предполагается разработка конструкции с роликами, установленными на осях, закрепленных на сателлите, изготовление, сборка и испытания промышленного экземпляра редуктора, т. к. необходимая теоретическая база для определения технических характеристик передачи была накоплена при выполнении данной работы. С использованием электромеханического привода с асинхронным двигателем мощностью 0,75 кВт и частотой вращения ведущего вала 1500 мин⁻¹ максимальный передаваемый момент составил 12 Н·м. Этот результат получен для редуктора с основными деталями без термообработки, что свидетельствует о перспективности дальнейших исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лустенков, М. Е.** Оценка кинематических возможностей и КПД сферической и роликовой передач / М. Е. Лустенков, Е. С. Лустенкова // Вестн. машиностроения. – 2019. – № 3. – С. 25–28.
2. **Лустенков, М. Е.** Теоретические и экспериментальные исследования сферических роликовых передач / М. Е. Лустенков, Е. С. Лустенкова // Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 20, № 1. – С. 23–27.
3. Технологические аспекты создания рабочих поверхностей передач новых типов: монография / П. Н. Громько [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2012. – 209 с.: ил.

УДК 621.83.06

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛАНЕТАРНОЙ ТОРОВОЙ ВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

А. П. ПРУДНИКОВ, А. Д. БОДУНОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Динамический анализ передачи позволяет оценить изменение скоростей звеньев и сил, действующих на них, при переходных процессах до выхода передачи на установившийся режим работы, определить время, затрачиваемое на переходный процесс, а также выполнить проверку системы на устойчивость в стационарном состоянии.

В ходе проведенной работы были выведены уравнения, описывающие динамическую модель планетарной торовой винтовой передачи. Для динамического анализа с целью упрощения расчетной модели была рассмотрена обращенная схема планетарной торовой винтовой передачи – ведомый вал был «заторможен», а звено с беговыми дорожками «освобождено». Посредством упругих и диссипативных элементов была учтена упругость и податливость консольных выступов ведомого вала, в которых закреплены составные ролики, взаимодействующие с беговыми дорожками на соответствующих звеньях. С помощью двух трансформаторных элементов было учтено преобразование энергии при ее передаче от звена с беговой дорожкой с числом витков Z_1 к составному ролику и от составного ролика к звену с беговыми дорожками числом Z_2 . Получены уравнения для определения моментов инерции звеньев, на торовых поверхностях которых выполнены беговые дорожки.

Алгоритм динамического анализа планетарной торовой винтовой передачи был реализован в пакете Mathcad. В качестве исходных данных для анализа задавались:

– геометрические параметры передачи (число беговых дорожек на соответствующих звеньях $Z_1 = 2$, $Z_3 = 10$; количество составных роликов $n = 7$ (по два пальца на каждом ролике); размеры торовой поверхности $R = 33,5$ мм, $r = 16$ мм);

– вращающий момент на ведомом валу $M_2 = 150$ Н·м.

Решение уравнений, описывающих динамическую модель численными методами, позволило получить и проанализировать графики изменения угловых скоростей звеньев передачи и крутящего момента на ведомом валу. Установлено, что время переходного процесса составило 0,005 с, отклонение крутящего момента на ведомом валу не превысило 7 % от значения в установившемся режиме работы, а отклонение угловых скоростей было незначительно.

С помощью метода Леверье на базе полученных уравнений для динамического анализа выполнена проверка, подтвердившая устойчивость передачи в стационарном состоянии.

УДК 621.83.06

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ В ПЛАНЕТАРНОЙ ТОРОВОЙ ВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧЕ

А. П. ПРУДНИКОВ, А. Д. БОДУНОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Для разработки методики расчета геометрических параметров планетарной торовой винтовой передачи, определения ее теоретического КПД и оптимизации конструкции необходимо определить силы, действующие на элементы передачи, и проанализировать факторы, влияющие на изменение этих сил.

С этой целью была разработана математическая модель, описывающая силовое взаимодействие составных роликов с основными узлами передачи: ведущим, ведомым и зафиксированным. Для составления уравнений математической модели применялся метод кинестатики. Учитывались заданные внешние силы, возникающие реакции связи и силы инерции, действующие на составной ролик. Для упрощения расчета математической модели рассматривались только силы трения, возникающие при взаимодействии элементов составного ролика с беговыми дорожками на ведущем и зафиксированном звене, а также с ведомым валом, на котором установлены ролики.

Полученная математическая модель позволила проанализировать силы, действующие на составной ролик со стороны ведущего, ведомого и зафиксированного звеньев, и определить теоретический КПД планетарной торовой винтовой передачи. Установлено, что теоретический КПД планетарной торовой винтовой передачи соответствует однозаходным червячным передачам. Также обнаружено, что при вращении составного ролика действующая на него нагрузка изменяется в зависимости от положения пальцев ролика относительно беговой дорожки (т. е. от угла поворота составного ролика). Установлены положения составного ролика, в которых он не передает нагрузку, при работе передачи.

Пальцы составных роликов могут иметь сферическую и цилиндрическую наружную поверхность, как и беговые дорожки, с которыми они взаимодействуют. В математической модели это учтено посредством угла отклонения реакции от плоскости, перпендикулярной оси вращения пальца. С точки зрения технологичности изготовления целесообразнее использовать сферическую поверхность (беговые дорожки получают с помощью сферических фрез). Однако анализ математической модели показал, что цилиндрическая наружная поверхность пальцев приводит к увеличению теоретического КПД планетарной торовой винтовой передачи (до 5 %) и значительному снижению сил, действующих на составной ролик (от 20 до 50 %), что позволяет, не меняя габаритные размеры передачи, повысить ее нагрузочную способность.

УДК 621.878.6

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЦИКЛОВОЙ МАШИНЫ

О. В. ПУЗАНОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь.

Математическая модель динамики цикловой машины с одной степенью подвижности, жесткими звеньями и голономными стационарными связями может быть построена в форме уравнения Лагранжа второго рода

$$a(q)\ddot{q} + \frac{1}{2}a'(q)\dot{q}^2 = Q + Q_c,$$

где q – обобщенная координата; $a(q)$ – инерционный коэффициент; Q – обобщенная движущая сила; Q_c – обобщенная сила сопротивления.

В математическую модель динамики цикловой машины должна входить механическая характеристика источника энергии, отражающая зависимость между законами изменения во времени входного параметра управления двигателя $u(t)$, обобщенной координаты выходного звена $q(t)$ и движущей силы $Q(t)$.

При $Q = 0$ на режиме холостого хода для электродвигателей и гидравлических двигателей с объемным и дроссельным управлением применяется идеальная кинематическая характеристика $\dot{q} = f(u)$.

В тепловых и пневматических двигателях, когда двигатель считают источником энергии в форме силы или момента, используют идеальную силовую характеристику $Q = f(u)$.

В общем случае рассмотрения статических режимов, когда u , \dot{q} , Q практически не изменяются, используют статические характеристики $\dot{q} = f(u, Q)$ или $Q = f(u, \dot{q})$.

Для учета инертности процессов двигателя в статическую характеристику вводится производная от $Q(t)$. Так получается динамическая характеристика двигателя

$$\dot{q} = f(u, \tau\dot{Q} + Q) \text{ или } \tau\dot{Q} + Q = f(u, \dot{q}),$$

где τ – собственная постоянная времени двигателя.

Для штатных режимов работы цикловой машины с асинхронным электродвигателем используют линейную часть его нелинейной статической характеристики. Тогда для динамических режимов

$$Q \approx \frac{2Q_{\text{дн}}k_{\text{зап}}}{\sigma_{\text{к}}} \left(1 - \frac{p_{\text{п}}}{v} \dot{q} \right),$$

где $Q_{\text{дн}}$ – значение номинального момента двигателя; $\sigma_{\text{к}}$ – параметр критического скольжения ротора при отставании от магнитного поля, управляемого частотой ν ; $p_{\text{п}}$ – число пар полюсов магнитной системы электродвигателя; $k_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса, учитывающий возможные допустимые перегрузки.

Электрическая постоянная времени двигателя τ определяется в виде

$$\tau = \frac{1}{\nu \sigma_{\text{к}}}.$$

Составлена математическая модель динамики цикловой машины, состоящей из асинхронного электродвигателя переменного тока (мощность 0,5 кВт, номинальная частота 600 об/мин, $k_{\text{зап}} = 2$, $p_{\text{п}} = 3$, $\nu = 50$ Гц, $\sigma_{\text{к}} = 1,166$, момент инерции ротора $J_{\text{р}} = 0,05$ кг·м²), редуктора (передаточное отношение $i = 10$) и исполнительного механизма в виде эллипсографа (длина кривошипа $l_1 = 0,1$ м, длина шатуна 0,2 м, масса ползунов $m = 5$ кг, момент инерции кривошипа $J_1 = 0,5$ кг·м²), при этом к одному из ползунов приложена постоянная нагрузка $P = 200$ Н.

Уравнение динамической характеристики двигателя на его линейном участке имеет вид:

$$0,017\dot{Q} + Q = 27,3(1 - 0,06\dot{q}).$$

С учетом редуктора это уравнение приведено к оси кривошипа:

$$0,17\dot{Q} + 10Q = 273(1 - 0,06\dot{q}).$$

Приведенный к кривошипу момент инерции модели механизма

$$J(q) = J_{\text{р}}i^2 + J_1 + 4ml_1^2 = 5,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Обобщенная сила сопротивления (приведенный момент сил сопротивления)

$$Q_{\text{с}}(q) = -2Pl_1 \sin q = -4 \sin q.$$

Модель представляет собой систему, состоящую из двух дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} 0,17\dot{Q} + 10Q = 273(1 - 0,06\dot{q}); \\ 5,7\ddot{q} = Q - 4 \sin q. \end{cases}$$

Эта модель может применяться для динамического анализа цикловой машины.

постоянных величинах микротвердости, $n = E_h/t$ (E_h – толщина упрочненного слоя, мм; t – интервал, $t = 0,1$ мм).

Срок службы, обеспечиваемый сопротивлением глубинной контактной усталости поверхностей зубьев в любой зоне диффузионного слоя, определяется выражением [1]

$$a_{mn} = R_{lim} / R_1,$$

где R_{lim} – располагаемый ресурс сопротивления усталости, $R_{lim} = \tau_{limb}^{m_G} \cdot N_G$ (τ_{limb} – предел глубинной контактной выносливости, зависящий от величины микротвердости упрочненного слоя и наличия в ней дефектов структуры, МПа; $\tau_{limb} = 3,15 \text{ HV}^{0,616} K_{струк}$; HV – величина твердости в рассматриваемой зоне диффузионного слоя, определяемая при нагрузке 1,96 Н (0,2 кгс) по ГОСТ Р ИСО 6507; $K_{струк}$ – коэффициент, учитывающий наличие в структуре бейнитной составляющей K_B и карбидной K_K фазы, $K_{струк} = K_B \cdot K_K$; N_G – база испытаний, $N_G = 5 \cdot 10^7$; m_G – показатель наклона кривой усталости, $m_G = 6$); R_1 – требуемый ресурс сопротивления глубинной контактной усталости, накапливаемый в детали в течение единицы работы, $R_1 = \sum_i^n \tau_{hei}^{m_{Gi}} N_{li}$ (τ_{hei} – расчетное эквивалентное напряжение, определяемое в зависимости от напряженного состояния зубьев и соответствующее i -му уровню циклограммы нагружения [1], МПа; N_{li} – число циклов i -го уровня циклограммы нагружения).

При расчете величины эквивалентного напряжения τ_{he} , действующего в глубине диффузионного слоя, использована гипотеза наибольших касательных напряжений с учетом действия нормальных напряжений (теория прочности Геста – Мора).

Полученные результаты расчета по предложенной модели поверхностно упрочненных зубчатых колес с модулем от 4,5 до 10 мм, изготовленных из разных марок цементуемых сталей, имеют хорошую сходимость с данными стендовых испытаний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руденко, С. П. Контактная усталость зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин / С. П. Руденко, А. Л. Валько. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 126 с.
2. Тескер, Е. И. Современные методы расчета и повышения несущей способности поверхностно-упрочненных зубчатых передач трансмиссий и приводов / Е. И. Тескер. – Москва: Машиностроение, 2011. – 434 с.

УДК 621.926

АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВИБРОВАЛКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ-АКТИВАТОРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ВАЛКОВ

Л. Л. СОТНИК¹, С. А. САХАНЬКО², Л. А. СИВАЧЕНКО³

¹Барановичский государственный университет
Барановичи, Беларусь

²Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

³Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Пропускная способность является одной из важнейших характеристик работы валковых агрегатов. Данная характеристика позволяет оценить производительность агрегата в зависимости от режима его работы. Согласно [1, 2] производительность вибровалкового измельчителя-активатора (рис. 1) зависит от режима его работы.

Для анализа производительности вибровалкового измельчителя рассмотрим ряд моделей движения валка. В качестве модели для исследования рассматривается межвалковое пространство I прямоугольной формы размером $B \times b_{\max}$, находящееся в горизонтальной плоскости (рис. 2, а). Пластина 2 (часть валка) может двигаться вдоль оси A_0x и частично или полностью закрывать или открывать зазор I . Считаем, что материал перемещается с постоянной скоростью v_1 с бункера, находящегося над плоскостью P , вниз.

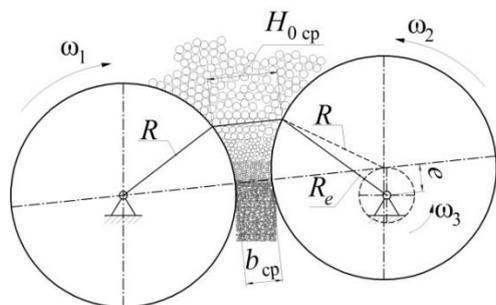


Рис. 1. Схема определения производительности вибровалкового измельчителя

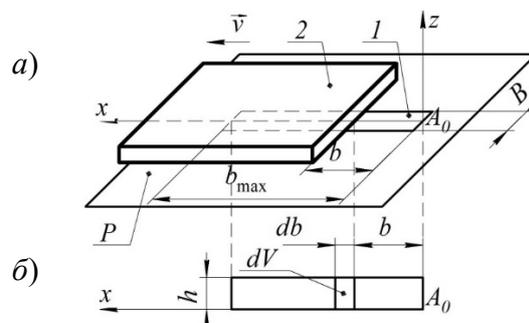


Рис. 2. Модель зазора и эпюра изменения объема в эталонном варианте

Определим пропускную способность зазора I в зависимости от закона движения пластины 2. Рассматриваются три закона движения $b = b(t)$: равномерный, равнопеременный и гармоничный. Для сравнительного анализа определяется и объем материала, перемещаемого через весь зазор $B \times b_{\max}$ без пластины за единицу времени (эталонный вариант).

Во всех указанных вариантах движения пластины время до полного открытия зазора, т. е. ее перемещение на расстояние b_{\max} , обозначим t_1 . Такое же

время принимаем и для продолжительности перемещения материала через зазор в эталонном варианте. Для эталонного варианта эпюра, характеризующая изменение объема перемещаемого через зазор материала по его длине b_{\max} , представлена на рис. 2, b в виде прямоугольника; его сторона $h = v_1 t_1$ – высоты слоя материала, который переместился под плоскость P . Горизонтальное сечение слоя равно Bdb , его объем – $dV = Bdbh$; объем всего просыпанного через зазор материала и производительность агрегата с переходом без пластины определяются по формулам:

$$V = Bb_{\max} v_1 t_1; \quad Q = Bb_{\max} v_1. \quad (1)$$

Исследование переходов с подвижными пластинами.

1. *Пластина движется равномерно.* Скорость ее движения $v = \text{const}$, закон движения $db = vdt$. Получаем

$$V = \frac{1}{2} Bv v_1 t_1; \quad Q = \frac{1}{2} Bb_{\max} v_1. \quad (2)$$

2. *Пластина движется равноускоренно.* Ее ускорение $a = \text{const}$, скорость $v = at$. Поскольку $v = db/dt$, то $db = vdt = atdt$. Тогда получаем

$$V = \frac{1}{3} Bb_{\max} v_1 t_1; \quad Q = \frac{1}{3} Bb_{\max} v_1. \quad (3)$$

3. *Пластина движется по гармоническому закону.* Зазор меняется по закону $b = 2e(1 - \cos\omega t)$. Учитывая, что $\omega t_1 = \pi$ и $2e = b_{\max} / 2$, получаем

$$V = \frac{1}{2} Bv v_1 t_1; \quad Q = \frac{1}{2} Bb_{\max} v_1, \quad (4)$$

где $t_1 = \pi / \omega$.

Сравнивая пропускные характеристики выражений (2)–(4) с эталонной (1) и между собой, устанавливаем, что они существенно зависят от законов движения пластины. Подобная методика исследования пропускных способностей переменных во времени зазоров позволяет исследовать и другие варианты устройств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия: монография / Л. А. Сиваченко [и др.]; под науч. ред. Л. А. Сиваченко. – Барановичи: БарГУ, 2020. – 359 с.
2. Вибровалковый измельчитель-активатор: пат. РФ 186478 / В. С. Севостьянов, Л. А. Сиваченко, М. В. Севостьянов, Т. Л. Сиваченко, Л. Л. Сотник, П. Ю. Горягин. – Оpubл. 22.01.2019.

УДК 621.833

МОДИФИКАЦИЯ ЗУБЬЕВ КОЛЕС ЦЕВОЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

С. Н. ХАТЕТОВСКИЙ, М. А. ГАЛЮЖИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Цевочные передачи характеризуются циклоидальным зацеплением колес, одно из которых имеет зубья в виде цевок – цилиндрических вращающихся роликов.

На основе цевочных передач изготавливают цевочные редукторы в основном по схеме типа К-Н-V. В мире широко известны фирмы-изготовители цевочных редукторов: ЗАО «БЕЛРОБОТ», Sumitomo, ООО «НТЦ «Редуктор» и др.

Цевочные передачи имеют ряд значимых преимуществ по сравнению со многими другими видами зубчатых передач: малые габариты; соосное расположение входного и выходного валов; высокий КПД, обусловленный способностью цевок вращаться; высокая плавность вращения выходного вала; высокая нагрузочная способность и др.

Однако все вышперечисленные преимущества цевочных редукторов обеспечиваются только при условии исключительного качества изготовления и сборки деталей. Это вместе с некоторыми конструктивными особенностями обуславливает высокую себестоимость изготовления.

Вращение цевок вокруг их осей при передаче нагрузки позволяет снизить потери на трение. При этом появляется возможность использовать все преимущества внецентроидного зацепления, главными из которых являются высокая нагрузочная способность и плавность вращения выходного вала, обусловленные высоким коэффициентом перекрытия.

Когда нет необходимости в высокой нагрузочной способности и при ограничении по себестоимости, цевочные передачи проигрывают многим другим типам зубчатых передач.

При этом модернизация самой цевочной передачи для снижения ее себестоимости представляет собой значимую проблему. Например, отказ от цевок и замена их невращающимися роликами при условии обеспечения высокого КПД обуславливает использование полюсного зацепления. Однако такое полюсное зацепление имеет низкий коэффициент перекрытия.

В этом случае, сохраняя такие преимущества цевочных передач, как малые габариты и соосное расположение входного и выходного валов, перспективным вариантом является использование прецессионной передачи.

Благодаря наклонному расположению оси вращения сателлита по отношению к оси вращения входного вала появляется возможность использовать зацепление колес в области, пересекаемой мгновенной осью вращения.

При этом пространственно модифицированная форма зуба сателлита обеспечивает достаточное перекрытие зацепления.

УДК 621.74.047

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ КАРБИДА КРЕМНИЯ ПРИ ЛИТЬЕ ЧУГУНА

В. Е. АГАБЕКОВ¹, Е. В. КАРПИНЧИК¹, В. П. ГРУША², В. Ф. БЕВЗА²

¹Институт химии новых материалов НАН Беларуси
Минск, Беларусь

²Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

Рециклинг (повторное использование) отходов различных отраслей промышленного производства позволяет решить проблему полноценной замены дорогих и дефицитных материалов более дешевыми и доступными без потери качества продукции заготовительных производств, к которым относится литейное производство.

Целью настоящей работы является изучение возможности использования отходов производства электронной промышленности, содержащих карбид кремния, для приготовления расплава и внепечной обработки чугуна.

В результате исследования химического состава осадка, выделенного из отходов, образующихся при резке монокристаллов кремния на пластины, выполненного в Институте химии новых материалов НАН Беларуси, было установлено, что он состоит из компонентов, перспективных для использования в литейном производстве. Осадок не содержит примесей, отрицательно влияющих на качество металла (сера, фосфор), и токсичных соединений.

Были проведены мероприятия по подготовке отходов к использованию, разработаны лабораторный регламент и технологическая схема их кондиционирования до состояния металлургического сырья, проанализирована экономическая составляющая процесса регенерации [1].

В Институте технологии металлов НАН Беларуси определены перспективные направления использования этих отходов. Поскольку в их составе, кроме карбида кремния, присутствуют продукты разрезки кристаллического кремния в элементном состоянии, было решено применить их в качестве компонента шихтовых материалов для приготовления чугуна и модифицирующей обработки расплава.

Выдвинутые предложения вариантов использования отходов были экспериментально проверены на опытном участке института. Для этого разработана методика ввода карбида кремния в расплав, обеспечивающая его усвоение, спроектирована и изготовлена технологическая оснастка для проведения экспериментальных исследований. Разработана лабораторная технология приготовления малых объёмов расплава чугуна с использованием в качестве компонентов шихты отходов карбида кремния.

В результате анализа химического состава серии литых образцов экспериментальных плавок получена зависимость (рис. 1) усвоения углерода и

кремния в выплавленном чугуна от соотношения массы вводимого карбида кремния в металлозавалку.

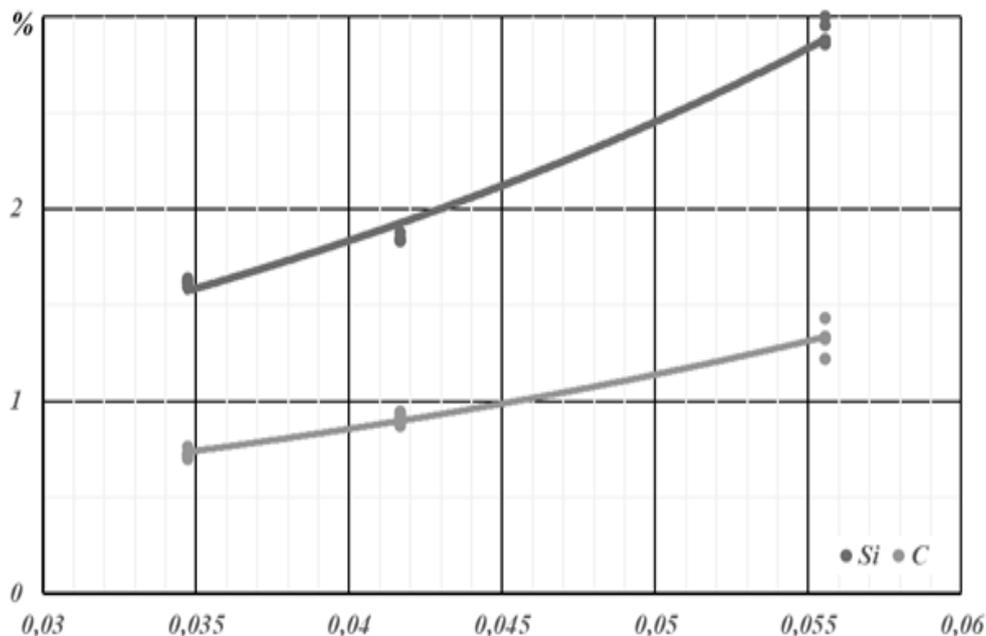


Рис. 1. Зависимость изменения концентрации кремния и углерода в расплаве от количества вводимого карбида кремния

Разработаны и опробованы несколько вариантов модифицирования расплава: в разливочном ковше путем ввода карбида кремния в кусковом виде, в гранулах, в виде сыпучего порошка и компонента состава краски на органической связке для позднего внутриформенного графитизирующего модифицирования. Анализ макроструктур изломов образцов клиновидной пробы показал снижение протяженности зон сплошного отбела и переходной зоны, что также подтверждает полученная зависимость распределения твердости по высоте клиньев при различных вариантах модифицирования [2].

По результатам анализа проведенных исследований можно сделать предварительное заключение о возможности использования отходов производства электронной промышленности в виде карбида кремния для приготовления расплава и внепечной обработки чугуна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ультрадисперсный порошок карбида кремния из производственных отходов / Е. В. Карпинчик [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 128–129.
2. Определение возможности модифицирования чугуна ультрадисперсным порошком карбида кремния / В. Е. Агабеков [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 110–111.

УДК 621.74

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАЗРАБОТАННОГО КОМПЛЕКСНО ЛЕГИРОВАННОГО И ТЕРМООБРАБОТАННОГО ХРОМИСТОГО ЧУГУНА

В. М. АНДРИЕНКО, П. Ю. ДУВАЛОВ, А. И. КАЛЕНТИОНОК

Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

Для проведения исследований механических свойств разработанного комплексно легированного и термообработанного хромистого чугуна были изготовлены образцы следующего химического состава: 3,46 % С, 18,03 % Cr, 0,24 % Ni, 1,24 % Mn, 0,21 % V, 0,37 % Mo, 0,35 % W, 0,49 % Si.

Испытывались четыре группы образцов:

- 1) образцы в литом состоянии;
- 2) образцы, прошедшие нагрев со скоростью 80 °С/ч до температуры 960 °С и после выдержки 1 ч, закаленные на воздухе. После закалки – отпуск при 220 °С;
- 3) образцы, подвергнутые троекратной закалке на воздухе с температуры 920 °С. Временной интервал между закалками составлял 16 ч;
- 4) образцы, закаленные по следующему режиму: нагрев в защитной среде, в качестве которой использовался науглероживатель «Carbamax 98», в течение 5 ч до 920 °С, затем выдержка 1,5 ч и закалка на воздухе.

Из механических свойств хромистого чугуна, исходя из дальнейших эксплуатационных условий, наибольший интерес представляет твердость и износостойкость. Для измерения твердости и износостойкости из каждой группы были отобраны по одному образцу. Результаты измерения твердости представлены графически на рис. 1.

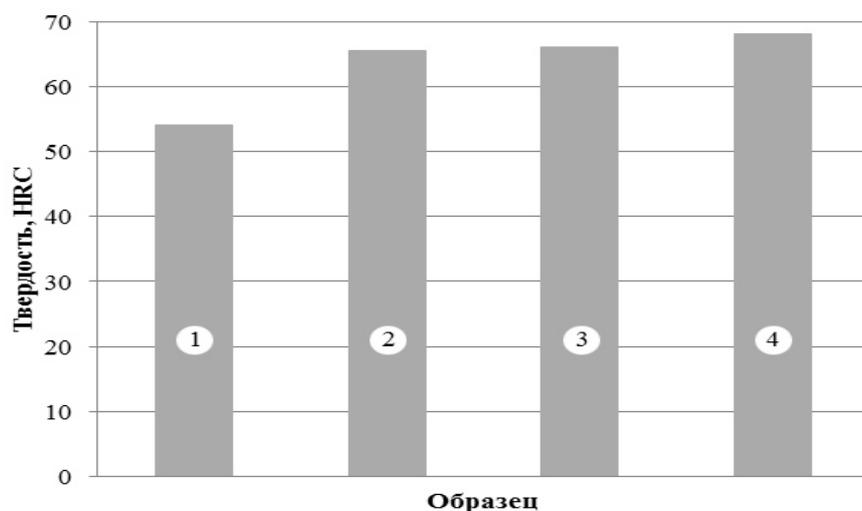


Рис. 1. Влияние термической обработки на твердость образцов: 1 – в литом состоянии; 2 – закаленный и отпущенный; 3 – троекратная закалка; 4 – закалка в защитной среде

Твердость закаленных образцов 2-й и 3-й групп в среднем увеличилась относительно литого образца примерно одинаково – на 17,7 %, а 4-й группы – на 20,4 %.

Измерение износостойкости проводили по ранее разработанной методике [1]. Результат представлен графически на рис. 2.

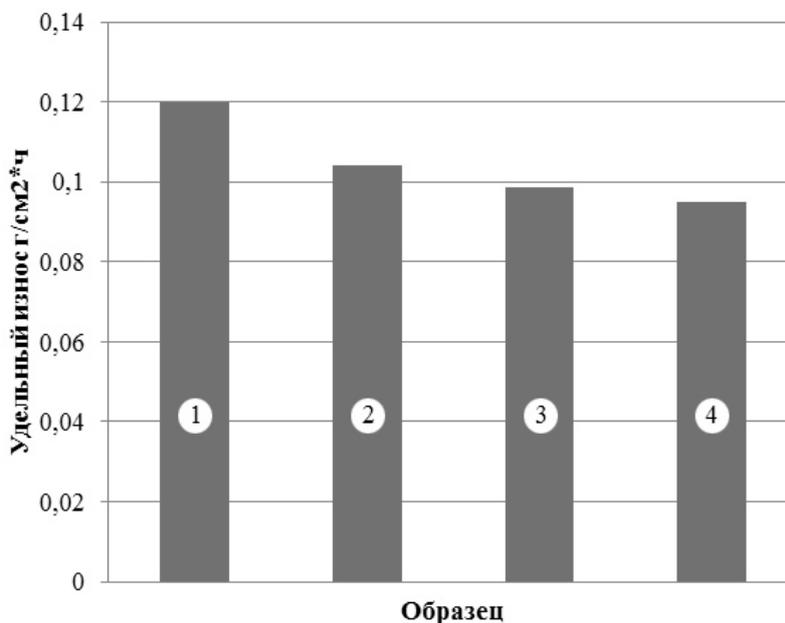


Рис. 2. Влияние термической обработки на износостойкость образцов: 1 – в литом состоянии; 2 – закаленный и отпущенный; 3 – трехкратная закалка; 4 – закалка в защитной среде

Износ всех закаленных образцов существенно меньше, чем литого. Наименьший износ, почти на 21 %, имеет образец четвертой группы.

Разработанный чугун и методы термообработки планируется применить для изготовления экспериментальной партии деталей центробежного дробильно-размольного оборудования и провести их промышленные испытания на ОАО «Полоцк-Стекловолокно».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение износостойкости деталей из хромистых чугунов, полученных литьем в кокиль / Е. И. Марукович [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы X Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 сент. 2015 г.: в 3 кн. Кн. 3: Обработка металлов давлением. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2015. – С. 52–57.

УДК 621.74

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕРМООБРАБОТАННЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ РАЗРАБОТАННОГО КОМПЛЕКСНО ЛЕГИРОВАННОГО ХРОМИСТОГО ЧУГУНА

В. М. АНДРИЕНКО, П. Ю. ДУВАЛОВ, Г. П. КОРОТКИН
Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

Проведены производственные испытания термообработанных деталей из разработанного комплексно легированного хромистого чугуна. В качестве экспериментальных отливок выбраны отбойные плиты для центробежно-ударной мельницы МЦ-1,25. Отбойная плита представляет собой параллелепипед с основаниями 85×85 мм, высотой 180 мм и глухими отверстиями в центре оснований диаметром 24 мм и глубиной 25 мм (рис. 1).



Рис. 1. Отбойные плиты для центробежно-ударной мельницы МЦ-1,25

Масса такой плиты в среднем составляет 9,5 кг. Комплект плит для установки в мельницу состоит из 48 шт. Для испытаний были отлиты две партии плит по 12 шт., отличающихся по своему составу только содержанием углерода, а также 24 плиты базового состава для сравнения (табл. 1).

Табл. 1. Химический состав базового чугуна, экспериментального чугуна эвтектического и заэвтектического составов

Состав	Содержание элементов, %								
	C	Cr	Ni	Mn	Mo	V	W	Ti	Si
Эвтектика	3,45	18,05	0,45	1,06	0,37	0,19	0,35	0,02	0,5
Заэвтектика	4,30								
Базовый	3,50	17,89	0,50	0,60	0,38	0,18	0,37	0,02	0,52

Плиты, отлитые из базового чугуна, оставлены для испытаний в литом состоянии, а 24 плиты экспериментального состава прошли термическую обработку: нагрев со скоростью $100 \text{ }^\circ\text{C/ч}$ до температуры $920 \text{ }^\circ\text{C}$ и выдержка в

течение 1,5 ч. Закалка производилась на воздухе, движение которого создавалось вентилятором. После чего плиты были промаркированы на торцевых поверхностях (см. рис. 1) и была определена их масса.

Производственные испытания проводились на предприятии ОАО «Полоцк-Стекловолокно». Отбойные плиты устанавливались в ускорителе центробежно-ударной мельницы МЦ-1,25, предназначенной для размола кварцевого песка. После проведения производственных испытаний отбойные плиты были демонтированы и определен их износ. На рис. 2 представлены изношенные отбойные плиты после работы в течение 282 ч.

Из рисунка видно, что износ плит из разработанного чугуна эвтектического и заэвтектического составов, прошедших термообработку, значительно меньше, чем у плиты базового состава, которые отливаются в металлические формы и используются в настоящее время в литом состоянии. Суммарная потеря массы отбойных плит представлена в табл. 2.

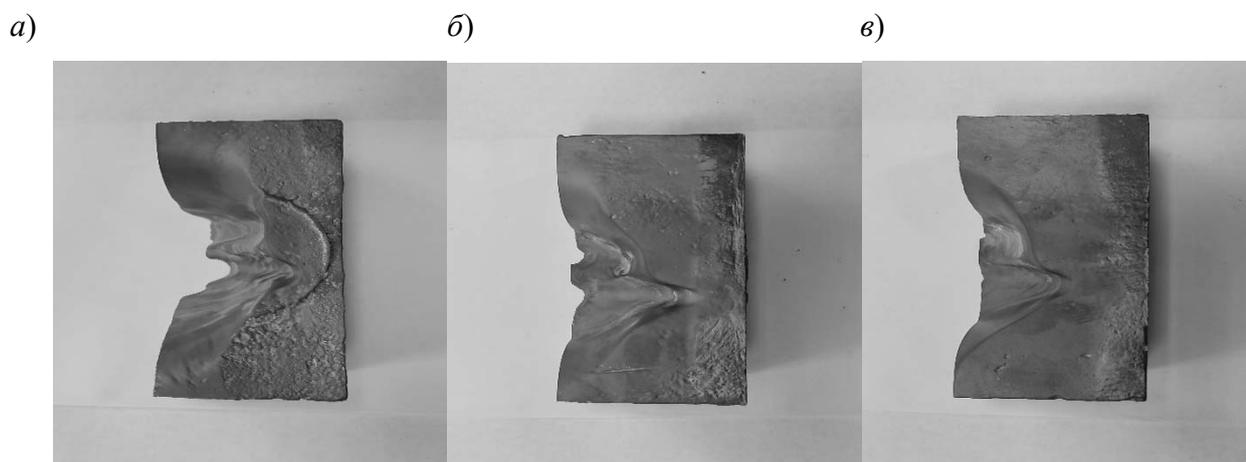


Рис. 2. Отбойные плиты после испытаний: *а* – плита из чугуна базового состава в литом состоянии; *б* – плита из разработанного чугуна эвтектического состава в термообработанном состоянии; *в* – плита из разработанного чугуна заэвтектического состава в термообработанном состоянии

Табл. 2. Суммарная потеря массы отбойных плит после испытаний

Отбойная плита	Средняя масса до испытаний, кг	Средняя масса после испытаний, кг	Среднее значение потери массы, кг
24 плиты базового состава	9,53	7,12	2,41
12 плит эвтектического состава	9,52	7,215	2,305
12 плит заэвтектического состава	9,48	7,33	2,15

Таким образом, износостойкость каленых отбойных плит из заэвтектического состава чугуна на 10,79 % выше, а эвтектического состава чугуна – на 4,36 %, чем плит из базового состава чугуна.

УДК 621.74:517.977

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ИЗНОСОСТОЙКИХ ОТБОЙНЫХ ПЛИТ

В. М. АНДРИЕНКО, П. Ю. ДУВАЛОВ, В. А. ПУМПУР

Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

На предприятии ОАО «Полоцк-Стекловолокно» проводились промышленные испытания отбойных плит УПМ-1,25 из износостойкого хромистого чугуна (ИЧХ), которые устанавливались в ускорителе центробежно-ударной мельницы МЦ-1,25, предназначенной для размола кварцевого песка. Отбойные плиты являются сменными (расходными) деталями дробильно-размольного оборудования. По результатам испытаний путем взвешивания измеряли величину износа каждой детали m_i , кг.

Диапазон изменения m_i литых деталей, которые не подвергали термической обработке, составил от 1,66 до 2,94 кг, математическое ожидание результатов 24 измерений $MO = 2,4$ кг. Результаты измерений представлены на рис. 1.

Как видно из рисунка, линия тренда 2 располагается в диапазоне от 2,3 до 2,5 кг, а разброс значений достаточно велик и носит (линия 3) немонотонный характер. Визуальная оценка результатов говорит о необходимости проведения их статистической обработки.

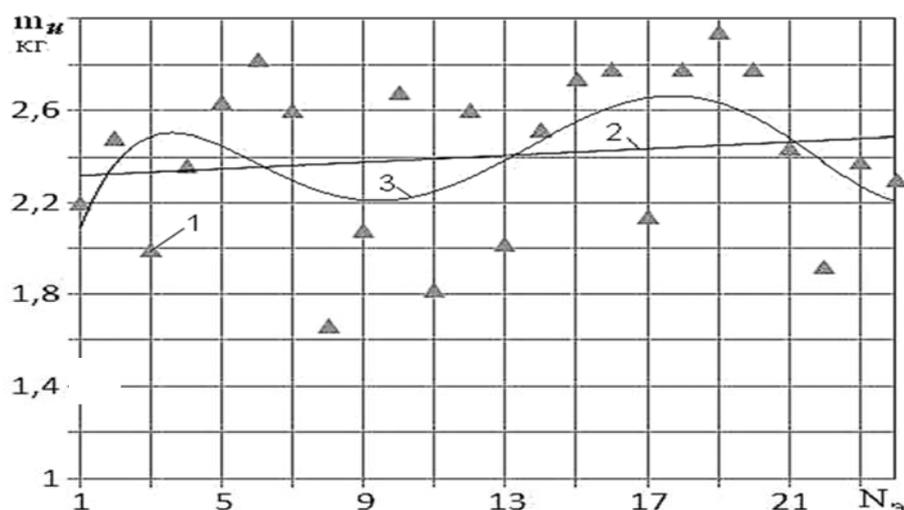


Рис. 1. Величина износа деталей из литого чугуна эвтектического состава: 1 – величина износа; 2 – линейный тренд; 3 – полиномиальный тренд; $N_{э}$ – номер измерения (эксперимента)

Статистическая обработка результатов измерений выполнялась по традиционной методике [1, 2]. Грубые погрешности результатов последовательно исключались из рассмотрения на основе применения t -критерия Стьюдента.

Исключены из рассмотрения два из 24 образцов отбойных плит. Доверительный интервал измерений составил 1,26 кг.

Полученные результаты выборки сравнивались с результатами испытаний таких же деталей из эвтектического и заэвтектического ИЧХ, подвергнутых термической обработке закалкой.

Результаты измерений по итогам испытаний представлены на рис. 2.

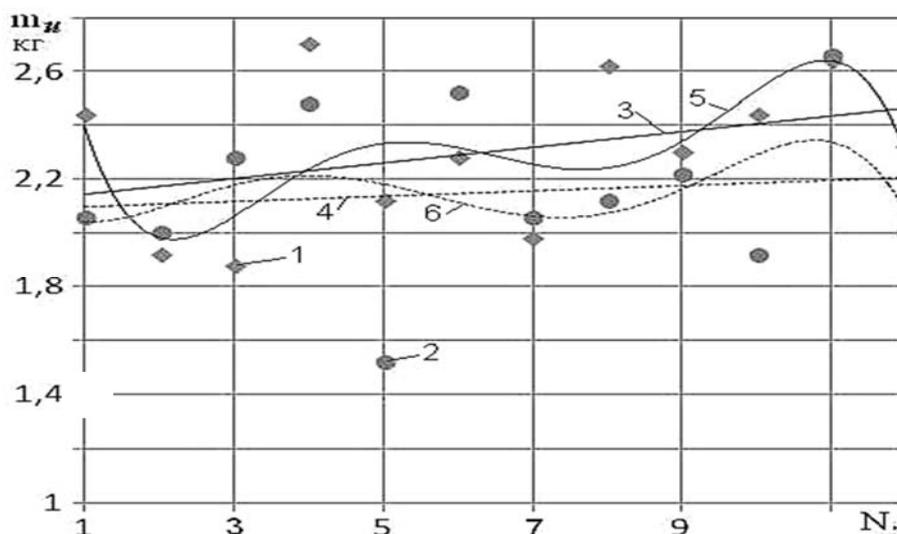


Рис. 2. Результаты измерений величины износа закаленных деталей чугунов эвтектического и заэвтектического состава: 1 – величина износа детали из эвтектического чугуна; 2 – величина износа детали из заэвтектического чугуна; 3, 5 – линейный и полиномиальный тренды для эвтектического чугуна; 4, 6 – линейный и полиномиальный тренды для заэвтектического чугуна

На основе сравнения линий трендов и значений математических ожиданий сделан вывод о том, что детали из чугуна заэвтектического состава изнашиваются меньше, по сравнению с деталями из эвтектического чугуна в среднем примерно на 7 %.

Из сравнения результатов статистической обработки величины износа литых и закаленных деталей, сделан вывод о необходимости их обязательной термической обработки. В частности, для литых деталей $MO = 2,46$ кг, а для закаленных эвтектического состава $MO = 2,3$ кг, т. е. величина износа закаленных деталей в среднем меньше на 7 %.

Это обстоятельство говорит в пользу термической обработки закалкой для уменьшения величины износа деталей УПМ-1,25.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Севастенко, Н. А.** Математическая статистика. Курс лекций: учебно-методическое пособие / Н. А. Севастенко. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2015. – 72 с.
2. **Степанова, Е. А.** Основы обработки результатов измерений: учебное пособие / Е. А. Степанова, Н. А. Скулкина, А. С. Волегов; под общ. ред. Е. А. Степановой. – Екатеринбург: Урал. ун-т, 2014. – 95 с.

УДК 621.746.6:669.15-196.53:004.942

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ
И ОХЛАЖДЕНИЯ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО ИЧХ

А. М. БРАНОВИЦКИЙ, Ю. А. ЛЕБЕДИНСКИЙ, В. А. ДЕМЕНТЬЕВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

Термофизические свойства износостойких хромистых чугунов (ИЧХ) известны достаточно приближенно. Практически единственной работой, посвященной их определению, остается [1]. Механические свойства таких чугунов зависят практически от всех этапов охлаждения. На этапе затвердевания скорость охлаждения определяет ряд характеристических размеров микроструктуры, которые не меняются в дальнейшем. На этапе образования и роста карбидов в чугуне удовлетворительные механические свойства имеют частицы карбидов только в определенном диапазоне размеров. Это связано с тем, что более крупные твердые частицы будут трескаться при ударе. Более мелкие будут легко выбиваться из матрицы. При этом скорость охлаждения должна быть достаточно высокой, чтобы доля карбидной фазы в чугуне была достаточно велика для получения удовлетворительной твердости. Сама матрица должна иметь аустенитно-мартенситную микроструктуру, служащую для распределения энергии удара с частицы карбида на большой внутренний объем в матрице, для чего мартенситные включения должны иметь также определенную морфологию и размеры.

Разные скорости охлаждения получаются при использовании разных материалов литейных форм. В частности, при литье деталей с листовой геометрией (рис. 1), например, подкладных листов для дробильно-размольного оборудования, использовались холодно-твердеющие смеси (ХТС) и стальные листы. Для их сравнения были проведены расчёты по охлаждению отливки малой толщины 25 мм для трёх вариантов литейных форм (см. рис. 1, б): форма целиком из ХТС (1, 3 – ХТС) (1); форма – стальной кокиль (1, 3 – сталь), нижняя пластина покрыта (граница 1–2) слоем антипригарной краски (2) или термостойкой ткани (3).

Расчитанные профили затвердевания (рис. 2) для трёх вариантов показывают время достижения эвтектической температура затвердевания ИЧХ 1250 °С от условного момента заливки при температуре 1400 °С. Так, использование стального кокиля уменьшает время затвердевания на порядок (1, 2), однако при этом термическая деформация приводит к некоторому изгибу отливки. Для её минимизации нужно ослабить теплоотдачу на границе 1–2 (см. рис. 1), что достигается использованием термостойкой ткани, которая разогревается до состояния самосвечения. В этом случае теплообмен между сталью и чугуном на границе 1–2 (см. рис. 1, б) осуществляется исключительно излучением, при этом степень черноты ИЧХ зависит от температуры: скачкообразно от 1 до 0,6 при переходе через точку эвтектики и линейно от 0,6 до 0,4 с понижением от 1200 до 800 °С.

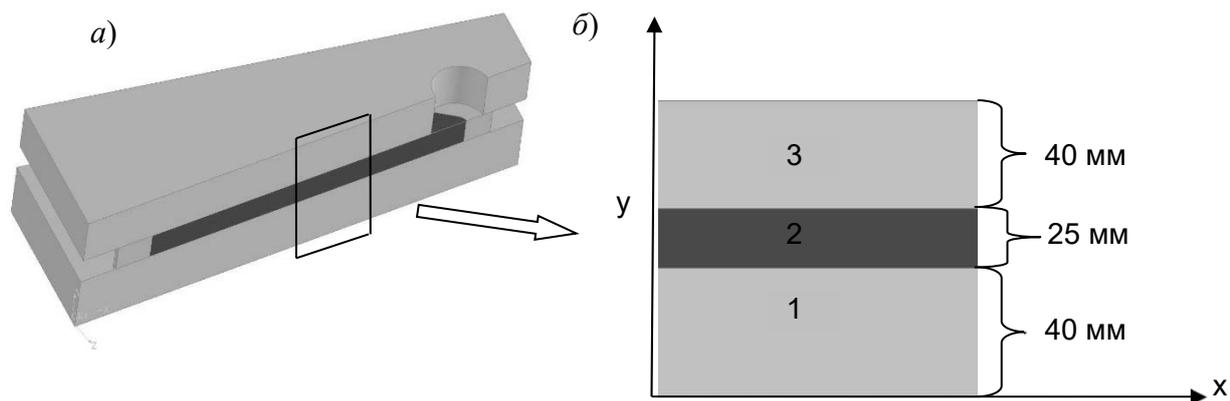


Рис. 1. Выбор расчётной области (б) в сечении сборки (а) отливки и формы: 1, 3 – форма; 2 – ИЧХ

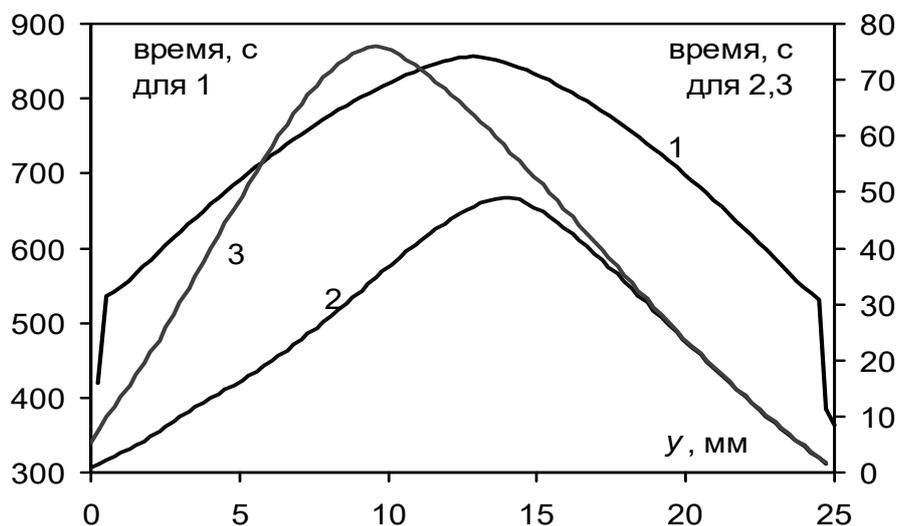


Рис. 2. Время затвердевания по сечению в отливке (сравнение трёх вариантов)

Охлаждение в температурном интервале 200...500 °С важно для оценки мартенситного перехода в матрице. К моменту снижения до 500 °С температура по сечению отливки (вдоль оси y , см. рис. 1, б) практически постоянна, т. е. отливка охлаждается практически как одно целое в течение 2...4 ч после заливки. Аппроксимирующие экспоненциальные кривые охлаждения во времени (линии тренда $R^2, 0,999$) $T_1(t) = 669,01 \exp(-0,9166t)$ и $T_3(t) = 1252,8 \exp(-0,4728t)$ совпадают с расчетными для 1-го и 3-го вариантов соответственно. Время охлаждения в стальном кокиле примерно вдвое короче по сравнению с ХТС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гарбер, М. Е.** Износостойкие белые чугуны / М. Е. Гарбер. – Москва: Машиностроение, 2010. – 280 с.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ДЛИННОГО СПЛОШНОГО ЦИЛИНДРА
ПРИ ТЕРМОСИЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ И НЕЙТРОННОМ
ОБЛУЧЕНИИ С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ

А. И. ВЕРЕМЕЙЧИК

Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

Рассмотрим бесконечно длинный однородный круговой цилиндр с равномерным тепловыделением по сечению, который подвергается воздействию равномерного давления P со стороны внешней поверхности и находится в условиях радиационного распухания суммарным флюенсом быстрых нейтронов $\Phi = \varphi t$ ($\bar{E} > 0,1$ МэВ) с учетом тепловой и радиационной ползучести. Температура T_s на внешней поверхности считается известной на основании решения задачи теплообмена с окружающей средой. Создана механико-математическая модель деформирования цилиндра [1]. Получено дифференциальное уравнение деформирования с учетом ползучести:

$$\frac{d^2 u_r}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du_r}{dr} - \frac{u_r}{r^2} = \left(\alpha \frac{dT}{dr} + \frac{1}{3} \frac{dS}{dr} \right) \frac{1+\nu}{1-\nu} + \frac{1}{r} (\varepsilon_r^{cr} - \varepsilon_\theta^{cr}) (1-\nu) + \frac{d\varepsilon_r^{cr}}{dr} + \nu \frac{d\varepsilon_\theta^{cr}}{dr} \quad (1)$$

с граничными условиями

$$\text{при } r = 0: u_r = 0; \quad \text{при } r = R: \sigma_r = -P, \quad (2)$$

где ε_r , ε_θ , ε_z – радиальные, тангенциальные и осевые деформации; α – коэффициент линейного расширения; $S(T(r), \varphi t)$ – эмпирическая функция радиационного распухания [2]; ν – коэффициент Пуассона; ε^{cr} – деформации, обусловленные ползучестью материала.

Получены выражения для компонент тензора напряжений и деформаций:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\lambda}{\nu} \cdot \left((1-\nu) \cdot \varepsilon_r + \nu \cdot \varepsilon_\theta - (1+\nu) \cdot (\varepsilon_r^t + \varepsilon_r^{sw}) - (1-\nu) \varepsilon_r^{cr} - \nu(1-\nu) \varepsilon_\theta^{cr} - \nu \varepsilon_z^{cr} \right); \\ \sigma_\theta &= \frac{\lambda}{\nu} \cdot \left((1-\nu) \cdot \varepsilon_\theta + \nu \cdot \varepsilon_r - (1+\nu) \cdot (\varepsilon_r^t + \varepsilon_r^{sw}) - (1-\nu) \varepsilon_\theta^{cr} - \nu(1-\nu) \varepsilon_r^{cr} - \nu \varepsilon_z^{cr} \right); \\ \sigma_z &= \frac{\lambda}{\nu} \cdot \left(\nu \cdot (\varepsilon_r + \varepsilon_\theta) - (1+\nu) (\varepsilon_r^t + \varepsilon_r^{sw}) - \varepsilon_\theta^{cr} - \varepsilon_r^{cr} - \frac{(1-\nu)}{\nu} \varepsilon_z^{cr} \right); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} (\sigma_r - \nu(\sigma_\theta + \sigma_z)) + \varepsilon_r^t + \varepsilon_r^{sw} + \varepsilon_r^{cr}; \quad \varepsilon_\theta = \frac{1}{E} (\sigma_\theta - \nu(\sigma_r + \sigma_z)) + \varepsilon_\theta^t + \varepsilon_\theta^s + \varepsilon_\theta^{cr};$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} (\sigma_z - \nu(\sigma_\theta + \sigma_r)) + \varepsilon_z^t + \varepsilon_z^{sw} + \varepsilon_z^{cr}, \quad (4)$$

где λ – параметр Ламе; ε^t , ε^{sw} – деформации, вызванные температурным

воздействием и радиационным распуханием материала соответственно,

$$\varepsilon^t = \alpha \cdot T; \quad \varepsilon^{sw} = \frac{1}{3} S(T(r), \varphi t). \quad (5)$$

Разработан алгоритм численной реализации и компьютерная программа по исследованию НДС. Интервал времени нагружения t_Σ разбивается на множество n шагов Δt : $n = \frac{t_\Sigma}{\Delta t}$. Затем, в соответствии с методикой [1], решается дифференциальное уравнение (1) с граничными условиями (2) на нулевом шаге (для момента времени $t = 0$), при котором деформации ползучести отсутствуют. По формулам (3) определяются компоненты тензора напряжений. Компоненты скорости деформации ползучести находятся на каждом временном шаге по формулам

$$\dot{\varepsilon}_r^{cr} = \frac{3 \dot{\varepsilon}_u^{cr}}{2 \sigma_u} \cdot (2\sigma_r - \sigma_\theta - \sigma_z); \quad \dot{\varepsilon}_\theta^{cr} = \frac{3 \dot{\varepsilon}_u^{cr}}{2 \sigma_u} \cdot (2\sigma_\theta - \sigma_r - \sigma_z); \quad \dot{\varepsilon}_z^{cr} = \frac{3 \dot{\varepsilon}_u^{cr}}{2 \sigma_u} \cdot (2\sigma_z - \sigma_\theta - \sigma_r), \quad (6)$$

где σ_u – интенсивность напряжений, $\sigma_u = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2}$; $\dot{\varepsilon}_u^{cr}$ – закон терморadiационной ползучести,

$$\dot{\varepsilon}_u^{cr} = 1,49 \cdot 10^{10} \cdot \sigma_u^{2,44} \cdot \exp(-63200 / T). \quad (7)$$

Деформации ползучести на n -м шаге определяются из выражений:

$$\varepsilon_{r(n)}^{cr} = \varepsilon_{r(n-1)}^{cr} + \dot{\varepsilon}_{r(n-1)}^{cr} \cdot \Delta t; \quad \varepsilon_{\theta(n)}^{cr} = \varepsilon_{\theta(n-1)}^{cr} + \dot{\varepsilon}_{\theta(n-1)}^{cr} \cdot \Delta t; \quad \varepsilon_{z(n)}^{cr} = \varepsilon_{z(n-1)}^{cr} + \dot{\varepsilon}_{z(n-1)}^{cr} \cdot \Delta t, \quad (8)$$

где $\varepsilon_{(n-1)}^{cr}, \dot{\varepsilon}_{(n-1)}^{cr}$ – составляющие деформации ползучести и скорости деформации ползучести на предыдущем временном шаге.

Найденные на рассматриваемом временном шаге компоненты деформации ползучести подставляются в дифференциальное уравнение (1) и граничные условия (2), затем на следующем шаге решается новое дифференциальное уравнение, определяются перемещения, компоненты напряжений и деформаций, и расчет повторяется.

Численный эксперимент проводился для аустенитной нержавеющей стали ОХ16Н15МЗБ [2]. По результатам расчетов определены компоненты тензора напряжений и деформаций и исследована их зависимость от радиуса и времени. Проведено сравнение результатов исследования НДС с учетом и без учета терморadiационной ползучести.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Веремейчик, А. И.** Исследование напряженно-деформированного состояния тел цилиндрической формы в условиях радиационного распухания и ползучести / А. И. Веремейчик, В. М. Хвисевич // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф., Брест, 27–28 мая 2019 г. – Брест: БрГТУ, 2019. – С. 141–144.

2. **Ширвель, П. И.** Прочность неравномерно нагретых цилиндрических тел в условиях ползучести и радиационного облучения / П. И. Ширвель, А. В. Чигарев, И. С. Куликов. – Минск: БНТУ, 2014. – 252 с.

УДК 621.8

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ДВИЖУЩЕЙСЯ ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ

А. И. ВЕРЕМЕЙЧИК, М. И. САЗОНОВ, В. М. ХВИСЕВИЧ

Брестский государственный технический университет

Брест, Беларусь

Для повышения износостойкости в процессе трения, сопротивляемости пластическому разрушению и предотвращения хрупкого разрушения деталей из различных сталей используется поверхностное плазменное упрочнение [1, 2], наиболее полно обеспечивающее оптимальное сочетание величины вязкости сердцевины с высокой поверхностной твердостью. Такое упрочнение можно реализовать путем локальной закалки при помощи быстро перемещающегося высококонцентрированного источника тепла. Поверхностное плазменное упрочнение находит широкое применение как в условиях мелкосерийного и единичного (в том числе ремонтного), так и крупносерийного и массового производств [1–3].

В качестве высококонцентрированного источника тепла используется плазменная дуга, для генерации которой разработана установка, состоящая из плазмотрона постоянного тока, силового источника питания дуги, устройства ВЧ-поджига дуги, систем газоснабжения аргоном и азотом и водоохлаждения плазмотрона. Анодом выступает деталь. Для перемещения плазмотрона с заданной скоростью создана система устройств. Силовой источник обеспечивает горение плазменной дуги при напряжении 14...35 В и токах до 32 А.

Плазменное упрочнение производилось при токах дуги $I = 6...32$ А и использовании в качестве плазмообразующего газа смеси аргона и азота, причем для защиты вольфрамового катода используется аргон с малым расходом, а по периферии дуги при помощи специального керамического сопла подается азот. Установлено, что происходит активное перемешивание аргона с азотом, что обеспечивает азотирование деталей. В плазмотроне применено обжимающее сопло с диаметром отверстия 1,2 мм. Скорость перемещения плазмотрона варьировалась от 4 до 27 мм/с. Установлено, что ширина упрочненной плазменной дугой «дорожки» достигает 4,2 мм, а зона термического воздействия плазменной дуги по глубине детали имеет форму сегмента.

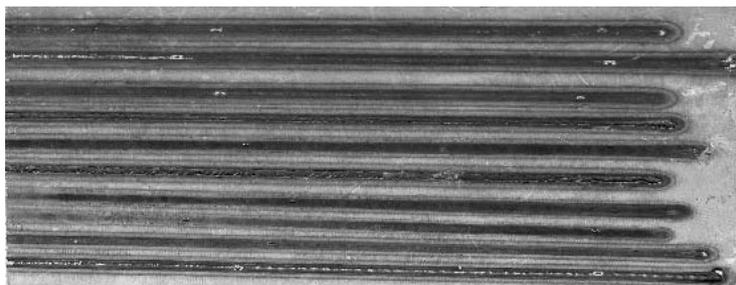


Рис. 1. Вид закаленных «дорожек» на поверхности детали при токах $I = 7...32$ А и скоростях $v = 4...25$ мм/с

Исследованы микротвердость поверхностного слоя в зависимости от различных параметров: расхода газов, тока дуги, скорости перемещения плазмотрона, получены соответствующие зависимости. На рис. 2 и 3 представлено типичное распределение микротвердости по глубине упрочняемого слоя и по ширине «дорожки» для стали 14X17H2 при токе дуги $I = 26$ А.

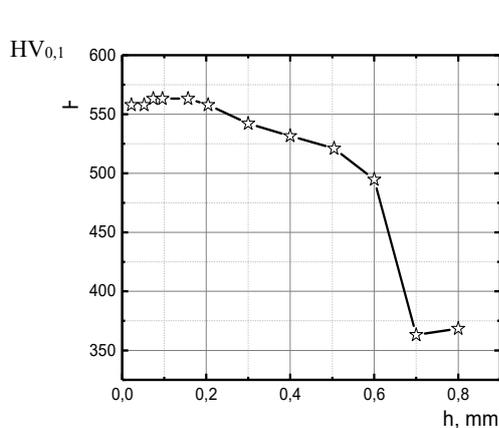


Рис. 2. Распределение микротвердости упрочненного слоя по глубине

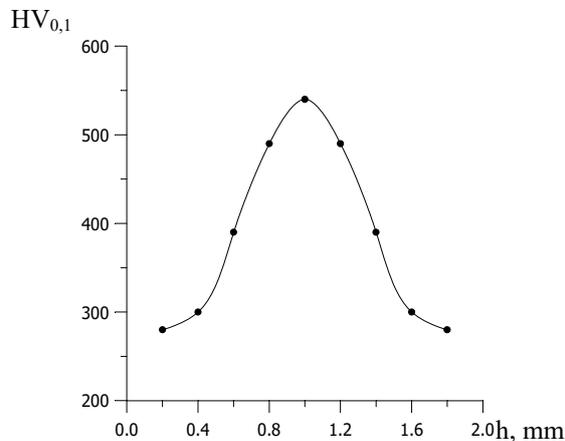


Рис. 3. Типичное распределение микротвердости закаленного слоя по ширине «дорожки»

По результатам исследований было достигнуто увеличение микротвердости до 500...550 HV_{0,1}, причем толщина упрочненного слоя может изменяться в зависимости от скорости упрочнения от 0,1 до 0,6 мм. Установлено, что уменьшение скорости движения плазменной дуги приводит к увеличению глубины упрочненного слоя. Проведенные исследования показали увеличение износостойкости упрочненных деталей более чем в 2 раза.

На основании измерений температурных полей на поверхности детали разработан алгоритм расчета температурных полей и термонапряжений в приповерхностном слое.

Данная технология упрочнения может использоваться для закалки режущих кромок инструмента, ножей для гильотинных ножниц, дробильных установок, куттеров и т. д. и позволяет значительно повысить их качество и увеличить стойкость.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Райцес, В. Б. Термическая обработка / В. Б. Райцес. – Москва: Машиностроение, 1980. – 247 с.
2. Степанова, Т. Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие / Т. Ю. Степанова. – Иваново: Иванов. гос. хим.-технол. ун-т, 2009. – 64 с.
3. Спиридонов, Н. В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н. В. Спиридонов, О. С. Кобяков, И. Л. Куприянов. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. – 155 с.

УДК 539.216.2 : 621.793.7

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ НА СВОЙСТВА ТОНКИХ СЛОЕВ ЗОЛОТА

Е. Н. ГАЛЕНКО¹, С. А. ШАРКО²

¹Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина

Мозырь, Беларусь

²Научно-практический центр НАН Беларуси
по материаловедению
Минск, Беларусь

Тонкие слои золота перспективны для использования в различных областях электроники, в частности в приборостроении. Во многом это обусловлено высокими значениями электропроводности золота и его химической инертностью. Немаловажно и то, что нанометровые слои металла оптически прозрачны: более половины падающего оптического излучения пропускается при поглощении всего в 10...20 % [1].

Однако получение качественных наноразмерных слоёв золота на чужеродных подложках сопряжено с проблемой согласования по кристаллохимическим параметрам плёнки и подложки. Так, параметры кристаллических решёток золота (4,08 Å) и кремния (5,43 Å) отличаются более, чем на 10 %, что сводит на нет всякую попытку получения эпитаксиальных слоёв.

В работе исследовались наноразмерные слои золота, полученные методом ионно-лучевого распыления на кремнии и кварце с применением методики многократного напыления/распыления, и показано заметное улучшение качества плёнок, по сравнению с аналогичными пленками, полученными с применением методики повторного напыления/распыления.

Нанесение слоя золота на подложку производилось распылением мишени золота ионами кислорода с энергией 1500...1600 эВ и плотностью тока ионов 0,1...0,25 мА/см². При использовании дополнительной операции напыления/распыления перед напылением основного слоя на подложку наносился первоначальный слой золота толщиной 2...4 нм в течение 2...3 мин. Распыление этого слоя осуществлялось ионами кислорода с энергией менее 300 эВ и плотностью тока 0,1...0,15 мА/см² до исчезновения металлической проводимости.

Были проведены измерения образцов, полученных в различных режимах: без вращения подложки и без дополнительного распыления (режим 1), напыление с непрерывным вращением подложки с дополнительным распылением (режим 2) и напылением с применением методики многократного напыления/распыления (режим 3).

Электропроводность измерялась стандартным линейным четырёхзондовым методом на основе контактного устройства ИУС-3. Затем рассчитывалось

удельное поверхностное сопротивление слоя металла (в омах на квадрат) по формуле $\rho_s \approx 4,53U/I$. Удельное сопротивление определялась из выражения $\rho = \rho_s d$, где d – толщина слоя металла. Для определения толщины всех образцов использовалась экспериментальная зависимость толщины слоя от времени напыления при заданных режимах.

В табл. 1 приведены значения удельного поверхностного сопротивления ρ_s , удельного сопротивления ρ и температурного коэффициента сопротивления (ТКС) слоев золота номинальной толщиной 13 нм, полученных в течение 300 с непрерывного напыления, в зависимости от режимов напыления.

Табл. 1. Значения сопротивления и ТКС наноразмерных слоев золота толщиной 13 нм в зависимости от режимов напыления

Параметры слоев золота	Режим получения		
	1	2	3
ρ_s , Ом/кв.	4	2,76	2,32
ρ , Ом·нм	53,2	34,67	30,86
α , К ⁻¹	$3,81 \cdot 10^{-3}$	$3,65 \cdot 10^{-3}$	$2,05 \cdot 10^{-3}$

Как видно из табл. 1, происходит уменьшение удельного сопротивления плёнки золота при переходе от первого режима получения к третьему. Величина удельного сопротивления приближается к соответствующему значению для материала в массивном состоянии (23 Ом·нм). Дополнительным свидетельством улучшения качества полученных наноразмерных плёнок золота является улучшение термостабильности, что выражается в соответствующем уменьшении ТКС.

Таким образом, метод ионно-лучевого распыления в сочетании с дополнительной операцией напыления/распыления наноразмерного слоя золота позволяет получать высококачественные слои золота в единицы – десятки нанометров. Улучшение качества слоев металла при использовании дополнительной операции напыления/распыления можно объяснить внедрением в подложку высокоэнергетических атомов золота, которые, с одной стороны, являются источниками точечных дефектов в приповерхностном слое подложки. Использование методики десятикратного напыления и распыления даёт возможность высокоэнергетической части потока осаждаемых атомов металла многократно воздействовать на уже сформированную структуру. За счет этого обеспечивается сильная адгезия слоя металла к подложке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Получение методом ионно-лучевого распыления кислородом и оптические свойства ультратонких пленок золота / А. И. Стогний [и др.] // Журн. техн. физики. – 2003. – Т. 73, № 6. – С. 86–89.

УДК 621.732

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ГАЗОВОГО ПИТАНИЯ УСТАНОВКИ
ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

А. Л. ГОЛОЗУБОВ, А. А. ГОЛОЗУБОВА

Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина
Мозырь, Беларусь

Исследования в области расширения технологии нанесения тонкопленочных покрытий (ТП) показали принципиальную возможность применения плазменных технологий, существенно расширяющих область их использования. Покрытия, получаемые из плазмы, имеют незначительные посторонние примеси в своем составе и несовершенства роста, что делает невозможным их использование в электронной промышленности, в то же время такие ТП можно эффективно использовать в машиностроении, т. к. повышение степени несовершенства структуры вызывает улучшение эксплуатационных характеристик с точки зрения упрочняющих покрытий (микротвердость, износостойкость, адгезия). Для повышения эффективности процесса нанесения ТП необходимо уточнение предварительно принятых значений отношений расходов дополнительных реагентов. Основным реагентом является полиорганосилазан – основной источник кремния в реакционно-способной плазме. Ограничивающим условием здесь является режим истечения плазменной струи и ее температура.

В качестве управляющих факторов принимались расходы транспортирующего газа через емкости (независимые отсеки питателя), содержащие дополнительные неорганические реагенты. При этом общий расход транспортирующего газа (по результатам экспериментов) должен находиться в определенном интервале, который определялся из условия ламинарного истечения плазменной струи не только внутри плазмотрона, но и на расстоянии 15...20 мм за срезом сопла плазмотрона. Опытным путем определена верхняя граница расхода транспортирующего газа, которая составила 12...15 л/ч. Транспортирующий газ имеет своей целью доставку в реакционно-способную плазму необходимого количества реагентов в паровой фазе для их дальнейшего пиролиза. Транспортирование осуществляется за счет подачи в реакционную плазму аргона, насыщенного парами кремнийорганического соединения и дополнительных неорганических реагентов, продуваемого над поверхностью реагентов в отсеках специальных питателей. В качестве функции отклика (параметра оптимизации) была принята микротвердость композиции ТП-подложка, в полной мере характеризующая эксплуатационные свойства

упрочняемых поверхностей. Следует отметить, что непосредственной целью проведения полнофакторного эксперимента являлось определение соотношений между расходами дополнительных реагентов, а не вычисление абсолютных значений функции отклика. Микротвердость композиции ТП-подложка с точки зрения оценки свойств ТП является качественной характеристикой, которая вместе с тем позволяет достоверно судить о направлении изменения свойств ТП, с целью получения покрытий лучшего качества. В результате проведения ПФЭ 2^2 было получено уравнение для расчета микротвердости в зависимости от расхода транспортирующих газов, насыщенных парами дополнительных реагентов.

$$H_{\mu} = 8,973 + 0,3742 \cdot (Q1 \text{ реаг} - 3) + 0,7143 \cdot (Q2 \text{ реаг} - 3).$$

Учитывая одинаковый нулевой уровень, можно судить о соотношении расходов транспортирующих газов дополнительных реагентов по коэффициентам линейной модели, которые показывают, что расходы транспортирующих газов для аммиака и изопропилового спирта должны находиться в соотношении 1/2.

Полученные на основании исследования математической модели результаты являются важными исходными данными для оптимизации работы системы газового снабжения установки для нанесения тонкопленочных кремнийсодержащих покрытий. Установленные в ходе анализа математической модели соотношения расходов дополнительных реагентов позволяют значительно упростить схему газового снабжения. Для упрощения системы подачи реагентов в реакционно-способную плазму возможно производить смешивание потоков до их поступления в плазмотрон, но после насыщения их парами реагентов. Таким образом, подаваемая смесь может в дальнейшем транспортироваться в плазмотрон по одному каналу, что значительно упрощает конструкцию плазмотрона [1–3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плазмотрон для плазмохимического нанесения покрытий: пат. ВУ 2306 / А. Л. Голозубов, Э. М. Пархимович, О. В. Иванина, А. Р. Андреев. – Оpubл. 16.03.1998.
2. Способ нанесения тонкопленочного покрытия на металлические изделия: пат. RU 2354743 / П. А. Тополянский, Н. А. Соснин, С. А. Ермаков. – Оpubл. 10.05.2009.
3. **Голозубов, А. Л.** Теоретические и технологические аспекты осаждения защитных тонкопленочных кремнийсодержащих покрытий из дуговой низкотемпературной плазмы при атмосферном давлении / А. Л. Голозубов. – Мозырь: Белый ветер, 2011. – 200 с.

УДК 669.872:548.735

СТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ
ТРОЙНОГО СПЛАВА Bi–Sn–PbМ. В. ГОЛЬЦЕВ¹, О. Н. БЕЛАЯ¹, В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ²¹Белорусский государственный медицинский университет²Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

Для изучения технологических свойств эвтектического сплава Bi–43 масс. % Sn проведено его легирование свинцом.

Сплав (BiSn)₉₉Pb₁ содержит 1 масс. % свинца. Кристаллизация сплава проведена при сверхвысоких скоростях охлаждения (более 10⁵ К/с) из жидкой фазы. Капля расплава инжектировалась на внутреннюю полированную поверхность быстровращающегося медного цилиндра, линейная скорость которого 15 м/с. Капля растекалась по поверхности кристаллизатора и затвердевала в виде фольги длиной до 20 см, шириной до 15 мм. Толщина исследуемых фольг составляла 40...80 мкм.

Рентгеноструктурные исследования проведены на дифрактометре ДРОН-3 в медном излучении. Обнаружены дифракционные линии висмута (10 $\bar{1}$ 2, 10 $\bar{1}$ 4, 11 $\bar{2}$ 0 и др.), линии олова (200, 101, 220 и др.) и линия ϵ -фазы (Pb₂Bi). Дифракционные линии свинца не выявлены.

Методом растровой электронной микроскопии установлено, что фольга имеет более дисперсную структуру, чем массивный образец, что обусловлено большим переохлаждением расплава при изготовлении фольги. В быстрозатвердевших фольгах наблюдается однородное распределение выделений фаз.

Наибольшие значения полюсной плотности имеют дифракционные линии 10 $\bar{1}$ 2 висмута и 200 олова, т. е. в быстрозатвердевшей фольге образуется текстура (10 $\bar{1}$ 2) висмута и (100) олова. Формирование текстуры в висмуте и олове обусловлено предпочтительным ростом тех зерен, у которых плоскости (100) олова и (10 $\bar{1}$ 2) висмута перпендикулярны направлению теплоотвода.

Таким образом, фольги быстрозатвердевшего сплава (BiSn)₉₉Pb₁, полученные при сверхвысоких скоростях охлаждения из жидкой фазы, являются трехфазными (Bi, Sn и ϵ -фаза). Фольга имеет дисперсную структуру и текстуру (10 $\bar{1}$ 2) висмута и (100) олова.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шепелевич, В. Г. Быстрозатвердевшие легкоплавкие сплавы / В. Г. Шепелевич. – Минск: БГУ, 2015. – 192 с.
2. Высокоскоростное затвердевание расплавов (теория, технология и материалы) / В. А. Васильев [и др.]. – Москва: ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ, 1998. – 400 с.

УДК 621.74.047

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ НЕПРЕРЫВНО-ЦИКЛИЧЕСКОГО ЛИТЬЯ НАМОРАЖИВАНИЕМВ. П. ГРУША, В. Ф. БЕВЗА, Т. С. ЯКУБОВИЧ
Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

В общей схеме процесса литья намораживанием в непрерывно-циклическом режиме существенную роль играют устройства для подачи расплава в кристаллизатор. От условий работы элементов сифонной литниковой системы в значительной степени зависит возможность проведения процесса, стабильность его осуществления и качество получаемых отливок. Поэтому разработке методов подачи металла в кристаллизатор и устройств по его осуществлению так же, как и минимизации тепловых потерь от расплава в системе, уделяется большое внимание. Особенно эти вопросы актуальны при получении отливок из чугуна с большой толщиной стенки, требующей длительного времени выдержки при ее формировании в кристаллизаторе.

Необходимо было изучить температурные режимы работы существующей конструкции металлопровода при циклических тепловых воздействиях со стороны расплава на поверхность его каналов в процессе получения толстостенных полых цилиндрических отливок методом намораживания в непрерывно-циклическом режиме.

На начальном этапе проведены экспериментальные исследования теплового режима подготовки металлопровода к процессу литья [1]. На основании полученных исходных данных на базе программных продуктов для инженерного анализа был разработан цифровой двойник (многопараметрическая модель) металлопровода, который с использованием метода конечных элементов моделирует внутренние тепловые процессы, технические характеристики и поведение реального объекта в условиях воздействия на него окружающей среды. Важной особенностью программного аналога является то, что для задания на него входных воздействий использовалась информация с температурных датчиков, установленных в реальном металлопроводе. Далее провели сравнение информации виртуальных датчиков цифрового двойника с датчиками реального устройства. После отладки цифровой модели на различных режимах этапа подготовки металлопровода к процессу литья результаты моделирования температурного состояния стенки металлопровода имели высокую сходимость с экспериментальными данными.

Затем исследовали температурный режим работы металлопровода при получении полых цилиндрических отливок диаметром 135 мм с толщиной стенки 35 мм и массой 25 кг из высокопрочного чугуна как на реальном процессе литья намораживанием в непрерывно-циклическом режиме, так и с использованием многопараметрического цифрового двойника.

Были получены зависимости распределения температуры по толщине стенки металлопровода в процессе разлива (рис. 1), которые имеют также

высокую сходимость с результатами моделирования после корректировки теплофизических свойств материалов модели в диапазоне высоких температур.

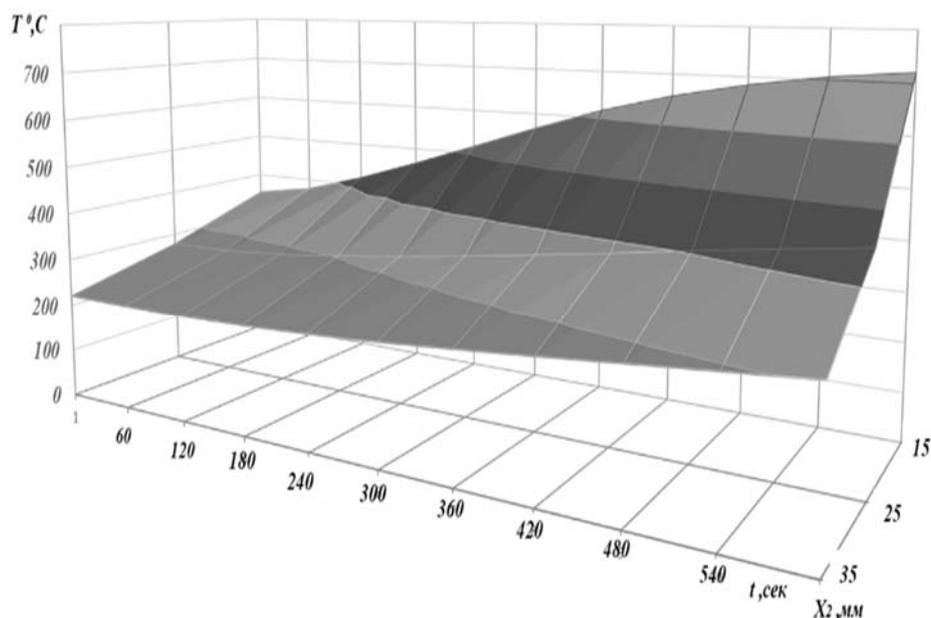


Рис. 1. Распределение температуры по толщине стенки X_2 металлопровода в процессе разлива

С использованием уже цифровой модели исследовали падение температуры металла по длине канала металлопровода на различном удалении от его центра при задаваемых термовременных параметрах процесса литья. Анализ полученных результатов показал, что опасным, с точки зрения потерь тепла от расплава, находящегося в его каналах и наиболее подверженным перемерзанию в процессе длительной выдержки при формировании отливки в кристаллизаторе, является участок на выходе из металлопровода в зоне сопряжения его с соединительным стаканом. Прорабатываются технические решения по снижению потерь тепла в этой зоне.

В дальнейшем предполагается использовать разработанную модель при решении комплексной задачи тепломассопереноса, учитывающей гидродинамику процесса заполнения кристаллизатора для анализа течения и перемешивания расплава в каналах металлопровода. Кроме того, уже с использованием современных программных комплексов для моделирования литейных процессов разработанная модель позволит оценить вероятность формирования твердой фазы в каналах, что расширит рамки применения метода намораживания в непрерывно-циклическом режиме и номенклатуру получаемых заготовок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Якубович, Т. С.** Исследование теплового режима подготовки металлопровода для литья намораживанием / Т. С. Якубович, В. П. Груша // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 90.

УДК 539.216; 539.22

ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЫТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СИЛУМИНОВ,
ЛЕГИРОВАННЫХ МЕДЬЮ

О. В. ГУСАКОВА

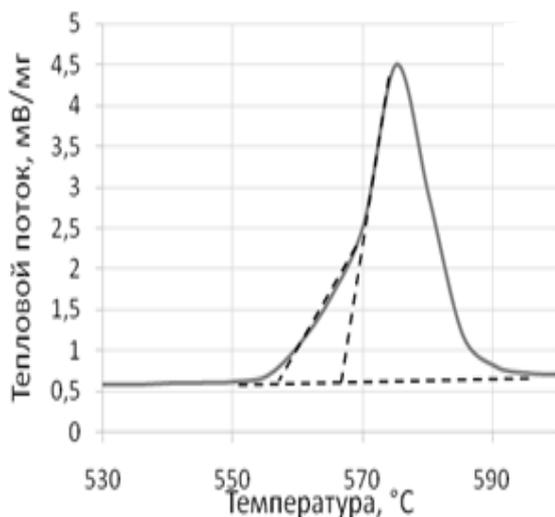
Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета
Минск, Беларусь

В связи с широким использованием силуминов в машиностроении, авиа- и ракетостроении уделяется огромное внимание улучшению их эксплуатационных и литейных свойств. Основными направлениями улучшения эксплуатационных свойств сплавов системы Al-Si являются: модифицирование микроструктуры силуминов, осуществляемое за счет добавок отдельных химических элементов и их комплексов, микролегирование силуминов микро- и наночастицами различных составов, направленное изменение микроструктуры и улучшение механических свойств за счет увеличения скорости затвердевания. Данная работа посвящена изучению одновременного влияния сверхвысоких скоростей охлаждения ($\sim 10^5$ K/c) расплава и легирования медью на термические свойства эвтектических и заэвтектических силуминов.

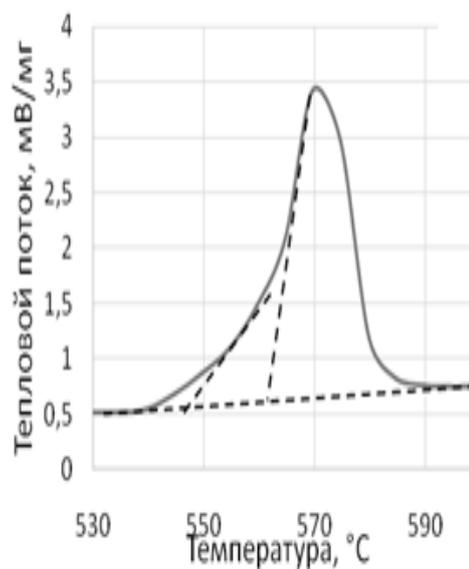
Бытрозатвердевшие фольги изготавливались методом центробежного охлаждения, при котором капля расплава массой $\sim 0,2$ г инжектируется на внутреннюю поверхность вращающегося медного цилиндра. Исследования термических характеристик сплавов проводились методом дифференциальной сканирующей калориметрии с помощью анализатора NETZSCH STA 2500 REGULUS. Образцы нагревались со скоростью 10 K/мин в температурном диапазоне от 100 до 700 °C. Масса исследуемой фольги находилась в пределах 7...15 мг. Температуры $T_{пл}$ и интервалы ΔT плавления определялись по пересечению с базовой линией касательных к пику плавления в точках перегиба.

Легирование медью оказывает существенное влияние на ход плавления силуминов (рис. 1). При содержании меди до 0,6 ат. % температура плавления эвтектического силумина заметно не снижается, однако наблюдается появление интервала плавления в 8...10 °C, что обусловлено образованием твердого раствора меди в алюминии и неоднородностью микроструктуры фольги по толщине. При повышении концентрации меди до 1 и 2 ат. % температура плавления уменьшается на 7 и 12 °C соответственно. При концентрации меди в 1 ат. % интервал плавления расширяется до 15 °C. Повышение концентрации меди до 2 ат. % приводит к началу плавления при 520 °C и появлению дополнительного пика плавления при 530 °C. Появление пика на термограмме плавления может соответствовать плавлению тройной эвтектики Al + Al₂Cu + Si, температура плавления которой составляет 520...525 °C.

а)



б)



в)

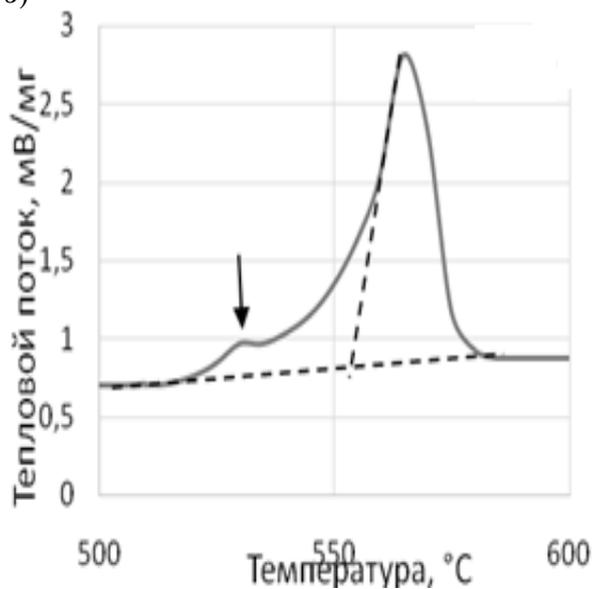


Рис. 1. Термограммы плавления эвтектических и заэвтектических силуминов, легированных медью: а – АК12 – 0,6 ат. % Cu; б – АК14 – 1 ат. % Cu; в – АК18 – 2 ат. % Cu

Этот результат позволяет заключить, что несмотря на хорошие механические свойства силуминов, которые обеспечивает легирование медью, понижение температуры плавления может ограничить область применения высоколегированных медью силуминов.

УДК 669.2/8:539.2

СТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЫГ СПЛАВОВ Zn-Sn

Д. А. ЗЕРНИЦА¹, М. В. ГОЛЬЦЕВ², В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ³¹Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина

Мозырь, Беларусь

²Белорусский государственный медицинский университет³Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

В последние годы активно ведутся научные исследования по созданию новых бессвинцовых припоев в связи с запретом токсичного свинца.

В качестве заменителей используют такие элементы, как цинк, олово, висмут, индий и другие, но стоимость некоторых из них значительно превышает цену свинца. Вследствие этого целесообразно применение энерго- и ресурсосберегающих технологий, к которым относится высокоскоростное затвердевание, при котором образуется структура, значительно отличающаяся от структур, полученных традиционными методами [1].

Исследуемые сплавы Zn-Sn, содержащие до 20 масс. % Sn, получались методом инжестирования на полированную поверхность быстровращающегося цилиндра капли расплава (скорость охлаждения не менее 10^5 К/с). Микроструктура быстрозатвердевших сплавов исследовалась с помощью растрового микроскопа LEO 1455 VP. Определение параметров микроструктуры осуществлялось методом случайных секущих.

На микрофотографии поверхности фольги со стороны кристаллизатора (рис. 1, а) отчётливо наблюдаются белые равноосные сфероидальные пятна, равномерно распределённые на сером фоне.

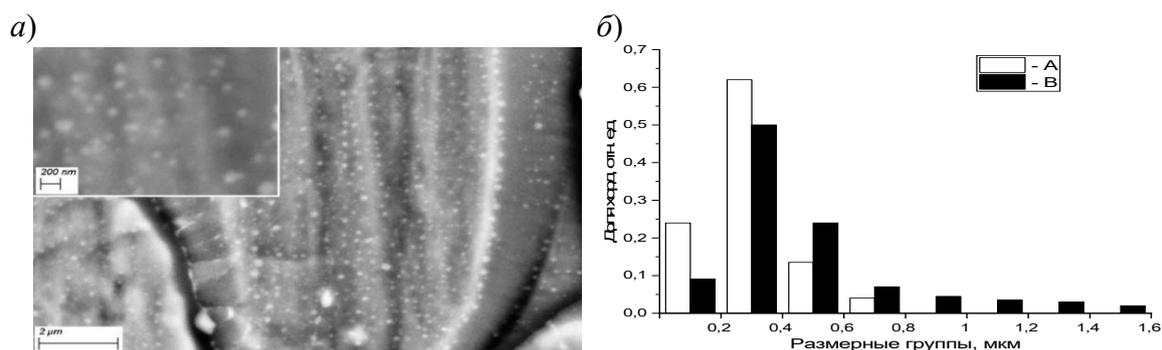


Рис. 1. Микрофотография поверхности быстрозатвердевшей фольги сплава Zn-5 масс. % Sn (а) и распределение хорд секущих на сечениях выделений олова в слоях А и В фольги сплава Zn-20 масс. % Sn (б)

Методом рентгеноспектрального микроанализа установлено, что серые участки на изображении соответствуют цинку, а более светлые выделения сферической формы – выделениям олова.

Используя метод случайных секущих, определены средние хорды

выделений олова на поперечных сечениях быстрозатвердевшей фольги сплава Zn-20 масс. % Sn (распределение по размерным группам приведено на рис. 1, б).

Средняя хорда случайных секущих в прилегающем слое фольги A меньше, чем в слое, охлаждаемом на воздухе B , удельная поверхность S фаз в слое A больше, чем в слое B , т. е. распределение выделений олова в фольге неоднородно, с перемещением фронта кристаллизации от поверхности A к поверхности B происходит её укрупнение. Переохлаждение жидкой фазы составляет не менее $100\text{ }^\circ\text{C}$, следовательно, в слое, прилегающем к поверхности A , образуется высокая скорость зародышеобразования. При кристаллизации этого слоя происходит выделение теплоты, которое уменьшает переохлаждение расплава, и его величина переохлаждения уменьшается до нескольких градусов, вследствие чего в последующих слоях закристаллизовавшегося сплава скорость образования зародышей уменьшается и их размер увеличивается, а удельная поверхность межфазной границы уменьшается.

Зависимость средней величины хорды случайных секущих на выделениях олова d_{Sn} и межфазной поверхности S от концентрации олова в быстрозатвердевших фольгах исследуемых сплавов приведена на рис. 2. С увеличением концентрации олова до 20 масс. % происходит монотонное увеличение параметров d и S , что вызвано увеличением объёмной доли выделением олова. Отжиг фольг при $160\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 90 мин приводит к увеличению средней хорды d_{Sn} и уменьшению удельной поверхности межфазных границ $S_{мфг}$, что связано с процессом коалесценции, при котором вследствие миграции границ фаз олово–цинк происходит слияние дисперсных частиц олова в более крупные сегрегации.

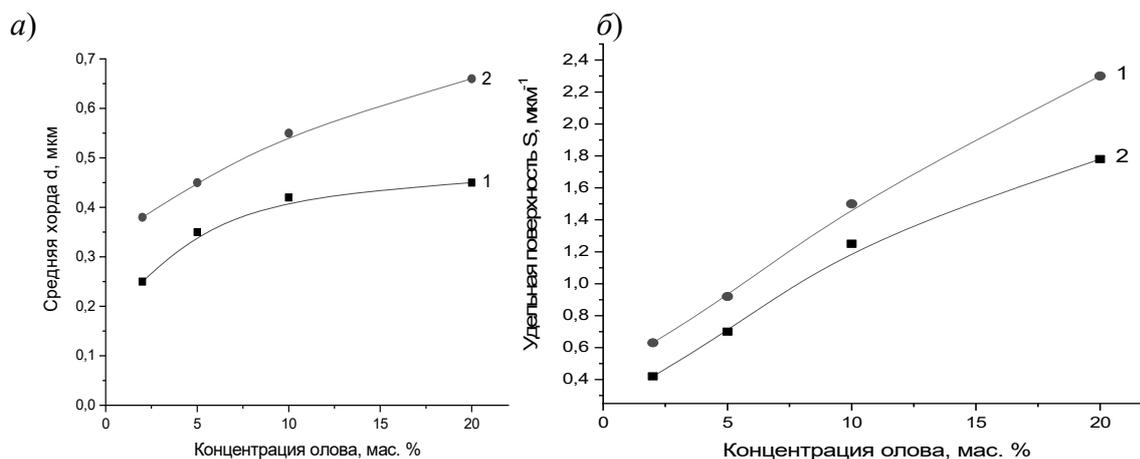


Рис. 2. Зависимость параметров микроструктуры от концентрации олова в сплавах системы Zn-Sn: a – средняя хорда случайных секущих; b – удельная поверхность межфазных границ; 1 – исходное состояние; 2 – после отжига при $160\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 90 мин

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шепелевич, В. Г. Быстрозатвердевшие легкоплавкие сплавы / В. Г. Шепелевич. – Минск: БГУ, 2015. – 192 с.

УДК 669.2/8:539.2

СТАБИЛЬНОСТЬ СТРУКТУРЫ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВОВ Zn-Sn

Д. А. ЗЕРНИЦА¹, А. А. ИВАНОВ², В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ³¹Мозырский государственный педагогический университет

имени И. П. Шамякина

Мозырь, Беларусь

²Белорусский государственный медицинский университет³Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

Сплавы на основе цинка широко используются в промышленности в качестве защитных покрытий и припоев. Улучшение свойств сплавов Zn-Sn может быть достигнуто за счёт модифицирования структуры сверхбыстрой закалкой из расплава [1]. В связи с этим в работе представлены результаты исследования стабильности и поведения при термической обработке быстрозатвердевших сплавов Zn-Sn, содержащих до 20 масс. % Sn.

Исследуемые фольги были получены путём инжестирования капли расплава на быстровращающийся медный цилиндр (линейная скорость вращения 15 м/с). Толщина фольг составляла 30...80 мкм. Испытания на микротвёрдость проводились на твердомере ПМТ-3 с временем индентирования 60 с. Отжиг фольг проводился в сушильном шкафу.

При исследовании структуры установлено, что образовавшиеся фазы на основе Zn и Sn являются дисперсными пересыщенными твёрдыми растворами, что влияет на физические свойства быстрозатвердевших фольг исследуемых сплавов. Зависимость микротвёрдости фольг от концентрации Sn в быстрозатвердевших сплавах на основе цинка приведена на рис. 1.

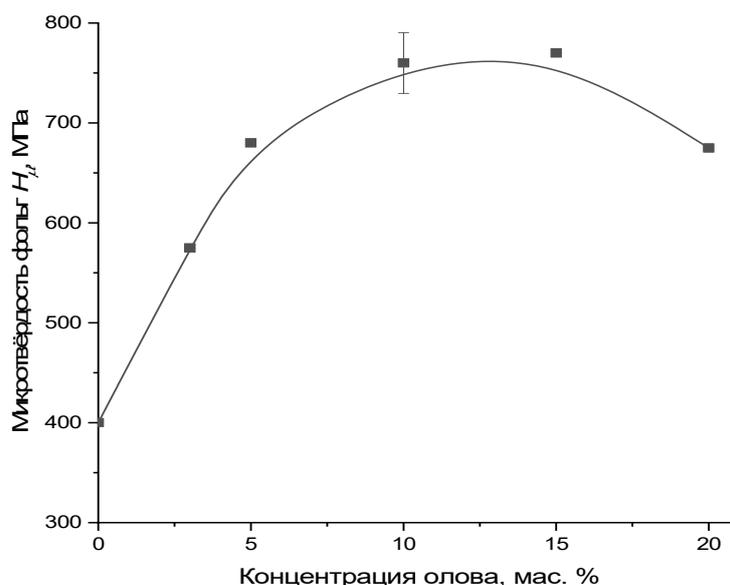


Рис. 1. Зависимость микротвёрдости быстрозатвердевшей фольги сплава Zn-Sn от концентрации олова

Наблюдается первоначальное увеличение микротвёрдости H_{μ} с увеличением концентрации олова и последующее уменьшение микротвёрдости. Рост микротвёрдости сплавов связан с образованием пересыщенного твёрдого раствора на основе цинка, в то время как последующее уменьшение данного параметра обусловлено увеличением объёмной доли дисперсных частиц Sn, которое по твёрдости уступает цинку.

Быстрозатвердевшие фольги исследуемых сплавов системы Sn-Zn находятся в неустойчивом состоянии, о чём свидетельствуют кривые зависимостей микротвёрдости быстрозатвердевших фольг от времени выдержки при комнатной температуре (рис. 2, а). Наблюдается первоначальное увеличение H_{μ} на 30 % и дальнейшее монотонное уменьшение микротвёрдости при выдержке более 4...6 ч. В первые часы после получения фольг происходит распад пересыщенного твёрдого раствора на основе цинка и образующиеся дисперсные выделения олова оказывают тормозящее воздействие на пути движения дислокаций.

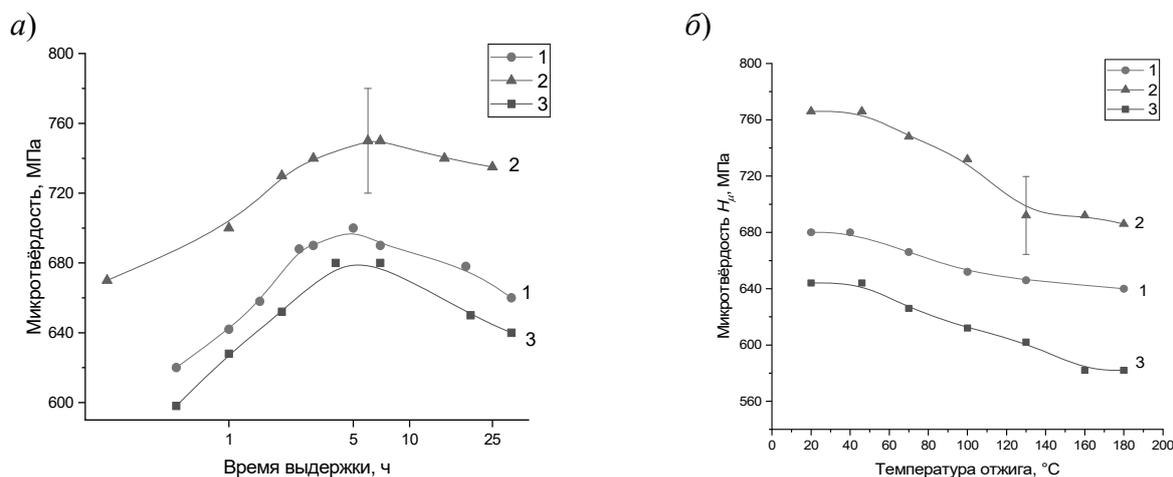


Рис. 2. Зависимость микротвёрдости быстрозатвердевших фольг сплавов системы Zn-Sn, содержащих 5 (1), 10 (2) и 20 масс. % Sn (3) от времени выдержки при комнатной температуре (а) и при изохронном отжиге (б)

Также увеличение микротвёрдости связано с уменьшением вклада зернограничного проскальзывания из-за улучшения структуры границ зёрен и фаз. На следующей стадии выдержки, когда наблюдается снижение микротвёрдости, наступает процесс укрупнения выделений олова, что приводит к уменьшению их количества, и движение дислокаций облегчается. Термообработка сплавов (рис. 2, б) приводит к дальнейшей активизации процессов диффузии, а нагрев фольг выше 40 °С приводит к уменьшению параметра H_{μ} .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка процессов получения и применения сплавов припоев в дисперсном состоянии с микрокристаллической или аморфной структурой / И. Н. Пашков [и др.] // *Металлургия*. – 2010. – № 6. – С. 43–45.

УДК 620.22:669

ОЦЕНКА ЖАРОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Fe-Cr-Al

В. П. КУЛЕВИЧ

Волгоградский государственный технический университет
Волгоград, Россия

В настоящей работе исследовано влияние химического состава алюминидных покрытий системы Fe-Cr-Al на их жаростойкость при 1100 °С.

Исследование проводили на образцах с покрытиями различного химического состава, полученными на сплавах 15Х5, Х15Ю5 и Х23Ю5 методом погружения в расплав алюминия или силумина с последующей термообработкой (ТО) (табл. 1). В качестве эталона использовали сплав Х15Ю5 (далее Cr15), который способен сохранять жаростойкие свойства при 1150 °С в течение 120 ч.

Табл. 1. Режимы получения, химический и фазовый состав испытуемых образцов

Обозначение образца	Алиментируемая подложка	Режим алитирования и состав ванны	ТО	Химический состав покрытия	Фазовый состав покрытия
Al/Cr5	15Х5М	740 °С, 5 min Pure Al	1100 °С, 5 ч	47 ат. % Al, 2 ат. % Cr	FeAl(Cr) / Fe ₃ Al(Cr) / αFe(Al, Cr)
Al/Cr15	Х15Ю5	740 °С, 10 min Pure Al	1100 °С, 20 ч	43 ат. % Al, 8 ат. % Cr	FeAl(Cr) / Fe ₃ Al(Cr) / αFe(Al, Cr)
Al-Si/Cr15	Х15Ю5	740 °С, 10 min Al-12 % Si	1100 °С, 20 ч	40 ат. % Al, 7 ат. % Cr, 5 ат. % Si	FeAl(Cr, Si) / Fe ₃ Al(Cr, Si) / αFe(Al, Cr, Si)
Al/Cr23	Х23Ю5	740 °С, 10 min Pure Al	1100 °С, 20 ч	44 ат. % Al, 12 ат. % Cr	FeAl(Cr) / Fe ₃ Al(Cr) / αFe(Al, Cr)
Cr15	Х15Ю5	–	–	10 ат. % Al, 15 ат. % Cr	αFe(Al, Cr)

На рис. 1 представлены результаты измерения увеличения массы образцов при 1100 °С. Окисление образцов Al/Cr15, Al-Si/Cr15 и Al/Cr23 при 1100 °С протекает в две стадии, на которых изменение массы образцов с течением времени подчиняется сначала параболическому закону, сопровождающемуся формированием и ростом стабильной оксидной пленки, а затем логарифмическому закону, характеризующемуся низкой скоростью окисления. Окисление образцов Al/Cr5 и Cr15 протекает с более высокой скоростью по линейной или параболической, переходящей в линейную, зависимости.

Минимальную глубину проникновения коррозии после высокотемпературных испытаний при 1100 °С в течение 500 ч показал образец Al-Si/Cr15 – 2,5 мкм. Аналогичное покрытие, не легированное Si, подверглось коррозии на глубину 3,3 мкм. Увеличение содержания Cr в составе покрытия в образце Al/Cr23

привело к увеличению глубины проникновения коррозии до 8,9 мкм, что связано с формированием богатых Cr оксидов.

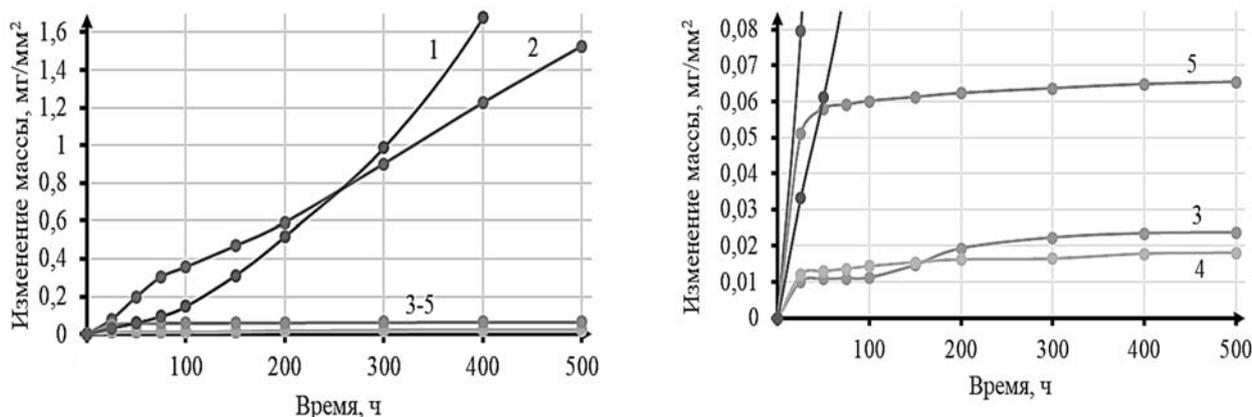


Рис. 1. Увеличение массы образцов Cr15 (1), Al/Cr5 (2), Al/Cr15 (3), Al-Si/Cr15 (4) и Al/Cr23 (5) в процессе высокотемпературных испытаний при 1100 °С

Время сохранения жаростойких свойств, оцененное по изменению концентрации Al (до 10 ат. %) в поверхностном слое покрытий при высокотемпературных испытаниях при 1100 °С (рис. 2), составило: для образца Al/Cr23 ~ 20000 ч, Al-Si/Cr15 ~ 6000 ч, Al/Cr15 ~ 5000 ч, а для Al/Cr5 ~ 130 ч.

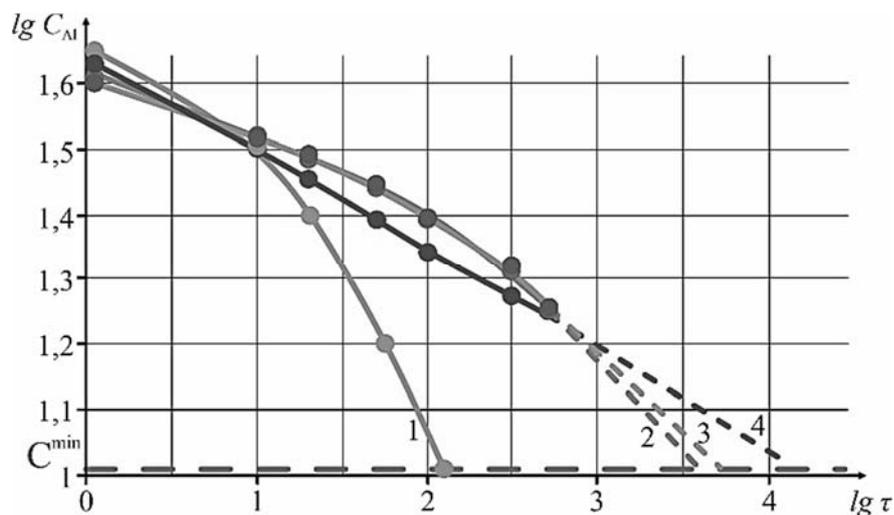


Рис. 2. Изменение концентрации Al в поверхностном слое покрытий Al/Cr5 (1), Al/Cr15 (2), Al-Si/Cr15 (3) и Al/Cr23 (4) в процессе высокотемпературных испытаний при 1100 °С

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-38-90012.

УДК 621.92

АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СТАЛЕЙ

М. П. КУПРЕЕВ¹, Л. В. СУДНИК², К. Ф. РУДНИЦКИЙ²

¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины
Гомель, Беларусь

²Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа
Минск, Беларусь

При шлифовании труднообрабатываемых сталей и сплавов эффективно использование абразивного инструмента из карбида кремния на керамической связке. Коэффициент шлифования таким инструментом повышается в 1,4–1,5 раза, а стойкость по количеству обработанных изделий увеличивается в 1,2–1,3 раза. Однако керамическая связка не реакционно-способна к карбидокремневым зернам и главным недостатком инструмента из карбида кремния на керамической связке является низкая механическая прочность, что приводит к его повышенному износу при шлифовании. В [1] предлагается повысить прочность абразивного инструмента из карбида кремния за счет введения в абразивную массу адгезионно-активных к керамической связке абразивных частиц наполнителя, например, электрокорунда зернистостью F60 и F80. С введением адгезионно-активных частиц наполнителя улучшается закрепление зерен карбида кремния в инструменте, что повышает качество инструмента.

В настоящее время на ОАО «САЛЕО-ГОМЕЛЬ» для высокоточной шлифовки распределительных дисков, блоков цилиндров и других деталей используются высокопористые шлифовальные круги фирмы Rappold Winterthur. Они изготавливаются из карбида кремния, имеют высокую пористость (15-я структура), очень мягкие – Н (М1).

Цель исследования – совершенствование абразивного инструмента для труднообрабатываемых сталей с использованием смеси электрокорунда и карбида кремния.

Отработка технологии проводилась на примере изготовления чашечного шлифовального круга ЧЦ 60 × 50 × 25 для ОАО «САЛЕО-ГОМЕЛЬ», с целью замены импортных аналогов.

Для исследования выбран порошок электрокорунда белого 25А зернистостью F60 (250 мкм), порошок черного карбида кремния 55С зернистостью F60 (250 мкм) и порошок вторичного зеленого карбида кремния 64С зернистостью F46 (320 мкм), а в качестве выгорающего наполнителя – новый органический наполнитель с размером частиц 0,63...0,8 мм. Размер частиц наполнителя больше размера абразивного зерна в 2–3 раза, что позволяет получить крупнопористый абразивный материал.

Керамическая связка содержала в своем составе бор, литий и фтор, что позволило обжигать изделия при 1050 °С. Для достижения высокой степени однородности керамической связки ее исходные компоненты тщательно перемешивались, а затем прессовались брикеты, которые обжигались. Брикеты

дробились на прессе и размалывались в шаровой мельнице. В результате последующего просеивания порошка через сито с ячейкой 40 или 70 мкм получалась мелкодисперсная однородная шихта связки.

На рис. 1, *а* представлен образец экспериментального шлифовального чашечного круга ЧЦ 60 × 48 × 25 25А F60 55С F60 10V из электрокорунда 25А зернистостью F60 (250 мкм), изготовленного с введением в формовочную массу 50 % (по массе) карбида кремния 55С и 10 % (по массе) порообразующего наполнителя, а на рис. 1, *б* – его структура. На рис. 2, *а* представлен образец экспериментального шлифовального чашечного круга ЧЦ 60 × 48 × 25 25А F60 64С F46 10V, изготовленного с введением в формовочную массу 50 % (по массе) вторичного карбида кремния 64С и 10 % (по массе) порообразующего наполнителя, а на рис. 2, *б* – его структура.

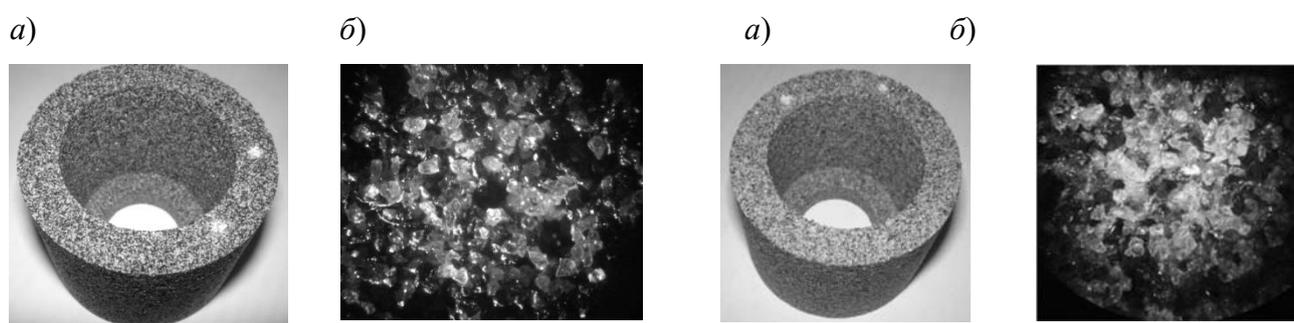


Рис. 1. ЧЦ 60 × 48 × 25 25А F60 55С F60 10V

Рис. 2. ЧЦ 60 × 48 × 25 25А F60 64С F46 10V

В табл. 1 представлен состав и характеристики экспериментальных абразивных кругов.

Табл. 1. Характеристики экспериментальных кругов

Но- мер опыта	Зернистость электроко- рунда по ГОСТ Р 52381–2005	Зернистость карбида кремния по ГОСТ Р 52381–2005	Содержа- ние керами- ческой связки, масс. %	Содержа- ние поро- образова- теля, масс. %	Номер струк- туры	Твердость по ГОСТ 52587/ ГОСТ 18118 (РФ)	Усадка, %	Диаметр лунки, мм
1	F60 / 25	F60 / 25	15	10	10	I / M2	1	2,75
2	F60 / 25	F46 / 32	15	10	10	I / M2	2,5	3

Усадка во время обжига шлифовальных кругов из вторичного карбида кремния в 2,5 раза больше, чем шлифовальных кругов из нового карбида кремния. Шлифовальные круги ЧЦ 60 × 48 × 25 25А F60 55С F60 10V из нового абразивного зерна прошли испытания на ОАО «САЛЕО-ГОМЕЛЬ» и в течение 2020 г. применяются взамен импортных дорогостоящих кругов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абразивный инструмент: пат. RU 2215643 / В. М. Шумячер, В. А. Назаренко, С. А. Крюков, И. В. Дуличенко. – Оpubл. 10.11.2003.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО СОДЕРЖАНИЯ ПОРОШКА БРОНЗЫ
НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
ФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА,
РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ

М. В. ЛАЗАРЧИК, А. В. ЛЕШОК, А. Н. РОГОВОЙ

Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа
Минск, Беларусь

Введение. Использование правильно подобранных фрикционных материалов позволяет увеличить срок службы передаточных или тормозных узлов, что приводит к снижению затрат на ремонтные работы. Выбор тех или иных материалов для пары трения зависит в первую очередь от условий работы и эксплуатационных требований в отношении надежности, долговечности, прочности и т. д. Для тяжелых режимов работы используют углеграфитовые материалы, при производстве которых используют кокс, сажу, графит и пек. Основным недостатком углеграфитовых материалов является их высокая стоимость. К наиболее используемым фрикционным материалам можно отнести материалы на основе меди (при смазывании маслом) и на основе железа. Фрикционные материалы на основе железа имеют высокую теплостойкость, поэтому их часто используют в узлах трения без смазочного материала [1, 2].

Цель работы: определить влияние порошка бронзы на триботехнические и эксплуатационные свойства фрикционного материала на основе железа, работающего при ограниченной смазке.

Материалы и методы экспериментальных исследований. В работе были выполнены сравнительные испытания фрикционного материала, используемого в качестве материала фрикционной накладки на диск электропривода стрелочного перевода с различным объемным содержанием порошка бронзы (БрОФ10-0,3). Сущность метода испытаний заключается в имитировании процесса торможения на инерционном стенде ИМ-58 и регистрации следующих выходных параметров: изменение момента сил трения от скорости и времени торможения, интенсивности изнашивания образца. Испытания проводились при следующих параметрах трения: начальная скорость торможения – 4,2 м/с; удельная нагрузка – 0,66 МПа; момент инерции маховых масс – 0,6 Н·м·с²; работа трения – 4,6 кДж; контртело – сталь 45, 38...42 HRC [3].

Как видно из табл. 1, с увеличением содержания бронзы в материале время торможения уменьшается, а коэффициент трения увеличивается, также из полученных результатов можно увидеть, что при содержании бронзы 10 и 25 об. % износ материала увеличивается.

На рис. 1 представлены результаты изменения твердости материала от содержания порошка бронзы.

С увеличением содержания бронзы в материале твердость увеличивается.

Табл. 1. Влияние объемного содержания порошка бронзы (БрОФ10-0,3) на коэффициент трения, износ и время торможения материала на основе железа

Материал	Коэффициент трения μ	Износ, мм	Время торможения t , с
5 % БрОФ10-0,3	0,22	0,063	4,8
8,5 % БрОФ10-0,3	0,19	0,053	5,3
10 % БрОФ10-0,3	0,23	0,083	4,1
15 % БрОФ10-0,3	0,24	0,06	4,9
20 % БрОФ10-0,3	0,24	0,06	4,3
25 % БрОФ10-0,3	0,26	0,086	3,8

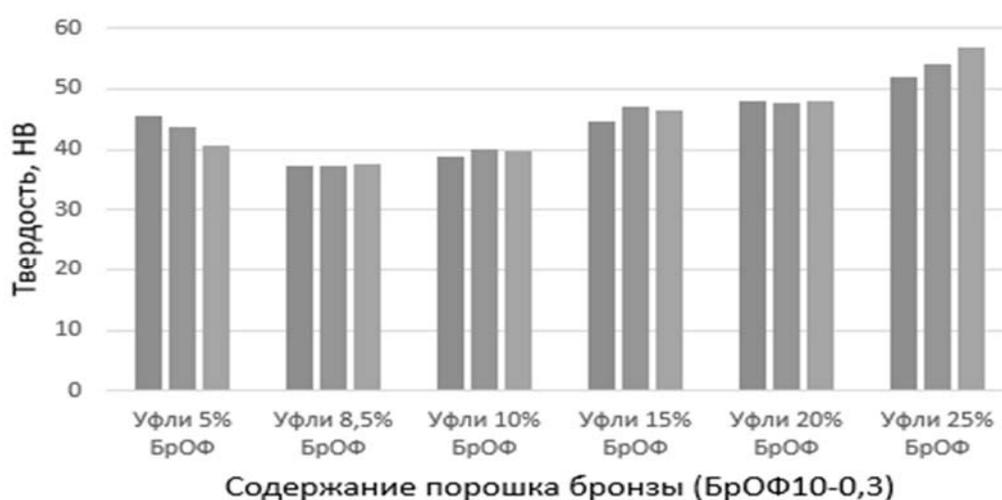


Рис. 1. Изменение твердости фрикционного материала на основе железа от содержания порошка бронзы БрОФ10-0,3

Выводы. В ходе выполненных исследований было установлено:

- с увеличением объемного содержания порошка бронзы в материале коэффициент трения повышается, также уменьшается время торможения материала;
- наблюдается увеличение износа материала при содержании бронзы в количестве 10 и 25 об. %;
- твердость фрикционного материала на основе железа увеличивается с увеличением объемного содержания порошка бронзы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федорченко, И. М.** Современные фрикционные материалы / И. М. Федорченко, В. М. Крячек, И. И. Панаиоти. – Киев: Наукова думка, 1975. – 334 с.: ил.
2. **Федорченко, И. М.** Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / И. М. Федорченко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 260 с.
3. **ТУ 2131 БССР 003–86.** Изделия фрикционные с порошковыми накладками. Технические условия. – Введ. 1986–06–01. – Минск: НПО ПМ, 1986.

УДК 621.9

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ И НИКЕЛЕВЫХ ПОРОШКОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ШИХТЫ В МЕХАНОРЕАКТОРЕ

Ф. Г. ЛОВШЕНКО, А. Э. ЛИПСКИЙ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В работе установлено, что оптимальные условия механического легирования и механизм протекания его в железных и никелевых композициях в механореакторах вибрационного типа близки к ранее полученным на медных и алюминиевых системах. Основным отличием реализации технологии в этом случае является необходимость применения более жесткого режима обработки. Это достигается увеличением ускорения рабочих тел (размалывающих шаров) до 130...140 м·с. Как и в ранее изученных алюминиевых и медных системах, при механическом легировании систем на основе железа и никеля, в результате многократного ударного воздействия рабочих тел механореактора на обрабатываемую шихту, приводит к изменению размера, морфологии и химического состава сформировавшихся частиц композиции. Это вызвано, прежде всего, протеканием явлений, подобных динамической рекристаллизации, обуславливающих реализацию одновременных и многократно повторяющихся процессов разрушения порошковых частиц и сварку осколков, обеспечивающих формирование композиционных гранул. На первом этапе обработки продолжительностью до 2...3 ч преобладающим является разрушение частиц, вызванное увеличением плотности дислокаций до предельного значения, составляющего $10^{12}...10^{13}$ см⁻², и последующей их перестройкой с формированием дислокационных «стенок», создающих условия для образования «нанотрещин» и снижающих плотность дислокаций до 10^{10} см⁻². Одновременно с разрушением частиц в результате сварки их осколков происходит формирование композиционных частиц. При этом получают развитие процессы диффузии и химического взаимодействия между компонентами. Равновесие между разрушением и сваркой достигается после обработки шихты в механореакторе в течение 6...8 ч.

Приведенные процессы приводят к формированию композиционных порошков с субмикрокристаллической структурой основы и активируют термодинамически разрешенные механохимические превращения, продуктами которых являются твердые растворы и наноразмерные частицы химических соединений. При этом система термодинамического равновесия не достигается. Полученные композиционные порошки отвечают требованиям, предъявляемым к материалам, применяемым для получения изделий и покрытий.

УДК 621.762

РАФИНИРОВАНИЕ ОСНОВЫ ПРИ РЕЦИКЛЕНГЕ ХРОМОВЫХ БРОНЗ

Ф. Г. ЛОВШЕНКО, И. А. ЛОЗИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Хромовые и особенно хромоциркониевые бронзы относят к микролегированным сплавам, т. к. содержание основных легирующих элементов – хрома и циркония – составляет десятые и даже сотые доли процента. Но высокое сродство к кислороду этих элементов, приводящее к значительному угару в процессе плавки, предъявляет повышенные требования к чистоте исходного материала основы. В результате, как правило, при производстве указанных бронз применяется рафинированная медь высокой чистоты марок М0 или М1 со значительной исходной стоимостью. Поэтому большой интерес представляет рециклинг отходов БрХ и БрХЦр в виде изношенных электродов контактной точечной и рельефной сварки, токоподводов, губок стыковых машин и т. п., которые в больших объемах образуются на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь.

Основным недостатком отходов является высокая степень загрязнения поверхности основы: оксиды, окалина, масляные пленки. Все это является поставщиком кислорода в расплав при плавке и приводит к повышенному расходу лигатуры и загрязнению сплавов. Одним из способов снижения содержания кислорода является раскисление исходной ванны перед легированием фосфором или бором, но это не уменьшает количества оксидов и других неметаллических включений, которые затем фиксируются в литой бронзе, резко снижая ее физико-механические свойства.

В работе данная проблема была решена применением операции «огневого рафинирования», заключающейся во введении в расплав просушенных березовых хлыстов. Интенсивное газообразование при горении дерева приводило к бурному перемешиванию ванны металла, что приводило к всплыванию неметаллических включений в шлак и рафинированию медной основы. После огневого рафинирования проводились операции раскисления фосфористой медью и легирование механически сплавленными модифицирующими лигатурами на основе системы «Cu–Cr».

Бронзы, в процессе производства подвергнутые огневому рафинированию, отличаются высокой плотностью и отсутствием оксидных микровключений. Формирование такой структуры положительно сказывается на физико-механических свойствах материалов, приводя к их повышению: твердость возрастает до НВ 165...185, предел прочности при растяжении до 520...620 МПа, относительное удлинение до 20...25 % при сохранении электропроводности до 81...83 % от электропроводности меди. При этом температура рекристаллизации на 90...100 °С превышает температуру рекристаллизации аналогичных бронз, полученных по классической технологии.

УДК 621.9

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ РЕАКЦИОННОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА ИЗДЕЛИЙ

Ф. Г. ЛОВШЕНКО, А. С. ФЕДОСЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Одно из важнейших мест в области аддитивных технологий (АТ) занимают исходные материалы, в качестве которых при изготовлении металлических изделий чаще всего применяют порошки. Вопросам получения таких материалов уделяется большое внимание. Они должны отвечать ряду специфических свойств, среди которых важнейшими являются размер частиц и их форма.

Вопрос оптимального размера частиц порошков, используемых в области АТ, до настоящего времени остается однозначно не решенным. Каждый производитель ориентирует свое оборудование на определенную фракцию, среднее значение размера частиц в которой может существенно отличаться. Так, к примеру, оборудование Phenix рассчитано на порошки с размерами частиц 10 мкм. Для машин Concept Laser этот размер не превышает 55 мкм при условии, что около 50 % материала имеет размер частиц не более 25 мкм. В оборудовании Arcam используют порошки с дисперсностью 45...100 мкм.

Уменьшение размера частиц способствует улучшению качества изготавливаемых деталей, однако использование мелкой фракции во многом усложняет технологический процесс изготовления изделия. В этом отношении можно считать, что оптимальное значение размера частиц составляет 25...70 мкм.

Форма частиц определяет многие технологические свойства порошков. Она влияет на их сыпучесть, плотность и равномерность распределения в слое. В области АТ стремятся использовать порошки с частицами сферической формы.

С целью получения порошков, пригодных для использования в области АТ, был использован способ реакционного механического легирования. Исследовалась возможность получения классической композиции нержавеющей стали марки 12Х18Н10.

Результаты исследований показали, что основная фракция синтезированного порошка включает частицы размером не более 63 мкм. В силу специфики применяемого способа форма частиц не является абсолютно сферической и представляет собой образования правильной формы с развитой поверхностью. При этом порошки имеют хорошую текучесть.

Партия полученного материала была испытана на принтере модели Shining 3D EP-M250, работающем по технологии селективного лазерного сплавления. Результаты испытаний однозначно свидетельствуют о возможности использования разработанного материала с целью изготовления изделий. Порошок равномерно распределяется по всей области построения, не комкуется. Благодаря наличию мелкой фракции (20...40 мкм) наблюдается хорошее заполнение в слое.

Из разработанного материала были изготовлены образцы, изучена их структура и свойства.

УДК 67.02

ПРОБЛЕМЫ ЛИТЬЯ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ В КОКИЛЬ И ИХ РЕШЕНИЕ

В. И. ОВЧИННИКОВ, В. Н. ДАВЫДКИН, К. Ф. РУДНИЦКИЙ
НИИ импульсных процессов с опытным производством Института
порошковой металлургии имени академика О. В. Романа
Минск, Беларусь

Магниевые сплавы относятся к числу конструкционных материалов, представляющих большой интерес для машиностроения, прежде всего авиастроения, космической и медицинской техники и всего народного хозяйства в целом. Основным преимуществом магния и его сплавов является низкий удельный вес, составляющий всего 65...70 % от удельного веса промышленных алюминиевых сплавов. Их теплоёмкость в 2–2,5 раза выше, чем у стали. Изделия из магниевых сплавов нагреваются меньше изделий из стали. Достоинства магниевых сплавов особенно необходимы в конструкциях беспилотных летательных аппаратов, авто- и двигателестроении, производстве изделий для медицины. В Беларуси технологии литья магниевых сплавов отсутствуют.

Первый опыт получения отливки из магниевых сплавов методом литья в кокиль показал, что для этого необходимо специальное оборудование с применением инертной газовой среды, исключающей взаимодействие расплава с воздушной средой, при котором происходит возгорание расплава. Для решения поставленной цели получения отливок из магниевых сплавов была проведена модернизация индукционной печи ИСТ с разработкой и созданием камеры (рис. 1) замкнутого непрерывного цикла транспортировки расплава магния в кокиль в инертной среде аргона, разработаны технологические условия получения качественных отливок и изделий из магниевых сплавов.

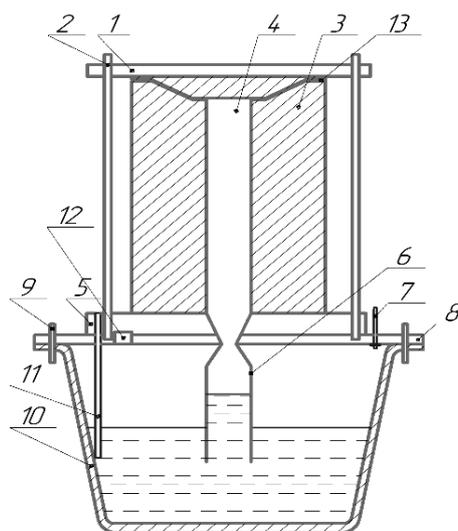


Рис. 1. Схема камеры для плавления магниевых сплавов под низким давлением:
1 – планка прижимная; 2 – шпилька; 3 – кокиль; 4 – отливка; 5 – шайба; 6 – труба;
7 – штуцер; 8 – крышка; 9 – шпильки для крепления крышки к камере; 10 – камера;
11 – термопарный преобразователь; 12 – шлюз; 13 – вентиляционные каналы

После нескольких экспериментов были определены основные требования к разработке:

- камера должна быть изготовлена для плавления магния с размерами под имеющийся индуктор;
- камера должна быть изолированной от внешней среды и выдерживать давление до 10 атм;
- подача расплава в кокиль должна осуществляться под давлением в защитной среде инертного газа, быть замкнутой;
- уровень давления в системе должен плавно регулироваться и контролироваться;
- подача инертного газа должна контролироваться одновременно с контролем давления в камере;
- температура расплава магния должна контролироваться с помощью термопарного преобразователя, встроенного в крышку камеры с индикацией на приборе с точностью ± 5 ОС, – подача шихты в камеру должна осуществляться без остановки процесса. Изготовленная камера устанавливается в индуктор плавильной печи.

Отработку технологического процесса осуществляли при литье детали «протектор» (рис. 2) из модифицированного магниевого сплава МЛ5, применяемой для анодной защиты стальных конструкций от коррозии.

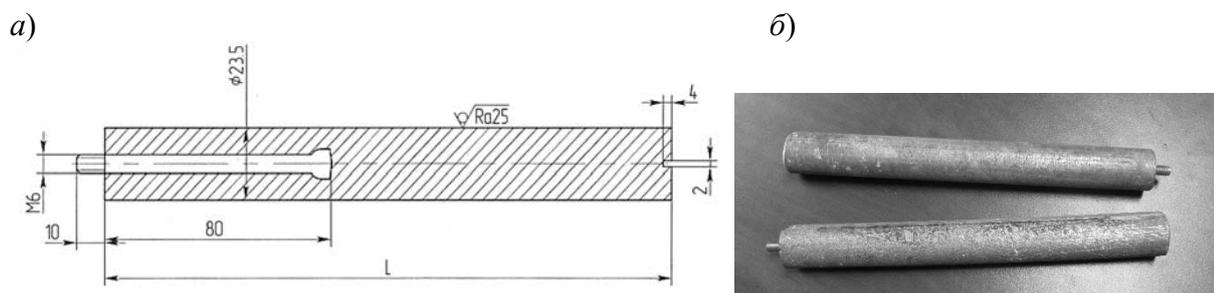


Рис. 2. Изделие «протектор» из магниевого сплава: *а* – чертеж детали «протектор»; *б* – образцы отливок

Для разработки литниковой системы, оптимизации температурного процесса заливки и получения качественных отливок предварительно провели моделирование процесса заливки и заполнения кокиля с учетом температурных параметров (температуры расплава, кокиля), скорости затвердевания, усадки и других условий, влияющих на процесс с применением программного обеспечения SolidWorks, позволяющего создавать модели в формате STL для дальнейшего моделирования в программной среде LVMFlow. LVMFlow позволяет производить моделирование литейных процессов для различных видов литья, в т. ч. под низким давлением в кокиль. Задавая материал отливки и формы, температуру заливки, определяли влияние этих параметров на процесс заливки, удаление воздуха из области формы, затвердевание и на вероятность появления усадочных дефектов.

Заключение. Разработана технология плавления магневых сплавов и получения изделий методом литья в кокиль под низким давлением инертного газа.

УДК 621.833

АНАЛИЗ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ О ВДАВЛИВАНИИ ШАРИКА В УПРУГОЕ ПОЛУПРОСТРАНСТВО

В. А. ПОПКОВСКИЙ, С. В. ГОНОРОВА, В. С. ГРОШЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В ряде случаев при эксплуатации изделий в них присутствуют контактные напряжения – напряжения, возникающие при взаимном нажатии двух соприкасающихся тел. Такого рода взаимодействия возникают, например, в шариковых и роликовых подшипниках, зубчатых колесах, колесах подвижного состава, рельсах и т. п. В данной работе сделана попытка проведения анализа напряженно-деформированного состояния, возникающего при вдавливании шарика в упругое полупространство, посредством использования метода конечных элементов. При использовании метода конечных элементов, прежде всего, необходимо разработать твердотельную модель исследуемого объекта (рис. 1). В этой модели учитывалась осесимметричность напряженно-деформированного состояния (в данном случае взаимодействия), поэтому из анализируемого объекта вырезался сегмент и использовались соответствующие граничные условия по боковым граням.

На рис. 2 приведена конечно-элементная модель анализируемого взаимодействия. Как видно из этой модели, имеет место неравномерное по объему разбиение на конечные элементы со сгущением в области контакта. Обусловлено это тем, что в данной зоне наблюдаются значительные градиенты напряжений.

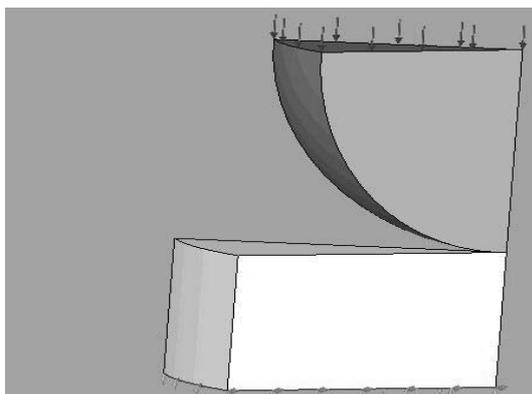


Рис. 1. Геометрическая модель контактного взаимодействия сферического тела и массивной плиты

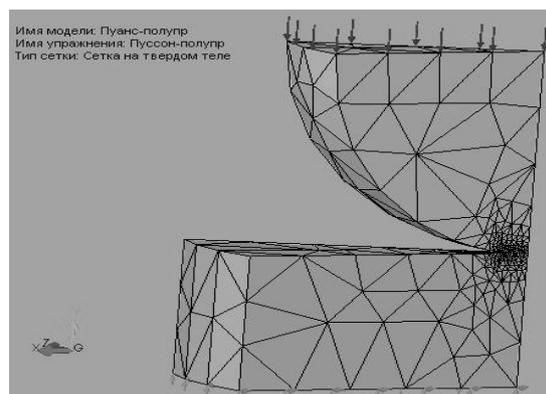


Рис. 2. Конечно-элементная модель контактного взаимодействия сфера–плита

Используя предлагаемую конечно-элементную модель, были произведены соответствующие расчеты на базе программного комплекса SOLID Works. На рис. 3 и 4 приведено распределение нормальных напряжений, действующих перпендикулярно плоскости контакта этих двух объектов. Как видно, поле

напряжений концентрируется в очень узкой зоне контакта, что вполне соответствует данной ситуации.

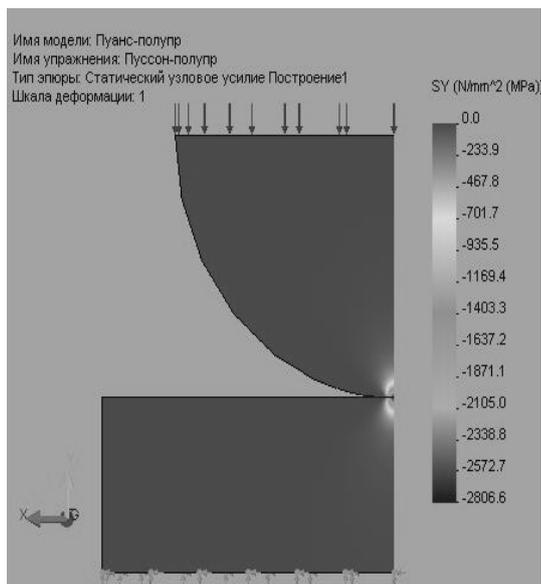


Рис. 3. Распределение контактных напряжений при взаимодействии рассматриваемых тел

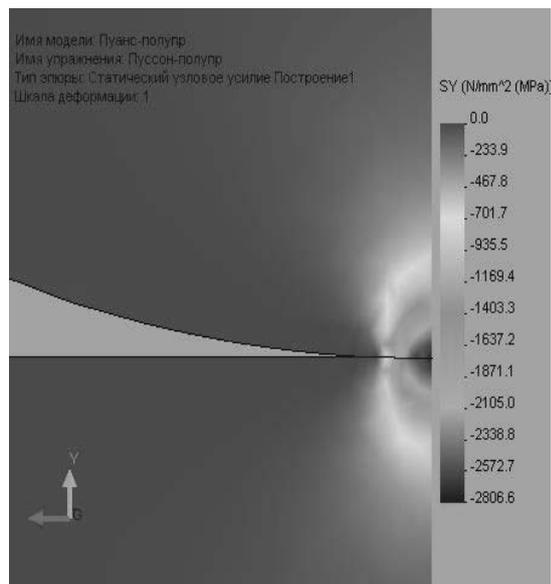


Рис. 4 Распределение напряжений в зоне контакта в увеличенном масштабе

По результатам проведенных расчетов был построен график (рис. 5) распределения нормальных напряжений S_Y , действующих перпендикулярно плоскости контакта.

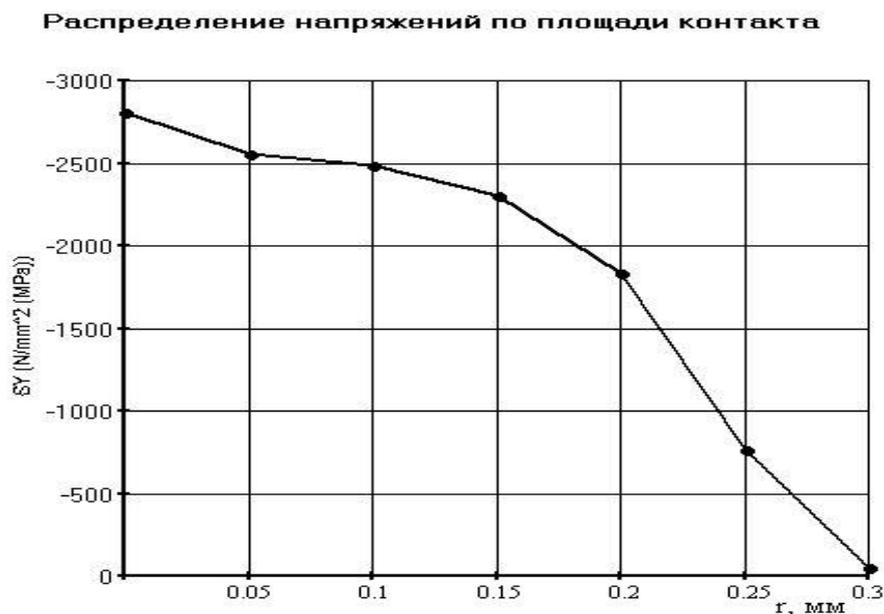


Рис. 5. Изменение нормальных напряжений в зависимости от расстояния r от центра соприкосновения в радиальном направлении

УДК 669.2.8:620

МЕХАНИЗМЫ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧНОСТИ ПРИ ДВОЙНИКОВАНИИ

В. С. САВЕНКО¹, О. А. ТРОИЦКИЙ², Д. С. КРИВОШЕЕВ¹¹Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина

Мозырь, Беларусь

²Институт машиноведения им. А. А. Благонравова
Российской академии наук

Москва, Россия

Металл может деформироваться двумя способами – скольжением и двойникованием. Пластическая деформация двойникованием реализуется при ориентационном запрете скольжения, в условиях больших скоростей нагружения и низких температурах. К таким технически важным материалам относятся цинк, висмут, сурьма, альфа-железо и другие, которые деформируются с перестройкой кристаллической решетки в двойниковое положение. Двойникование начинается у концентраторов напряжений на границах скопления частичных дислокаций и развивается с большими скоростями, что приводит к разрушению материала. С другой стороны, двойниковые границы являются дислокационными скоплениями двойникующих дислокаций, которые тормозят движение полных дислокаций, поэтому создание в кристаллической решетке материала системы тонких клиновидных двойников будет армировать материал, повышая резерв прочности.

Причиной избыточной концентрации частичных двойникующих дислокаций на определенных участках двойниковых границ могут служить стопоры в виде неоднородностей структуры кристаллической решетки, либо в виде скопления полных дислокаций (рис. 1).

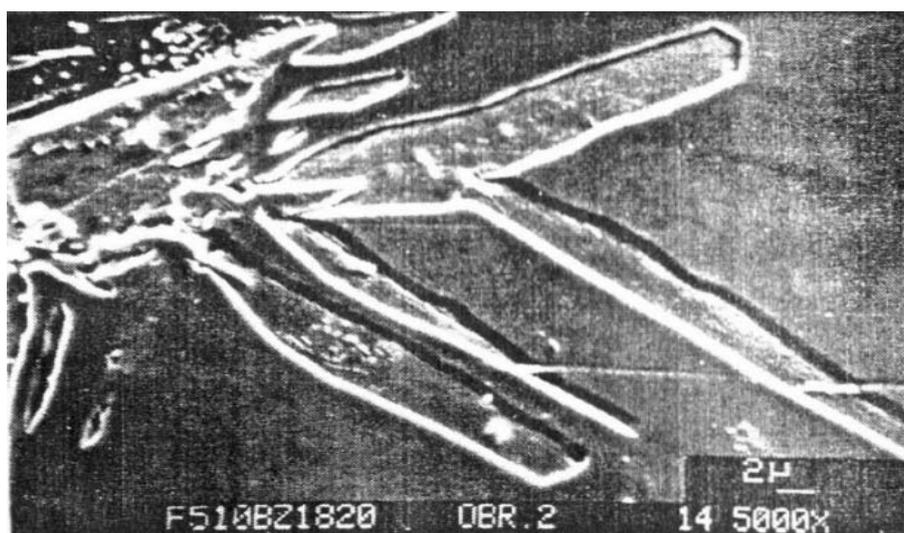


Рис. 1. Кинетика взаимодействия двойника с препятствиями при трансляции двойникующих дислокаций

При пропускании импульса тока большой плотности (10^3 А/мм²) и длительностью 10^{-4} с через деформационную зону, нагруженную выше предела текучести, приводит к изменению кинетики взаимодействия винтовых и полных дислокаций. Этот процесс сопровождается дислокационным размножением скоплений двойникующих дислокаций на некогерентных границах раздела с изменением внутренних полей напряжений [1–3].

При электропластичности наблюдается перераспределение деформации двойникованием в окрестностях концентраторов механических напряжений.

С ростом напряженности электрического поля в кристалле во время деформации увеличивается пробег и генерирование двойникующих дислокаций с преобладанием процессов возбуждения дислокационных источников, образования и трансляции двойникующих дислокаций вдоль готовой поверхности раздела. Двойники обычно зарождаются на дислокационных скоплениях и приводят к релаксации внутренних напряжений. В условиях электропластичности релаксация внутренних напряжений осуществляется в результате развития двойникования как на скоплениях полных дислокаций, так и на двойникующих дислокациях, при этом разряжаются дислокационные напряжения и уменьшается вероятность хрупкого разрушения в перенапряженных местах материала. Таким образом, в условиях электропластичности одновременное действие нагрузки выше предела и электрических импульсов дает возможность дополнительной пластификации материала за счет двойникования с увеличением резерва пластичности.

Рассмотрена технология повышения реальной прочности материала в микрообъемах у концентраторов напряжений при электропластической деформации за счет армирующего действия двойников. Развитие двойникования у концентраторов напряжений при возбуждении импульса тока не только армируют материал в условиях деформации, но и уменьшают избыточную энергию из области концентратора, разряжая дислокационные скопления, а локальный наклеп материала, примыкающего к концентраторам, снижает уровень напряжений и уменьшает хрупкость материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние высокоэнергетических воздействий на модификацию физико-механических характеристик стали / В. С. Савенко [и др.] // Журн. Белорус. гос. ун-та. Сер. Физика. – 2020. – № 3. – С. 65–75.
2. **Савенко, В. С.** Вклад пондеромоторных факторов в реализацию электропластической деформации / В. С. Савенко, О. А. Троицкий, А. Г. Силивонец // Изв. НАН РБ. Сер. физ.-техн. наук. – 2017. – № 1. – С. 85–91.
3. **Savenko, V. S.** Electroplastic deformation by twinning metals / V. S. Savenko // Acta mechanica et automatic. – 2018. – Vol. 12, № 4. – P. 6–12.

УДК 621.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В КОНСТРУКЦИЯХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКИХ НАКАТНИКОВ

Д. М. СВИРЕПА, А. М. ДОВГАЛЕВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Основным элементом магнитно-динамических накатников является магнитная система. Чаще всего она состоит из обоймы, выполненной из немагнитопроводного материала, и источников магнитного поля – постоянных магнитов. Магнитная система предназначена для разгона деформирующих элементов в кольцевой камере инструмента, а также для создания магнитного поля, замыкающегося на обрабатываемую заготовку с целью интенсификации поверхностного пластического деформирования и процессов формирования покрытий, в том числе антифрикционных [1, 2].

Особый интерес представляет распределение индукции магнитного поля инструментов для магнитно-динамического накатывания в сборе в зоне расположения обрабатываемой заготовки, с учетом влияния деформирующих шаров, находящихся в кольцевой камере накатника с радиальным расположением источников магнитного поля и воздушных зазоров как в кольцевой камере, так и в радиальном зазоре между инструментом и заготовкой (рис. 1).

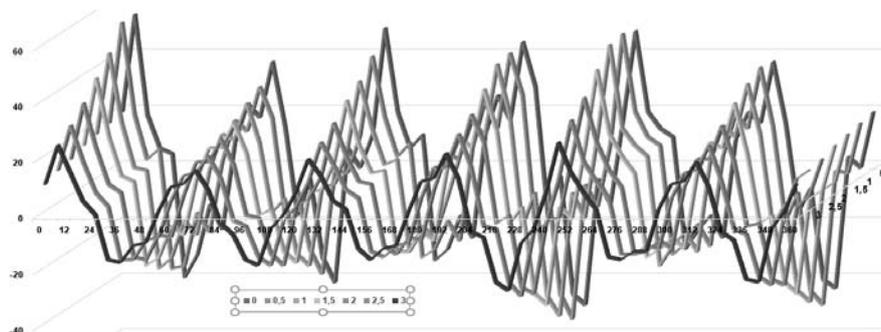


Рис. 1. Распределение индукции магнитного поля

Количество полюсов исследуемой магнитной системы равняется 12 ($6S$ и $6N$). Таким образом, ферромагнитные деформирующие шары позволяют ретранслировать магнитное поле в зону обрабатываемой заготовки, не изменяя его полярности и способствуя интенсификации процессов на ее поверхности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Упрочняющий инструмент: пат. ВУ 15364 / А. М. Довгалев [и др.]. – Оpubл. 28.02.2012.
2. Довгалев, А. М. Разработка магнитных систем комбинированных инструментов для совмещенного магнитно-динамического накатывания / А. М. Довгалев // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. – 2018. – № 1. – С. 15–26.

УДК 621.74:669.715

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОТЛИВОК ИЗ СИЛУМИНА С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИМЕСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ

В. Ю. СТЕЦЕНКО, К. Н. БАРАНОВ, А. П. ГУТЕВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

Железо при концентрациях в силумине более 0,8 % является вредной примесью из-за появления в структуре первичных относительно крупных и хрупких пластинчатых интерметаллидных кристаллов (дендритов). Более дешевые вторичные чушковые силумины содержат 1,1...1,3 % железа. При плавке силуминов в чугунных тиглях содержание железа увеличивается до 2,5 % и более. Немодифицированные первичные интерметаллиды существенно ухудшают механические и эксплуатационные свойства силуминов.

Для модифицирования первичных интерметаллидных включений используют теллур и серу, которые являются экологически небезопасными веществами для человека. Кроме этого, данные примесные модификаторы не модифицируют эвтектику, что ухудшает свойства отливок из силуминов с высоким содержанием железа (более 1,2 %). Все это существенно сдерживает использование заготовок и отходов из силуминов с высоким содержанием железа и увеличивает стоимость отливок. Поэтому использование заготовок и отходов из силуминов с высоким содержанием железа для получения более дешевых отливок с повышенными свойствами является актуальной проблемой.

Целью настоящей работы является разработка способов модифицирования первичной и эвтектической микроструктуры отливок из силуминов с содержанием железа более 1,2 % без использования модифицирующих флюсов и лигатур.

Литье в глуходонный кристаллизатор с затоплено-струйной системой охлаждения позволяет значительно (более чем в 3 раза) повысить линейную скорость затвердевания отливок из эвтектических алюминиево-кремниевых сплавов и измельчить их микроструктуру. После закалки и искусственного старения такие заготовки имеют высокодисперсную и глобулярную микроструктуру. Она позволяет существенно повысить антифрикционные свойства отливок таким образом, что они не уступают заготовкам из оловянных и алюминиевых бронз, но легче и дешевле их в 2–3 раза. При этом технологический процесс литья экологически безопасен, не требует применения модифицирующих флюсов и лигатур. Применение вибрации кристаллизатора позволяет повысить качество отливок и дисперсность их микроструктуры, особенно первичных кристаллов кремния. Мелкие кристаллы кремния легче глобуляризуются при термической обработке заготовок, что позволяет получить алюминиево-кремниевые сплавы с высокодисперсной и глобулярной микроструктурой.

Было проведено исследование затвердевания отливок диаметром 53 мм из силумина с высоким содержанием железа при литье в глуходонный струйный кристаллизатор с использованием пневматического вибратора. Температура заливки расплава составляла 900 °С. Модификаторы не применяли. Отливки имели следующий химический состав: Si – 12,7 %; Cu – 1,91 %; Fe – 1,35 %; Mn – 0,71 %; Mg – 0,16 %; Zn – 0,67 %; Cr – 0,026 %; Ni – 0,054 %; P – 0,01 %; Ti – 0,1 %; B – 0,01 %; Sr – 0,0001 %; Sb – 0,005 %; Al – остальное. Опытные отливки подвергались термообработке по режиму T5. Средняя часть отливок имела микроструктуру, приведенную на рис. 1.

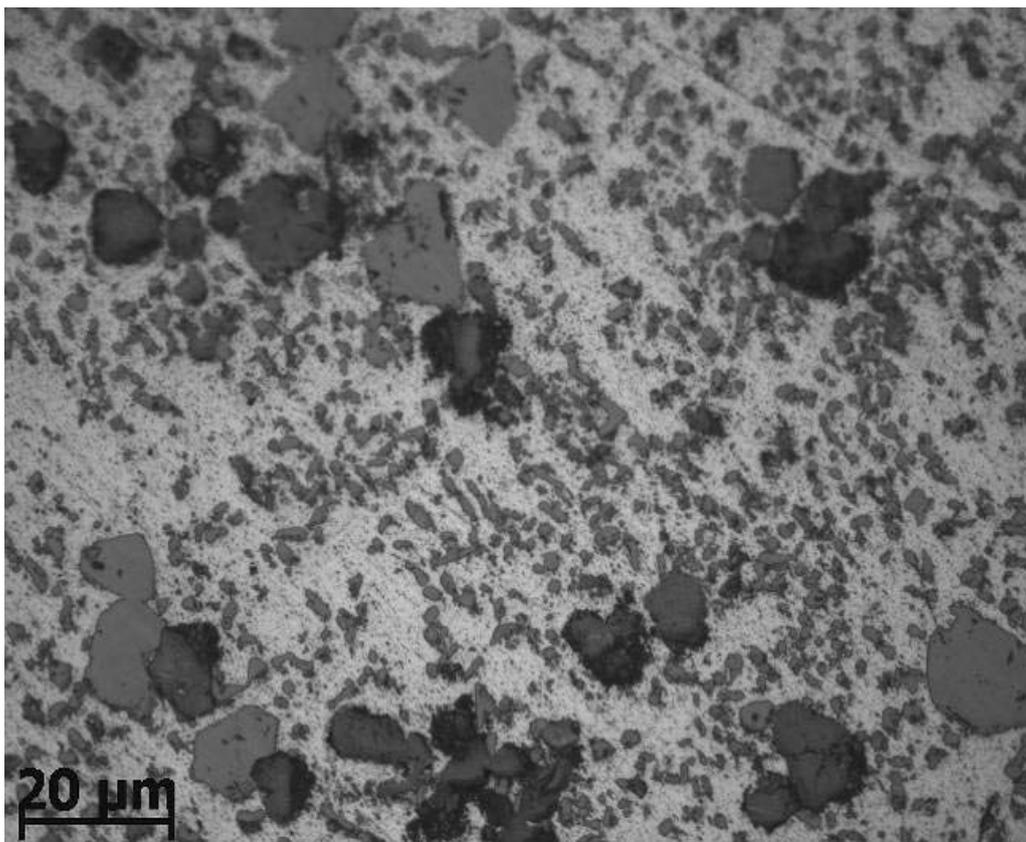


Рис. 1. Микроструктура средней части отливок диаметром 53 мм из силумина с высоким содержанием железа, полученных литьем в глуходонный струйный кристаллизатор с применением пневматического вибратора

Таким образом, была получена модифицированная как эвтектическая, так и первичная микроструктура. Твердость опытных отливок составляла в среднем 129 НВ.

Опытные образцы испытывали на машине трения ИИ 5018 в сравнении с аналогичными из бронзы БрОЦС 5-5-5. Испытания проводились по схеме «вал – втулка» в условиях смазки (масло И40А) при нагружении 0,5 кН и скорости вращения вала из стали 45 200 об/мин (0,42 м/с). Установлено, что коэффициент трения и скорость массового изнашивания у опытных образцов из силумина соответственно в 1,4 и 21 раз меньше, чем у бронзы БрОЦС 5-5-5.

УДК 621.74:669.715

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АК12М2

В. Ю. СТЕЦЕНКО, А. П. ГУТЕВ, К. Н. БАРАНОВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

Установлено, что вибрация глуходонного струйного кристаллизатора позволяет получать отливки диаметром 53 мм из силумина АК18 с высокодисперсной инвертированной микроструктурой и повышенными механическими свойствами [1]. Силумины с такой микроструктурой находят применение в качестве материала деталей, работающих в различных узлах трения, вместо антифрикционных бронз [2]. Для определения целесообразности использования силуминов при изготовлении деталей типа втулки для подшипников скольжения, вкладышей и другого необходимым условием является проведение их триботехнических испытаний.

Целью настоящей работы является исследование влияния вибрационного воздействия глуходонного струйного кристаллизатора на триботехнические характеристики опытных отливок из эвтектического силумина АК12М2.

Для экспериментального исследования триботехнических свойств были изготовлены опытные образцы диаметром 70 мм из силумина АК12М2, полученные литьем в глуходонный струйный кристаллизатор без вибрации и с применением пневматического вибратора постоянного удара, закрепленного в вертикальной плоскости, и образцы из оловянных бронз БрОЦС 5-5-5 и БрОЦС 4-4-17 ГОСТ 613–79.

Сравнительные триботехнические испытания были проведены на машине трения ИИ 5018 по схеме «вал – втулка» при наличии смазки. В качестве материала вала (контртела) использовали хромированную сталь 20ГЛ с твердостью хромового покрытия 66 НРС. Для смазки узлов трения применялось масло марки И40А. Износ опытных образцов определяли методом взвешивания (измерение массового износа). Взвешивание образцов из силумина АК12М2 производили на весах «Sartorius VP61S» с точностью измерения в 0,0001 г. Для измерения массы образцов из бронзы применяли аналитические лабораторные весы ВЛР-200 с точностью измерения в 0,0001 г.

В процессе испытаний на машине трения ИИ 5018 фиксировались следующие показания: момент трения, усилие прижима, частота вращения образца, число оборотов, температура в зоне трения.

Процесс испытаний проходил в два этапа: приработка и установившийся режим работы. Процесс приработки опытных образцов осуществлялся при следующих параметрах: нагрузка на образец – 0,3 кН, скорость вращения вала – 100 об/мин (0,21 м/с), время испытаний – 30 мин. После приработки образцы проходили испытания на машине трения при нагрузке 0,5 кН и скорости вращения вала 200 об/мин (0,42 м/с). Продолжительность испытаний каждого образца составляла 1,5 ч.

При испытаниях производилось измерение температуры в зоне контакта опытных образцов термопарой КТХА 02.01-Т18-И-1.5-160/3500. Среднее значение температуры в зоне контакта за время испытания образцов из бронзы БрОЦС 4-4-17 составило 49 °С, из бронзы БрОЦС 5-5-5 – 32 °С, для силуминов АК12М2 (без вибрации) и АК12М2 (с вибрацией) – 31 и 25 °С соответственно.

Результаты триботехнических испытаний показали, что коэффициент трения образцов из силумина АК12М2 (с вибрацией) в 1,5 раза меньше, чем у АК12М2 (без вибрации), а также в 1,6 и 4,3 раза меньше аналогичных из бронзы БрОЦС 5-5-5 и БрОЦС 4-4-17 соответственно; скорость изнашивания образцов АК12М2 (с вибрацией) в 9,4 и 9,7 раза меньше аналогичных из бронзы БрОЦС 5-5-5 и БрОЦС 4-4-17 соответственно; массовый износ образцов АК12М2 (с вибрацией) в 31,5 и 33,5 раза меньше аналогичных из бронзы БрОЦС 5-5-5 и БрОЦС 4-4-17 соответственно; интенсивность изнашивания образцов АК12М2 (с вибрацией) в 9,3 и 9,6 раза меньше аналогичных из бронзы БрОЦС 5-5-5 и БрОЦС 4-4-17 соответственно.

Таким образом, образец из эвтектического силумина АК12М2, полученный литьем в глуходонный струйный кристаллизатор с применением вибрационного воздействия, при заданных режимах трения показал лучшие триботехнические характеристики в сравнении с антифрикционными оловянными бронзами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Стеценко, В. Ю.** Влияние способов вибрации глуходонного струйного кристаллизатора на микроструктуру и качество отливок из силумина / В. Ю. Стеценко, К. Н. Баранов, А. П. Гутев // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Могилев, 23–24 апр. 2020 г.* – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 142–143.

2. **Марукович, Е. И.** Производство силуминов с высокодисперсной инвертированной микроструктурой / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // *Литье и металлургия.* – 2020. – № 3. – С. 23–30.

УДК 621.9

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НАПЛАВКИ И МОДЕЛЬНОЙ ПЛИТЫ НА СТРУКТУРУ НАПЛАВЛЕННОГО МАТЕРИАЛА

А. С. ФЕДОСЕНКО, А. С. ОЛЕНЦЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Аддитивные технологии (АТ) позволяют значительно сократить затраты на производство деталей сложной конструкции. При использовании АТ значительно снижается количество обрабатываемого материала, сокращается энергоемкость производства и количество материала, требующего переработки. Аддитивные технологии получают широкое распространение в аэрокосмической отрасли, медицине, автомобильной промышленности. На данный момент существует множество способов получения изделий аддитивными технологиями.

SLS-технология – селективное лазерное спекание и SLM-технология – селективное лазерное сплавление. Они близки по содержанию технологического процесса и отличаются лишь степенью расплавления материала. Оба способа позволяют безотходно изготавливать конструкции при помощи 3D- и CAD-систем почти любой сложности. Основная особенность этой технологии заключается в использовании мощного лазера, что позволяет спекать или сплавливать частицы.

DLMD – прямое лазерное наплавление металла. Этим способом можно изготавливать полностью функциональные металлические детали непосредственно из спроектированной 3D-модели. Принцип действия заключается в подаче металлического порошка через сопло в лазерный луч высокой мощности и создание ванны расплава на поверхности твердой подложки, на которую наносится металлический порошок.

3DP – струйная трехмерная печать. Процесс заключается в том, что слой порошка не оплавляется как в первых двух случаях, а вместо этого специальная головка наносит слой клея, который и связывает частицы порошка. Способ не имеет недостатков, однако его экономически целесообразно использовать для быстрого прототипирования концептуальных моделей.

Среди классических промышленных способов, в основу которых положен принцип добавления материала, к перечисленным АТ близки способы электродуговой наплавки. Широко используют электродуговую, под слоем флюса, покрытыми электродами, плазменную и в защитных газах. Последний способ получает наибольшее распространение в области аддитивных технологий в силу простоты технологии, универсальности, маневренности горелок и ряда других преимуществ.

Известно, что одним из недостатков изделий, полученных широко используемыми способами аддитивных технологий, является направленный рост зерен и, как следствие, значительная анизотропия свойств. Заметное

влияние на данное явление оказывает модельная плита, на которой формируется изделие. Закономерно предположить, что это влияние присутствует и при получении изделий дуговой наплавкой. С целью проверки данного предположения были изготовлены образцы и исследована их структура.

Наплавку проводили в автоматическом режиме с помощью сварочного робота Fanuc M-710iC. Режимы наплавки: напряжение – 17,5 В; ток – 105 А; толщина проволоки – 1,2 мм; подача проволоки – 2,6 м/мин; защитный газ – 80 % Ar + 20 % CO₂; расход газа – 20 л/мин. Скорость перемещения горелки первого прохода – 20 см/мин, второго и третьего – 30 см/мин. Первый образец наплавлялся без паузы между проходами, второй – с задержкой в 15 с, третий – с задержкой между проходами в 30 с. Для исследования использовали модельную плиту из низкоуглеродистой стали. Одну из пластин отожгли при температуре 870 °С, а вторую подвергли закалке в воде с той же температуры. На каждой из подложек было получено по три образца, из которых изготовили микрошлифы по стандартной технологии, и изучена структура переходной зоны между основным и наплавленным металлом.

Результаты исследований показали, что изменение временного интервала между проходами оказывает влияние на формирование зоны термического влияния и пограничную зону между основным и наплавленным металлом. Прослеживается уменьшение размера формирующихся зерен в области, прилегающей к основному металлу. Размер зерен в объеме наплавленного металла и их направленный рост сохраняются во всех образцах, хотя и прослеживается некоторое уменьшение размера зерна с уменьшением скорости наплавки.

В образцах, полученных на поверхности предварительно закаленной подложки, наблюдается некоторое уменьшение размера зерен в зоне между плитой и наплавленным металлом, по сравнению с образцами, полученными на отожженной стали. Размер зерен в теле наплавленного металла сопоставим с образцами, полученными на отожженной пластине.

Исходя из полученных данных, можно сделать предположение, что размер зерен основы оказывает влияние на размер зерен, непосредственно прилегающих к основному материалу. Слабо прослеживаемая зависимость размера зерен в наплавленном металле от размера зерен основы, вероятнее всего, обусловлена большим тепловложением в подложку, что способствует росту зерен основы и наплавленного металла. Эффект должен быть более выраженным при использовании модельной плиты из средне- или высокоуглеродистой стали, имеющих меньшую критическую скорость закалки и склонность к росту зерен, а также при использовании более массивной плиты, либо применения технологических приемов, способствующих ускорению охлаждения наплавленного металла.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

А. И. ХАБИБУЛЛИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При производстве стали как при выпечной обработке, так и в процессе разливки существует возможность ее модифицирования для образования мелкозернистой структуры. Используя технологию механического легирования, можно получать модифицирующую шихту по универсальной технологии как для производства любых типов сплавов, так и в литейном производстве.

Для установления влияния разработанной технологии модифицирования на механические свойства стали совместно со службами объединения ОАО «Могилевлифтмаш» проводились испытания образцов стали 45Л. Для измельчения зерна и снижения пористости в литейном цеху обычно используют модифицирующую лигатуру на железно-кремниевой основе ФС30РЗМ30 ТУ 14-5-136–81. При взаимодействии редкоземельных модификаторов (РЗМ) с расплавами сталей в первую очередь образуются оксиды, а затем сульфиды. Характерным свойством для образованных посредством РЗМ оксидов и сульфидов является высокая тугоплавкость. Большинство оксидов РЗМ имеет температуру плавления 2200...2300 °С, а сульфидов – 2000...2200 °С. Учитывая такую особенность, можно считать, что оксиды и сульфиды РЗМ являются центрами кристаллизации. Поэтому при обработке литых сталей комплексными сплавами с РЗМ отмечается повышение пластичности, ударной вязкости, снижение порога хладноломкости, а также появляется возможность снижения анизотропии свойств деформированного металла.

Перед плавкой на дно индукционной печи помещается порция модифицирующей лигатуры и затем производится загрузка шихтового материала (сталь 45Л). После расплавления стали 45 проводится раскисление алюминием и разливка по ковшам. Масса расплава в печи составляет 250 кг, расход модифицирующей лигатуры ФС30РЗМ30 – 0,30 кг. Во время сравнительных испытаний количество ФС30РЗМ30 увеличили вдвое – 0,60 кг.

В качестве экспериментальной модифицирующей шихты использовались прессованные брикеты массой 0,30 кг, состоящие из композиции на основе порошка железа, содержащей 8 % легирующего компонента (алюминия).

В условиях заводской лаборатории неразрушающего контроля на разрывной машине Р-10 определялись пределы прочности и относительные удлинения

контрольных и экспериментальных образцов. Объем контроля плавок – девять образцов. Результаты измерений механических свойств полученных отливок после нормализации от температуры 880 °С приведены в табл. 1. Химический состав образцов определялся в лаборатории материаловедения Белорусско-Российского университета. Все образцы содержали: углерода – 0,45 %, кремния – 0,26 %, марганца – 0,24 %, фосфора – 0,00050 %, серы – 0,00020 %.

Табл. 1. Результаты измерений

Номер садки, лигатура	Временное сопротивление, Н/мм ²	Относительное удлинение, %	Номер садки, лигатура	Временное сопротивление, Н/мм ²	Относительное удлинение, %
115, РЗМ30	596,2	14,2	125, эксперим.	603,8	18,2
116, РЗМ30	573,2	13,2	126, эксперим.	616,6	15,4
117, РЗМ30	558,0	12,3	127, эксперим.	591,1	15,8
118, РЗМ30	563,1	14,0	128, эксперим.	603,8	15,8
119, РЗМ30	575,8	11,2	129, эксперим.	608,9	16,5
120, РЗМ30	568,2	13,4	130, эксперим.	603,8	15,8
121, РЗМ30	586,0	14,9	131, эксперим.	601,3	15,4
122, РЗМ30	583,4	12,6	132, эксперим.	583,4	14,2
123, РЗМ30	550,3	9,8	133, эксперим.	591,1	16,9

Среднее значение временного сопротивления для образцов, полученных с использованием ФС30РЗМ30, составляет 572 Н/мм², для образцов, полученных с применением экспериментальной модифицирующей шихты, – 602 Н/мм².

Среднее значение относительного удлинения для образцов, полученных с использованием ФС30РЗМ30, составляет 13,2 %, для экспериментальных образцов – 16,2 %. Согласно справочным данным, значения временного сопротивления и относительного удлинения для стали 45Л должны составлять 550 МПа и 12 % соответственно.

Таким образом, несмотря на двойное количество ФС30РЗМ30, литые образцы с применением разработанной модифицирующей шихты имели средние значения временного сопротивления на 5 %, а относительного удлинения – на 22 % выше.

УДК 621.762

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ МЕХАНООБРАБОТКИ И ОТЖИГА ШИХТЫ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛИ

А. И. ХАБИБУЛЛИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Предлагаемая технология относится к области черной металлургии и предназначена для производства различных марок стали как при внепечной обработке стали, так и в процессе ее разлива.

К одной из важнейших задач металлургии относится разработка универсального способа получения эффективных модификаторов из доступных и дешевых компонентов, позволяющего измельчить структуру любых сплавов в процессе их кристаллизации, что обеспечивает повышение всего комплекса физико-механических и эксплуатационных свойств. Применяя разработанную в Белорусско-Российском университете технологию механического легирования, можно разработать композитный материал, который добавляют к жидкой стали до/или в процессе операции литья в качестве мощных центров гетерогенного зародышеобразования для кристаллов железа во время отверждения и последующей термомеханической обработки стали.

При обработке исходного порошкового материала в механореакторе образуются тугоплавкие неметаллические включения, равномерно распределенные по объему, которые в процессе разлива сплавов являются готовыми центрами кристаллизации. Для модифицирования стали необходимо обеспечить образование тугоплавких соединений с участием таких элементов, как алюминий, ванадий, титан. Преимуществом предлагаемой технологии является способ получения наноразмерных модификаторов, синтез которых завершается в процессе термической активации в расплаве, что обеспечивает равномерное распределение центров кристаллизации по всему объему и существенно снижает вероятность всплытия на поверхность химических соединений малой плотности.

В предлагаемой порошковой композиции «Fe (основа) – Al (легирующий металл с высоким сродством к кислороду) – Fe₃O₄» основные механически активируемые реакции – окислительно-восстановительные. Их продуктами являются синтезируемый оксид легирующего металла Al₂O₃ и железо, восстановленное из оксида Fe₃O₄. При этом оксиды алюминия рентгеноструктурным анализом не обнаруживаются, т. к. находятся в наноразмерном и рентгеноаморфном состоянии.

Механизм осуществления механически активируемых окислительно-

восстановительных реакций включает одновременно протекающие и взаимосвязанные процессы: образование композиции с дисперсным и равномерным распределением легирующих элементов; растворение легирующего металла в железной основе; внутреннее окисление алюминия оксидом железа.

Образовавшиеся в процессе внутреннего окисления оксиды алюминия находятся в виде наночастиц со средним размером ≤ 6 нм. Они отличаются высокой стойкостью против растворения в расплаве и являются эффективными модификаторами.

Установлено, что в процессе механической обработки шихты в вибрационной мельнице фазовые превращения не завершаются и реальный фазовый состав механически легированных композиций существенно отличается от теоретического. Дальнейшее увеличение продолжительности механического легирования приводит лишь к незначительному повышению гомогенизации твердого раствора.

С целью оптимизации режимов обработки шихты исследовалось влияние продолжительности обработки в вибромельнице и последующего отжига в атмосфере аргона на содержание оксида железа. Из графиков (рис. 1) видно, что кинетика процессов восстановления железа подчиняется параболическому закону.

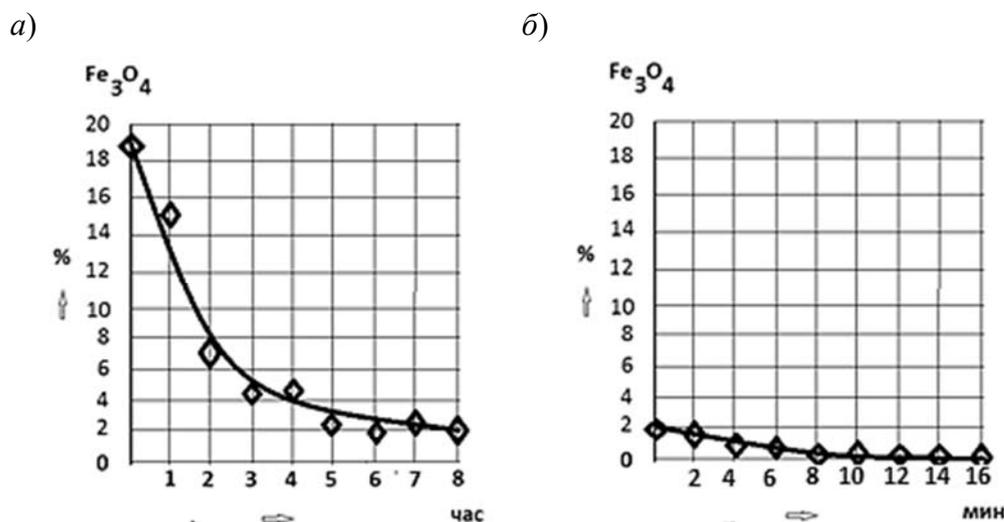


Рис. 1. Влияние продолжительности обработки шихты в механореакторе (а) и времени отжига (б) на содержание оксида железа

Таким образом, установлен оптимальный режим механообработки и отжига модифицирующей шихты: продолжительность обработки в механореакторе – 6 ч, последующий отжиг в атмосфере аргона при температуре 620 °С продолжительностью 8 мин.

УДК 662.613.1+662.749.3

ПОЛУЧЕНИЕ ПРОДУКТОВ С ВЫСОКОЙ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТЬЮ ИЗ УГЛЕЙ И ОТХОДОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

Т. Г. ЧЕРКАСОВА, А. В. ТИХОМИРОВА, Е. В. ЧЕРКАСОВА,
А. В. НЕВЕДРОВ, А. В. ПАПИН

Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева
Кемерово, Россия

Уголь в настоящее время используется в основном в качестве энергоносителя. Однако страны-участники Парижского соглашения отказываются от «грязных углеводородов» в пользу природного газа, атома и возобновляемых источников энергии. Курс на низкоуглеродную энергетику уже взяли большинство стран Европы – Великобритания, Германия, Польша, Австрия, Финляндия. В США и Канаде отказываются от планов строительства электростанций, работающих на угле. О поэтапном отказе от использования угля заявили в Японии, Китае и Корее. Из-за нарастания темпов перехода к низкоуглеродным технологиям почти на 60 % упал мировой индекс акций 26 крупнейших угольных компаний. Весь мир приходит к осознанию, что добычу угля необходимо сокращать – это наносит колоссальный вред природе.

Решением экологической проблемы углепотребления может стать переход к «чистым» угольным технологиям, т. е. курс на комплексную переработку угля как многокомпонентной системы, состоящей из минеральной и органической составляющих, доля которых зависит от типа угля (антрацит, каменный или бурый уголь), а также от месторождения и условий их формирования.

Развитие и внедрение новых современных технологий переработки угля в месте добычи (в Кузбассе) усилит конкурентоспособность угля, снизит энергетическую зависимость угледобывающего региона.

В Кузбасском государственном техническом университете предлагаются следующие решения по комплексной переработке угля: получение высококачественных пеков термическим растворением углей (минуя стадию получения каменноугольной смолы) и комплексная переработка золошлаковых отходов (ЗШО) с извлечением редких, редкоземельных и рассеянных элементов.

Каменноугольный пек применяется в качестве связующего для получения множества материалов, но из-за снижения выработки каменноугольной смолы при переходе металлургических компаний на технологии, подразумевающие снижение расхода кокса, цены на пек, полученный традиционным способом, возрастают. Перспективным направлением замены пека, полученного из каменноугольной смолы, является получение пекоподобного вещества при

термическом растворении углей в высококипящих ароматических растворителях [1].

Оптимальные технологические параметры ведения процесса были подобраны в ходе проведения серии экспериментов по оценке их влияния на выход и качество получаемого продукта. Анализ полученных результатов показал, что в сравнении с классическим каменноугольным пеком полученный продукт характеризуется высокой зольностью. Работы по совершенствованию метода будут продолжены.

Минеральная фракция угля может быть рассмотрена в качестве сырья для получения редких, редкоземельных и рассеянных элементов. Эти ценные компоненты остаются в продуктах сгорания углей, в том числе в промышленно значимых концентрациях [2] во всех угледобывающих районах Кузбасса. В кузнецких углях, помимо макрокомпонентов (Fe, Al, Si, Ca, Mg и др.), обнаружены редкоземельные металлы, ниобий, цирконий, серебро, золото, стронций, ванадий и др. С учетом извлечения ценных компонентов в совокупности из техногенного сырья утилизируется до 1/3 от общей массы отходов.

Для переработки месторождений техногенного типа в большинстве зарубежных стран, которые заботятся об экологической составляющей производственных технологий, уже приняты определённые программы. В России же ЗШО в качестве сырья для производства, в частности редких и редкоземельных металлов, до недавнего времени даже не рассматривались [3].

Переработка состоит в последовательном разделении ЗШО комплексом методов. Для обогащения применялись магнитная сепарация, ионная флотоэкстракция и выщелачивание. Эффективность разделения контролировалась на каждом этапе путём проведения анализа методом оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500 DUO.

Удалось добиться повышения содержания ценных компонентов по сравнению с исходным техногенным сырьём в 10–100 раз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Базегский, А. Е.** Исследование процесса термического растворения угля с целью получения связующего для огнеупорных масс / А. Е. Базегский, М. Б. Школлер // Изв. вузов. Сер. Черная металлургия. – 2019. – Т. 59, № 8. – С. 517–522.
2. **Максимова, А. М.** Организационно-экономический механизм извлечения редких и редкоземельных металлов из отходов горнодобывающих предприятий: дис. ... канд. экон. наук / А. М. Максимова. – Москва, 2018. – 201 л.
3. **Таскин, А. В.** Химико-технологические решения комплексной переработки золошлаковых отходов промышленности: автореф. дис. ... канд. хим. наук / А. В. Таскин. – Владивосток, 2018.

УДК 539.216;539.22

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ СПЛАВОВ Al-Si-Fe-Mn
ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ЗАТВЕРДЕВАНИИ

В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ, О. В. ГУСАКОВА, С. В. ГУСАКОВА

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

Широко используемые в различных отраслях промышленности силумины должны обладать хорошими механическими свойствами: высокой твердостью при сохранении достаточной пластичности, что обеспечивается соответствующими модифицирующими добавками, которые вызывают измельчение структурных составляющих силуминов и нейтрализуют отрицательное воздействие нежелательных примесей. К таким примесям относится железо, входящее в алюминий при его производстве и накапливающееся при изготовлении изделий. При малых и средних скоростях охлаждения расплава для подавления роста крупных пластин α -фазы ($\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$) используют легирование марганцем, приводящее к образованию фазы $\text{Al}-(\text{FeMn})_3\text{Si}_2$. Известно, что структурно-фазовое состояние силуминов, содержащих железо и марганец, зависит от концентрации кремния и скорости затвердевания. Ранее было показано, что высокоскоростное затвердевание приводит к образованию дисперсных глобулярных включений железа в сплаве АК12оч. Поэтому актуальным является исследование фазового состава и микроструктуры околоэвтектических силуминов, содержащих Fe и Mn.

Представлены результаты исследования микроструктуры и фазового состава сплава Al – 11 ат. % Si – 0,2 ат. % Fe – 0,8 ат. % Mn в виде фольги толщиной 70...90 мкм, полученные при скорости охлаждения расплава 10^5 К/с. Для получения образцов использовался метод сверхбыстрой закалки из расплава, в котором на внутреннюю поверхность вращающегося барабана-кристаллизатора выплескивается расплав. Расплав растекается по поверхности тонким слоем и застывает в виде фольги. На рис. 1, а представлен общий вид микроструктуры фольги сплава Al – 11 ат. % Si – 0,2 ат. % Fe – 0,8 ат. % Mn в поперечном сечении. Слой фольги у поверхности А, прилегающей к кристаллизатору, не содержит видимых включений, как показано на рис. 1, б, при большем увеличении. В средней части фольги и у свободно затвердевающей стороны В присутствуют глобулярные включения.

Методом рентгеноструктурного анализа (рис. 2) показано, что у стороны фольги, прилегающей к кристаллизатору А, затвердевание протекает с образованием рентгеноаморфной фазы включений. Глобулярные включения у свободно затвердевающей стороны фазы $\text{Al}-(\text{FeMn})_3\text{Si}_2$, что подтверждается результатами рентгеноструктурного микроанализа, приведенными на рис. 3.

Причиной неоднородности микроструктуры и фазового состава быстро-затвердевшей фольги сплава Al – 11 ат. % Si – 0,2 ат. % Fe – 0,8 ат. % Mn является изменение скорости охлаждения расплава в процессе затвердевания за счет выделения скрытой теплоты кристаллизации и ухудшения теплоотвода.

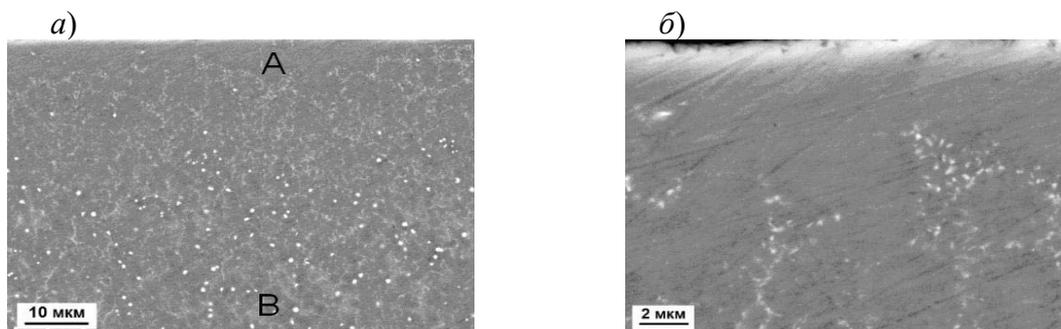


Рис. 1. Микроструктура фольги сплава Al – 11 ат. % Si – 0,2 ат. % Fe – 0,8 ат. % Mn

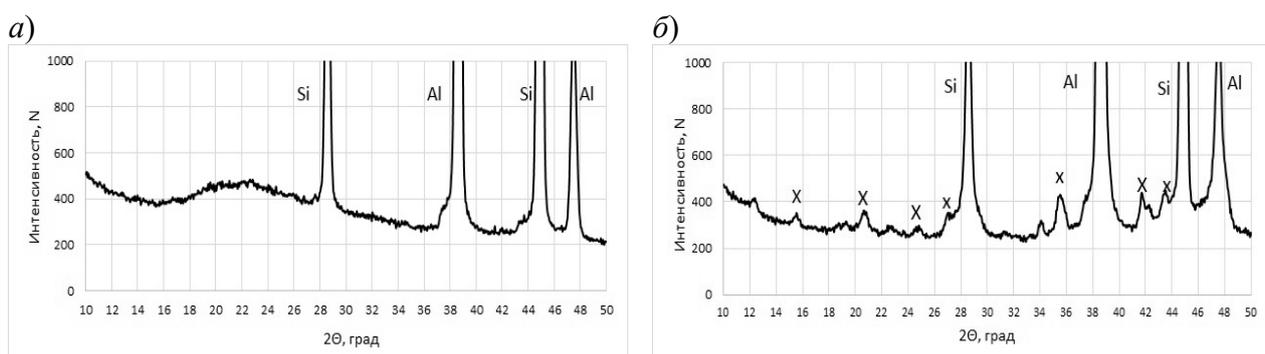


Рис. 2. Дифрактограммы фольги сплава Al – 11 ат. % Si – 0,2 ат. % Fe – 0,8 ат. % Mn: 1 – с поверхности А; 2 – с поверхности В

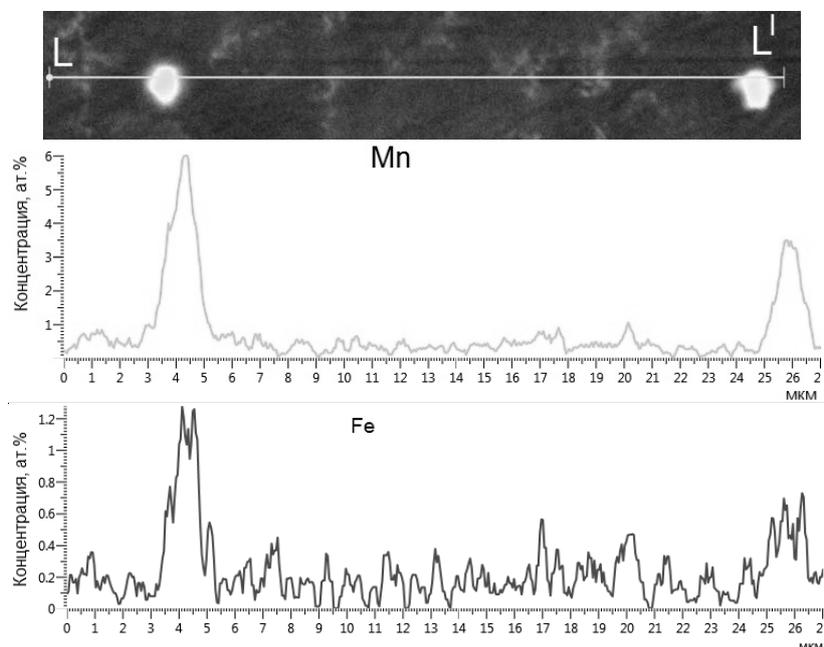


Рис. 3. Микроструктура и распределение Mn и Fe вдоль линии сканирования $L-L'$

Таким образом, высокоскоростное затвердевание сплава Al – 11 ат. % Si – 0,2 ат. % Fe – 0,8 ат. % Mn обеспечивает измельчение железосодержащей фазы до глобулярных наноразмерных включений, что способствует улучшению механических характеристик.

УДК 691.175

ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ ВЫДЕРЖКИ В АЦЕТОНОВОЙ БАНЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ ПЛАСТИКА ABS

Д. И. ЯКУБОВИЧ, А. В. ВАСЕНИЧЕВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В работе механизмов с зубчатыми передачами одним из важных аспектов является устранение шума, перегрева, а также преждевременного износа, для чего легконагруженные передачи изготавливают из полимерных материалов. Износ таких изделий зависит в первую очередь от шероховатости поверхности.

Цель эксперимента: установить необходимое время выдержки образцов в ацетоновой бане для достижения минимальной шероховатости.

На 3D-принтере модели VShaper PRO были напечатаны пять образцов в виде пластин размерами $20 \times 20 \times 5$ мм из проволоки ABS с качеством поверхности и внутренним заполнением 100 %. Один образец оставлен как эталон для сравнения с другими. Четыре образца были помещены в стеклянный эксикатор объемом 3 л на керамическую вставку. На дне эксикатора располагалась хлопчатобумажная ветошь, пропитанная 50 мл ацетона. При проведении эксперимента измерялась шероховатость образцов на профилометре Mitutoyo.

Ранее в исследованиях было установлено, что нахождение образцов в эксикаторе менее 2 ч не несет каких-либо изменений, а более 4 ч влечет существенное изменение геометрических размеров с появлением дефектов на поверхности изделия. Поэтому первый образец извлекался из эксикатора через 2,5 ч, а остальные – с интервалом в 30 мин.

Измерение эталонного образца, не подвергавшегося обработке, показало, что шероховатость поверхности после печати доходит до 40 мкм.

При визуальном анализе первого образца, находившегося в эксикаторе, видимых изменений не обнаружено, шероховатость поверхности не претерпела значительных изменений. При осмотре второго образца замечено, что поверхность стала более гладкой, шероховатость снизилась до 1,2 мкм. Визуальный анализ третьего образца не показал большой разницы со вторым, но шероховатость снизилась до 0,3 мкм, на четвертом образце визуально поверхность стала гладкой и на ней появились пузырьки и пустоты размерами до 0,2 мм. Измерение шероховатости показало ее возрастание до 0,8 мкм.

Таким образом, можно сделать вывод, что для снижения шероховатости поверхности изделий из пластика ABS достаточно выдерживать их в ацетоновой бане в течение 3...3,5 ч. Более длительное время выдержки образцов в эксикаторе приводит к образованию поверхностных дефектов, что является браком.

УДК 621.762

ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

Д. И. ЯКУБОВИЧ, С. В. СТРЕЛЬЦОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Центробежное распыление жидких материалов с использованием вращающейся оснастки имеет широкое применение в пищевой и химической промышленности. В машиностроении данный процесс применим для получения мелкодисперсных металлических порошков, с помощью которых получают готовые изделия различного назначения. Сущность метода заключается в заливке жидкого металла на вращающийся диск. Под действием центробежных сил поток жидкого металла разбивается на мелкие струйки, которые далее распадаются на капли. Энергоэффективность метода выше, чем при распылении расплава потоком газа или водой.

Цель работы – установление возможности применения метода центробежного распыления для получения мелкодисперсных порошков размерами до 50 мкм из железоуглеродистых сплавов.

Для получения жидкого чугуна использовали заготовку из серого чугуна СЧ-20 диаметром 10 мм. Жидкую сталь получали из арматуры S240 диаметром 12 мм. В обоих случаях расплавляли металл электрической дугой, горящей между заготовкой и вольфрамовым электродом в среде аргона. Плавление металла проводили при силе сварочного тока 90...100 А и расходе защитного газа 10...12 л/мин с использованием сварочного аппарата Minarc-220.

Плавление металла осуществляли на высоте 10 см от вращающегося диска при непрерывно горящей дуге. Металл стекал вертикально вниз, каплями диаметром до 8 мм. Скорость вращения диска составляла 12000 мин⁻¹. При соприкосновении с диском капли жидкого металла меняли свою траекторию с вертикальной на горизонтальную с последующим охлаждением на воздухе.

Полученные частицы порошка просеивали на сите с размером ячейки 50 мкм. Во всех случаях частиц размером до 50 мкм было не более 10 % от общего объёма полученного порошка. Для увеличения данного количества порошка необходима оптимизация режимов вращения диска с объёмом и размерами падающих на него капель, включая температуру жидкого металла.

В результате проведенных исследований установлено, что применение центробежного распыления расплава металла позволяет получить металлический порошок из железоуглеродистых сплавов размерами до 50 мкм. Не менее 70...80 % просеянного порошка через сито имеет сферическую форму. Наиболее гладкая поверхность сферических частиц получена при распылении стали. Образование частиц менее 15 мкм не установлено.

Перспективным направлением применения полученных порошков будет их использование для селективного лазерного плавания на 3D-принтере EP-M250.

УДК 621.791.1

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ ОПЛАВЛЕНИЕМ

С. Н. ЕМЕЛЬЯНОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Одним из путей повышения энергоэффективности и производительности стыковой контактной сварки является разработка новых способов сварки для наиболее часто используемых в промышленности технологических процессов изготовления продукции машиностроения. Одним из таких процессов, где находит применение контактная стыковая сварка, в Республике Беларусь является производство режущего инструмента (сверла, метчики, развертки).

Наиболее часто для производства таких изделий используют стыковую сварку непрерывным оплавлением и оплавлением с подогревом. Причем для материалов, из которых изготавливается режущий инструмент (среднеуглеродистая сталь 45 или 40X – для изготовления хвостовиков и сталь Р6М5 или Ст.1.3343DIN – для изготовления режущей части) из-за повышенного содержания углерода, требуется более мягкий режим сварки с увеличенным временем подогрева и оплавления.

Проведенные исследования показали, что для получения качественных сварных соединений, соответствующих требованиям действующих стандартов, с целью повышения энергоэффективности и производительности стыковой контактной сварки, целесообразно использовать программное управление скоростью оплавления $V_{опл} = f(\tau_{опл})$. На рис. 1 представлена рекомендуемая циклограмма изменения скорости оплавления за время протекания цикла сварки.

При использовании способа сварки по указанной на рис. 1 циклограмме по сравнению со сваркой непрерывным оплавлением время сварки сокращается в 1,5–2 раза, а расход электроэнергии – в 3–4 раза.

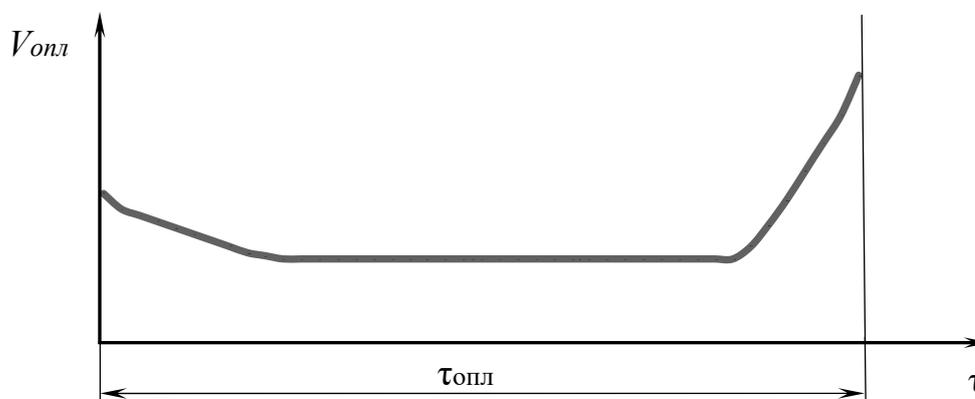


Рис. 1. Циклограмма процесса сварки с программированием скорости оплавления

УДК 621.791.763.2

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ ПО СОСТАВУ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕД ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

А. О. КОРОТЕЕВ, А. А. КОРОТЕЕВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Дуговая сварка в среде защитных газов на сегодняшний день является наиболее распространенным способом, используемым для изготовления металлоконструкций из широкого круга сталей и сплавов. Современные материалы, как правило, требуют более тщательного подхода к разработке технологических процессов сварки, т. к. металл обладает повышенной чувствительностью не только к термическому циклу, но и к составу защитной газовой атмосферы. Наличие большого количества легирующих элементов, обеспечивающих получение требуемого комплекса эксплуатационных характеристик соединения, присутствующих, как правило, в количествах, соизмеримых с пределом их растворимости в твердом металле, ограничивает применимость активных газов в составах защитных газовых смесей. Современные тенденции предполагают почти полный переход на использование смесей на основе аргона при сварке таких материалов. Для многих предприятий это вызывает повышение затрат на выполнение сварочных операций в связи с более высокой стоимостью газовых смесей по сравнению с углекислым газом, традиционно используемым ими для сварки. Кроме того, снижение окислительного потенциала защитной атмосферы требует повышенного внимания и затрат на подготовку деталей к сварке, более тщательную зачистку кромок и промежуточных валиков многослойного сварного соединения.

Перспективным направлением, позволяющим преодолеть эти трудности, является реализация независимой подачи компонентов газовой смеси в зону сварки с образованием требуемого состава непосредственно в зоне горения дуги. Это дает возможность сосредоточить необходимые для протекания технологических процессов газы в требуемом соотношении вблизи дуги и расплавленного металла, снизив при этом концентрацию дорогостоящих компонентов на периферии, где их наличие является необязательным с точки зрения эффективности протекания металлургических процессов.

Газовая среда не только выполняет защитную функцию, но и оказывает существенное влияние на процессы, происходящие в различных зонах защитной атмосферы: вытесняет воздух из зоны горения дуги; взаимодействует с расплавленным металлом; влияет на характеристики плазмы столба, заставляя его изменить размеры в зависимости от теплопроводности окружающих его газов; обуславливает процесс образования и размеры капель электродного металла.

Для эффективного протекания этих разнообразных процессов в различных зонах защитной атмосферы должно быть разное соотношение между компонентами, которое невозможно обеспечить при существующей технологии газовой защиты. Это можно реализовать за счет отдельной независимой подачи газов в зону сварки в виде коаксиальных потоков. При этом, регулируя кинематические параметры газовых струй, а также размеры сопла сварочной горелки и некоторые другие параметры, можно регулировать степень взаимной инжекции газов и характер их смешивания, а следовательно, в определенной степени добиться требуемого их соотношения в различных зонах защитной газовой атмосферы, снизив расход дорогостоящих компонентов в условиях интенсификации их физико-металлургических процессов взаимодействия с жидким металлом сварочной ванны.

Новый подход в реализации такой концепции газовой защиты – разработка технологии на основе управляемого механизма взаимодействия рассматриваемых потоков. При этом ключевым является не пространственное разделение газов по составу, а их газодинамическое взаимодействие, позволяющее реализовать ряд положительных с точки зрения воздействия на процесс сварки технологических процессов.

Пространственно и кинематически независимый ввод газовых компонентов в зону сварки позволяет в условиях термоионизационного воздействия электрической дуги создать функционально-градиентный по объему состав защитной атмосферы с изменяющейся концентрацией компонентов смеси по вертикальной и радиальной осям. Основные преимущества реализации предлагаемой концепции:

- интенсификация процессов физико-металлургического взаимодействия расплавленного металла с компонентами защитной газовой атмосферы;

- газодинамическое воздействие защитной атмосферы на процесс массопереноса электродного металла в сварочную ванну и кинетику её кристаллизации;

- изменение характера горения дуги и плавления электродной проволоки;

- модификация структуры и свойств сварных соединений путем струйного воздействия охлаждающей среды на сварной шов и зону термического влияния.

Традиционные направления практически исчерпали свой потенциал, и развитие сварочных технологий пошло по пути совершенствования источников питания для сварки, о чем свидетельствуют последние разработки ведущих мировых производителей оборудования и материалов. В связи с этим актуальным является разработка принципиально новых подходов, открывающих возможности для наиболее эффективного использования технологических особенностей процессов сварки и наплавки в среде защитных газов и развития физико-металлургического направления исследований.

УДК 621.79

СВАРКА ДЛИННОМЕРНЫХ БЕЗМУФТОВЫХ ТРУБ УСТАНОВКИ РЕМОНТА СКВАЖИН

А. Г. ЛУПАЧЕВ, А. О. КОРОТЕЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В технологических и ремонтно-восстановительных работах, производимых на газовых, нефтяных и газоконденсатных скважинах, широко используют колтюбинг (англ. Coiled tubing – колонна гибких труб).

Колтюбинг конструктивно выполнен в виде гибких непрерывных труб, которые заменяют традиционные сборные бурильные трубы при работах внутри скважин. Такие трубы благодаря своей гибкости способны предоставить доступ даже в боковые и горизонтальные стволы, кроме того, не требуется производить операции по сборке/разборке бурильной колонны.

Для изготовления колтюбинга используют низколегированные высокопрочные стали с широким диапазоном механических свойств и размеров, технические данные приведены в табл. 1.

Табл. 1. Технические данные колтюбинга

Марка	σ_{02} , min, МПа	σ_B , min, МПа	Отношение σ_{02}/σ_B	Максимальная твёрдость HRC	Диаметры труб, мм	Толщина стенки, мм
GT-70 TM	483	552	0,875	22	19,5...60,33	2,21...8,46
GT-80 TM	552	607	0,909	22	19,5...127,0	2,21...8,46
GT-90 TM	621	669	0,928	22	19,5...127,0	2,21...8,46
GT-100 TM	689	758	0,909	28	19,5...127,0	2,21...8,46
GT-110 TM	758	793	0,956	30	19,5...127,0	2,21...8,46

Согласно СТБ ISO 15608/TR–2010, рассматриваемые стали относятся к группе 3. Расчеты показывают, что эквивалент углерода имеет значение $C_{\text{ЭКВ}} = 0,61...0,793$. При $C_{\text{ЭКВ}} \geq 0,45$ при сварке становится возможным формирование закалочных структур в металле сварного соединения, что при условии насыщения металла водородом и высоких сварочных напряжений может привести к образованию холодных трещин или трещин замедленного разрушения. Отношение предела текучести к временному сопротивлению составляет от 0,875 до 0,956. При таких значениях основной металл находится в квазихрупком состоянии, т. е. разрушение происходит без заметного пластического деформирования.

Высокое значение эквивалента углерода и показателей прочности повышает степень реакции стали на сварочный термический цикл, что проявляется в ее разупрочнении. Склонность к разупрочнению проявляется в зависимости от соотношения скоростей охлаждения $\omega_{кр}/\omega$, где $\omega_{кр}$ – условная критическая скорость охлаждения, при которой обеспечивается распад аустенита с образованием структур, имеющих твердость, соответствующую твердости свариваемой стали; ω – скорость охлаждения при сварке, которая определяется режимом сварки.

Установлено, что при сварке по традиционной технологии в зоне термического влияния образуется участок разупрочнения. При испытании на разрыв сварных соединений труб $\varnothing 38,1 \times 3,5$ мм из стали марки GT-90TM временное сопротивление разрыву уменьшается с 753 до 588 МПа, т. е. на 20 %. При этом значение предела текучести уменьшилось на 26 %. Такое разупрочнение обусловлено невысокой скоростью охлаждения и большим временем пребывания рассматриваемого участка при температуре рекристаллизации.

Для обеспечения требуемых механических характеристик сварного соединения использовали разъемные медные охлаждающие накладки. Они изготовлены из медного прутка и имеют толщину 10, 15, 25 мм и посадочный диаметр, позволяющий плотно облегать трубу. На них предусмотрен скос с наклоном 30 град, обращенный к сварному шву и позволяющий обеспечить доступ для сварочной горелки. Длина охлаждающих накладок – 100 мм.

Сварку контрольных соединений выполняли дуговой сваркой в инертном газе вольфрамовым электродом (141). Использовали присадочную проволоку диаметром 2,4 мм системы легирования Cr-Ni-Mn с гарантированным пределом текучести после сварки 450 МПа. Применение проволоки с повышенным содержанием марганца позволило отказаться от защиты обратной стороны шва инертным газом. Сварку выполняли в два прохода. После заварки корневого шва сварное соединение охлаждали в накладках до комнатной температуры. Затем вторым проходом заполняли разделку и охлаждали сварное соединение до комнатной температуры, не снимая накладок.

Применение сварочных материалов системы Cr-Ni-Mn, обладающих удовлетворительными механическими характеристиками в состоянии после сварки, позволяет существенно их увеличить при последующей эксплуатации колтюбинга за счет пластического деформирования сварного соединения в процессе намотки на рабочий барабан. При этом твердость металла сварного шва повышается до НВ 400 при сохранении показателей пластичности.

УДК 621.791.752.3

О КОРРЕКТНОСТИ ЗАДАНИЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

А. И. ЛЯПИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Известно, что при электродуговой сварке свойства шва зависят от режима сварки, который определяется совокупностью значений таких параметров, как сила тока I_d , напряжение U_d дуги, диаметр сварочного электрода d_s , скорость его подачи v и др. При этом большое значение имеет стационарность дугового разряда.

В более ранних работах у некоторых авторов [1] режим задавался некоторыми интервалами значений сварочного тока $I_d = 130...160$ А и напряжения $U_d = 25...28,5$ В. В большинстве случаев основным параметром, определяющим режим сварки, принимается сила сварочного тока. Поэтому в литературе нередко можно встретить примеры, в которых режим сварки задается только интервалом значений силы тока [2] либо одним значением силы тока и некоторым интервалом значений напряжения дуги при конкретных значениях других параметров.

Однако известно, что стационарность (устойчивость) того или иного режима (состояния) электрического разряда в значительной степени обеспечивается постоянством мощности, вносимой в разряд в каждом устойчивом состоянии, определяемом вольт-амперной характеристикой.

Возникновение и поддержание дугового разряда обеспечивается совокупностью определенных процессов, протекающих с разной интенсивностью. При изменении силы тока и напряжения (вносимой мощности) происходит перераспределение вклада в разряд между указанными процессами. То есть каждой точке вольт-амперной характеристики соответствует определенное стационарное состояние разряда (дуги) со своим набором основных (преобладающих) процессов.

Если стационарный режим обеспечивается одним значением I_d и некоторым интервалом значений U_d , то это не означает, что мы имеем дело с одним состоянием. Если интервал напряжений ΔU_d велик, то может возникнуть большая неопределенность в конечных результатах сварки.

Поясним сказанное на конкретном примере: $I_d = 220$ А и $U_d = 30...35$ В. Приведенному интервалу значений U_d соответствует интервал значений мощности ΔP , вводимой в дуговой разряд, равный $\Delta P = 1,1$ кВт. Возникает вопрос: можно ли при таком разбросе значения указанной мощности говорить об одном режиме разряда?

Известно, что значительная часть сварочной мощности идет на плавление электрода. Поэтому оценим в первом приближении мощность, расходуемую на плавление материала электрода. При этом воспользуемся данными [3].

При малом вылете, когда сварочный ток подается близко к концу тонкого плавящегося электрода, массовая скорость плавления прямо пропорциональна силе сварочного тока I_{δ} :

$$\frac{dM}{dt} = k_{пл} \cdot I_{\delta},$$

где $k_{пл}$ – коэффициент плавления электрода.

Ввиду малости джоулевой теплоты, выделяющейся на длине вылета электрода, мощность, идущая на плавление, определяется произведением массовой скорости плавления и разности ΔH энтальпий электродного металла в расплавленном состоянии и при комнатной температуре:

$$P_{пл} = k_{пл} \cdot I_{\delta} \cdot \Delta H. \quad (1)$$

При сварке открытой дугой постоянного тока, горящей между голыми стальными тонким электродом и пластиной при атмосферном давлении, коэффициент плавления принимается $k_{пл} = 3,2 \cdot 10^{-6}$ кг/(А·с), $\Delta H = 2 \cdot 10^6$ Дж/кг. Подставив приведенные значения $k_{пл}$, ΔH и выбранной силы тока $I_{\delta} = 220$ А в формулу (1), для искомой величины получим следующее значение:

$$P_{пл} = 3,2 \cdot 10^{-6} \cdot 220 \cdot 2 \cdot 10^6 = 1,4 \text{ кВт.}$$

Нетрудно видеть, что полученное значение $P_{пл}$ сопоставимо со значением $\Delta P = 1,1$ кВт. При рассматриваемом режиме сварки ($I_{\delta} = 220$ А, $U_{\delta} = 30 \dots 35$ В) происходит изменение напряжения и, следовательно, мощности, вводимой в разряд. В этом случае возможно изменение скорости плавления электрода и связанное с этим изменение свойств шва. При этом нельзя исключать возникновения различия свойств по длине шва или по глубине многослойной наплавки.

Таким образом, неоднозначное задание режима электродуговой сварки может привести к возникновению различия свойств по длине шва или по глубине многослойной наплавки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Походня, И. К. Теплосодержание капель электродного материала при дуговой сварке в защитных газах / И. К. Походня, А. М. Суптель // Автоматическая сварка. – 1967. – № 2. – С. 13–15.
2. Походня, И. К. Влияние режимов сварки на содержание водорода в швах, выполненных электродами с покрытием основного вида / И. К. Походня, И. Р. Пальцевич, И. Р. Явдошин // Автоматическая сварка. – 1988. – № 3. – С. 19–22.
3. Рыкалин, Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Н. Н. Рыкалин. – Москва: Машгиз, 1951. – 296 с.

УДК 621.791.763.2

О ПРОБЛЕМАХ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СОЕДИНЕНИЙ РАЗНОЙ СТРУКТУРЫ

А. Ю. ПОЛЯКОВ, В. П. КУЛИКОВ, А. А. СТЕПАНОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Высокопроизводительный процесс контактной рельефной сварки (далее – КРС) сегодня используется большинством предприятий машиностроительного профиля в Республике Беларусь и за рубежом.

Принципиальным отличием КРС от контактной точечной сварки (далее – КТС) является пониженный теплоотвод в сварочные электроды (или электродные плиты) за счет того, что процесс зарождения и формирования общей неразъемной зоны соединений происходит крайне быстро (доли секунды) и именно при смятии рельефа. Это не позволяет электродам интенсивно отводить теплоту от контактов «деталь – деталь» в радиальном и вертикальном направлениях, что существенно повышает тепловой КПД всего процесса сварки (в сравнении с КТС).

Благодаря кратковременности импульса тока, малому тепловложению в свариваемый металл, относительной простоте применяемого оборудования и низкой требуемой квалификации персонала КРС все больше вытесняет дуговые способы сварки (в частности, дуговую механизированную сварку плавящимся электродом в среде защитных газов) не только при изготовлении малогабаритных тонколистовых конструкций и узлов (товары широкого народного потребления), но и при необходимости получения неразъемных соединений плоских листовых полотнощ и ответственных объемных конструкций в виде кузовов и обшивок легковых, грузовых и сельскохозяйственных транспортных средств, поездов, летательных и плавательных аппаратов.

Внедрение КРС на предприятия сопряжено с вынужденным использованием рекомендаций основных параметров режима сварки, предоставляемых поставщиками сварочных контактных машин на основе известной литературы по сварке давлением и многолетнего производственного опыта различных компаний.

Такие рекомендации основаны на отождествлении процессов КРС и КТС с расплавлением при оценке теплосодержания металла межэлектродной зоны при вводе в нее энергии в соответствии с общепринятым уравнением теплового баланса (далее – УТБ) и законом Джоуля – Ленца.

Однако в связи с тем, что УТБ изначально было разработано и апробировано исключительно под процесс КТС с возможностью достижения металлом свариваемых деталей температуры плавления, попытки расчета данного

уравнения к процессу КРС являются весьма приближенными, т. к. отсутствует учет геометрической формы рельефной сварной точки (объемно-эллипсоидная, а не цилиндрическая), переопределяющий теплоотвод в металл сварочных электродов. В каждом отдельном цикле это приводит к завышению значений расчетной энергии, требуемой для КРС с расплавлением металла деталей.

С другой стороны, последующий расчет по закону Джоуля – Ленца величины тока, требуемой для сварки, не учитывает динамику изменения сопротивления межэлектродной зоны под действием на нее возмущающих воздействий. В известной сварочной литературе на данный момент отсутствуют графические и формульные зависимости $R_{ЭЭ} = f(\tau_{СВ})$ для разных значений усилия сжатия электродов в зависимости от материала свариваемых деталей и толщины листа. В случае КРС попытки расчета величины тока с подстановкой в закон Джоуля – Ленца единых значений параметра $R_{ЭЭ}$ (в момент выключения тока), установленных для КТС, научно не обоснованы.

В совокупности это приводит к повышению дефектности рельефных сварных соединений из-за выплесков расплавленного металла межэлектродной зоны как в контакте «деталь – деталь», так и в контактах «электрод – деталь».

Даже в таких условиях для компенсации многочисленных возмущающих воздействий, имеющих место при КРС и отклоняющих фактическое тепловложение в межэлектродную зону от расчетного (по УТБ), представляется возможным разработать механизмы ввода в эту зону количества энергии, уменьшенного в сравнении с расчетным значением, за счет реализации нетипичных циклограмм нагрева металла деталей.

В таком случае прочность формируемых рельефных соединений может обеспечиваться и даже повышаться при их формировании в твердом состоянии (без достижения металлом свариваемых деталей температуры плавления). В литературе имеются свидетельства о высокой прочности таких соединений как при статическом, так и при динамическом нагружении. Однако в книгах по сварке давлением нет обоснованных механизмов и способов их получения путем применения КРС.

Переработка УТБ под процесс КРС, косвенный учет через закон Джоуля – Ленца влияния усилия сжатия электродов на величину вводимой энергии, а также реализация нетипичных циклограмм нагрева металла межэлектродной зоны в совокупности позволят разработать теоретические и технологические основы повышения энергоэффективности процессов КРС.

В конечном счете это даст возможность существенно снизить энергопотребление сварочных рельефных контактных машин без ущерба прочности формируемых соединений, что снизит себестоимость изготовления единицы продукции.

УДК 621.791.763.1

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СХЕМ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫХ ПУНКТОВ МЕТОДАМИ ТРЕХМЕРНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. Н. СИНИЦА, М. А. СИНИЦА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При сдаче в эксплуатацию каждого газорегуляторного пункта (ГРП) изготовитель снабжает его паспортом. В последнем в обязательном порядке имеется эксплуатационная (исполнительная) схема газопроводов с указанием всех сварных швов, точек замеров толщин труб и т. д. В качестве таких схем иногда используют копии принципиальных схем ГРП. Однако их приходится дорабатывать, указывая сварные швы, данные по диагностике и т. д. Работать с такими схемами неудобно ввиду неизбежных отличий расположения в пространстве элементов у реального газопровода и его 2D-схемы.

Чтобы избежать указанных выше недостатков, изготовители ГРП разрабатывают оригинальную изометрическую эксплуатационную схему в полном соответствии с реальным газопроводом. Но это требует дополнительных временных затрат и не гарантирует защиты от ошибок.

Применение трёхмерного компьютерного моделирования газорегуляторного пункта позволяет создавать его эксплуатационную схему в автоматическом режиме, основываясь на данных 3D-модели ГРП.

Последовательность проектирования газорегуляторного пункта представлена на схеме (рис. 1).



Рис. 1

На первом этапе с использованием P&ID-редактора создается принципиальная схема ГРП. Далее данные схемы и каждого ее компонента экспортируются в 3D-редактор. В нем создается 3D-модель ГРП. Далее данные трубопровода экспортируются как файл PCF в приложение ISOGEN. Из него в автоматическом режиме по заранее выбранному шаблону генерируется изометрическая эксплуатационная схема ГРП. Схема содержит все необходимые данные о сварных швах, трубах, диагностике и т. д. Время создания схемы не превышает 40 мин и затрачивается только на незначительное редактирование.

УДК 621.791.763

ВЛИЯНИЕ ГЕКСАФТОРИДА СЕРЫ В СОСТАВЕ ГАЗОВОЙ ЗАЩИТНОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ НА СОДЕРЖАНИЕ ВОДОРОДА В НАПЛАВЛЕННОМ МЕТАЛЛЕ

Е. А. ФЕТИСОВА, А. О. КОРОТЕЕВ, В. П. КУЛИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В процессе сварки происходит интенсивное взаимодействие газов с расплавленным металлом сварочной ванны. Одним из таких газов является водород, попадающий в атмосферу дуги из адсорбированной влаги, загрязнений на кромках свариваемых деталей, а также в результате наличия влаги в защитном газе. Присутствие растворенного водорода в сварных соединениях способствует образованию трещин в околошовной зоне, а также вызывает замедленное разрушение сварных конструкций, что приводит к снижению их работоспособности. Поэтому вопрос о способах борьбы с водородом при сварке является актуальным и в то же время до конца не изученным.

Нами было проведено исследование влияния введения гексафторида серы SF_6 в защитную газовую смесь (82 % Ar + 18 % CO_2) на содержание водорода в наплавленном металле при дуговой сварке. Эксперименты на данном этапе проводились с целью качественной оценки, т. к. количественная оценка содержания водорода в наплавленном металле вызывает существенные затруднения.

Наплавка образцов выполнялась на роботизированном комплексе Fanuc проволокой Св-08Г2С с введением в защитную газовую атмосферу SF_6 в количестве 3 % (остальное – Ar + CO_2). После наплавки образцы погружались в емкость, наполненную глицерином. По истечении заданного количества времени образцы подвергались качественной оценке содержания водорода в наплавленном металле. Было установлено, что на поверхности образцов наплавленного металла, выполненного в среде защитного газа с применением трехкомпонентной смеси Ar + CO_2 + SF_6 , газовые пузырьки водорода почти отсутствуют по сравнению с наплавленным металлом, выполненным традиционным способом (защитная атмосфера (82 % Ar + 18 % CO_2)). Поверхность наплавки в этом случае полностью покрыта выделившимися пузырьками диффузионного водорода. По результатам проведенных исследований качественно установлено, что применение SF_6 в составе защитного газа при дуговой сварке снижает содержание водорода в наплавленном металле в несколько десятков раз. Наиболее вероятной причиной этого является процесс взаимодействия фтора с водородом, которое приводит к образованию нерастворимых в расплавленном металле соединений HF . Таким образом, введение гексафторида серы в состав защитного газа при дуговой сварке позволяет снизить риск возникновения дефектов, образованию которых способствует водород.

УДК 621.791.763.2

О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ЭЛЕКТРОДА

С. М. ФУРМАНОВ, Д. Н. ЮМАНОВ, Е. М. КОРОЛЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Основной производственной задачей при контактной рельефной сварке является получение Т-образных сварных соединений со стабильными прочностными свойствами. Для решения данной задачи был предложен новый способ рельефной сварки с программным управлением, использующий характеристики перемещения подвижного электрода как критерии образования качественного соединения. Для определения влияния параметров режима рельефной сварки на характеристики перемещения подвижного электрода использовалась экспериментальная установка на базе машины контактной сварки «Оливер МТ-40».

Сварка образцов производилась при следующих параметрах режима: время подогрева $\tau_{\text{под}} = 0,3$ с; время нарастания сварочного тока $\tau_{\text{нар}} = 0,2$ с; время протекания сварочного тока $\tau_{\text{св}} = 0,2$ с; $I_{\text{под}} = 7,5$ кА; $I_{\text{св}} = 19...20$ кА; время предварительного сжатия и проковки во всех случаях составляло $\tau_{\text{сж}} = \tau_{\text{ков}} = 0,5$ с. В процессе сварки с целью регулирования степени разогрева межэлектродной зоны изменялась величина усилия сжатия электродов $F_{\text{св}}$. Ток подогрева $I_{\text{под}}$ и сварочный ток $I_{\text{св}}$ задавались программным путем с отсутствием паузы между импульсами. Плавный переход от подогрева к сварке осуществлялся за время нарастания $\tau_{\text{нар}}$.

При усилии сжатия $F_{\text{св}} = 4750$ Н наблюдались сильные выплески и резкое увеличение скорости перемещения электрода до $v_{\text{св}} = 25$ мм/с при максимальном сварочном токе. При усилии $F_{\text{св}} = 6750$ Н также происходили выплески, скорость перемещения достигала $v_{\text{св}} = 21...22$ мм/с. Величина перемещения электрода составила $h_{\text{эл}} = 1,8...1,9$ мм. Это свидетельствует о том, что снижение усилия сжатия $F_{\text{св}}$ приводит к повышенному разогреву контактов и полной деформации рельефа.

Увеличение усилия сжатия до $F_{\text{св}} = 7900$ и 8250 Н привело к снижению интенсивности разогрева контактов. При этом выплески не наблюдались, величина перемещения электрода снизилась до $h_{\text{эл}} = 1,4...1,5$ мм, скорость перемещения – до $v_{\text{св}} = 12,5...13,5$ мм/с.

При дальнейшем увеличении усилия сжатия $F_{\text{св}} = 9300, 11000$ и 12000 Н происходит заметное снижение напряжения межэлектродной зоны $u_{\text{ээ}}$, что свидетельствует о снижении мощности тепловложения в зону сварки.

Значительный эффект повышения прочностных свойств достигается при $F_{\text{св}} = 4750$ Н, при этом среднее значение усилия на отрыв $F_{\text{отр.ср}}$ образцов составило $26,5$ кН, разброс значений – от $23,47$ до $30,85$ кН.

УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОЙ
СТАЛИ MAGSTRONG S700MC С ПРИМЕНЕНИЕМ
СВАРОЧНЫХ ПРОВОЛОК МАРОК
LINCOLN ELECTRIC LNM MoNiVA И MAGWIRE MS700

И. И. ЦЫГАНКОВ¹, С. Г. АТАМАНОВ¹, А. А. МОСКВИН²

¹Белорусско-Российский университет

²ОАО «Могилевский завод «Строммашина»

Могилев, Беларусь

В настоящее время в промышленности РБ все чаще находят применение при производстве металлоконструкций листовой прокат высокопрочных сталей типа MagStrong S700MC и их аналогов для снижения массы и повышения несущей способности. Производство сварочных работ при изготовлении сварных металлоконструкций из данных сталей необходимо осуществлять по разработанной и квалифицированной технологии сварки согласно требованиям Правил Госпромнадзора РБ.

С этой целью произвели сварку образцов пластин 150×350 из стали MagStrong S700MC толщиной 6 мм сварными швами С17 по ГОСТ 14771–76 с применением сварочного полуавтомата Lincoln Electric Speedtec 320 CP сварочными проволоками LINCOLN ELECTRIC LNM MoNiVA диаметром 1,2 мм и MAGWIRE MS700 диаметром 1,2 мм в смеси защитного газа M21 (82 % Ar + 18 % CO₂) с предварительным подогревом сварочного стыка до 60 °С и промежуточной температурой между проходами не более 150 °С. Сварка образцов выполнялась в нижнем положении.

Для сравнительной оценки механических свойств сварных соединений были проведены испытания на статическое растяжение и статический изгиб, а также металлографические исследования образцов сварного шва.

На микрошлифах сварных соединений дефектов не обнаружено.

По результатам испытаний установлено, что образцы, выполненные проволокой LINCOLN ELECTRIC LNM MoNiVA диаметром 1,2 мм, при испытании на статический изгиб разрушились при угле загиба 135° (при загибе на корень шва), а образцы, сваренные сварочной проволокой MAGWIRE MS700 диаметром 1,2 мм, выдержали испытания на статический изгиб при угле загиба 180° (на лицо и корень шва).

При испытаниях на разрыв для образцов, сваренных проволокой LINCOLN ELECTRIC, временное сопротивление разрыву составило от 770 до 826 МПа, а для образцов, сваренных проволокой MAGWIRE MS700, – 760 МПа.

По результатам испытаний сварочную проволоку MAGWIRE MS700 можно рекомендовать для сварки сталей марок MagStrong S700MC.

УДК 621.791
ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

М. Ю. ЧЕШКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Сварочные материалы являются основным связующим элементом для получения различного рода неразъемных конструкций и изделий, в том числе ответственных. В связи с этим к качеству сварочных материалов предъявляются определенные требования. Сварочные материалы должны обеспечивать получение качественных сварных швов, т. е. сварной шов, помимо отсутствия в нем дефектов и соответствия внешнего вида установленным требованиям, должен быть не хуже, чем основной металл, из которого изготавливаются свариваемые конструкции и изделия. В первую очередь речь идет о механических свойствах и химическом составе наплавленного металла (или сварного соединения), полученного с помощью сварки (наплавки) сварочными материалами. К таким сварочным материалам в первоочередном порядке относятся сварочные (наплавочные) электроды и проволока.

Необходимо отметить, что механические свойства прежде всего обеспечивают прочностные и пластические свойства сварных конструкций, а химический состав – работу сварных конструкций в специальных условиях, например, при повышенных температурах (для жаропрочных и теплоустойчивых сталей), в коррозионных средах (для коррозионно-стойких сталей). Таким образом, механические свойства и химический состав наплавленного металла (или сварного соединения), полученного с помощью сварки (наплавки) сварочными материалами, обеспечивают надежность и долговечность сварных конструкций в целом, что свидетельствует о важности и необходимости контроля за данными свойствами сварочных материалов.

Однако в настоящее время в Республике Беларусь сварочные материалы не подлежат обязательному подтверждению соответствия, что создает благоприятную среду для попадания на рынок и в производство некачественных сварочных материалов, а это повышает риск изготовления и дальнейшего выпуска в обращение некачественной (или даже опасной) продукции, содержащей сварные швы. Следует отметить, что существует определенный контроль за качеством сварочных материалов в области промышленной безопасности и в строительстве, но данный контроль в подавляющем большинстве случаев сводится к проверке наличия сертификатов качества, которые выдает сам изготовитель (т. е. заинтересованная сторона).

Таким образом, производителям сварных конструкций (в особенности ответственных конструкций) необходимо усиливать входной контроль сварочных материалов в части контроля не только сварочно-технологических свойств и внешнего вида, но и механических свойств и химического состава наплавленного металла (или сварного соединения).

УДК 621.791.763.2

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШНЕКОВОЙ СПИРАЛИ ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Н. М. ШУКАН, А. О. КОРОТЕЕВ, В. П. ДОЛЯЧКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Шнековая спираль в современной промышленности является важным элементом систем непрерывного транспорта или винтового конвейера, где шнек, вращаясь в желобе, осуществляет транспортировку груза. Соответственно, винтовая спираль воспринимает все нагрузки при контактном перемещении веществ и подвергается абразивному износу. Производятся шнеки несколькими способами: из отдельных сегментов, которые вырезаются из листового металла, затем на прессовом оборудовании им придается необходимая изогнутая форма; посредством обработки резанием из цельной заготовки; методом холодной пластической деформации из цельной полосы. Данные методы подразумевают использование дорогостоящего специализированного оборудования и высоких трудозатрат в процессе производства. Применение дуговой сварки в защитных газах, в частности, систем с импульсной реверсивной подачей проволоки, позволяет изготавливать шнековую спираль путем послойного наплавления витков шнековой спирали требуемых геометрических параметров. Этот метод позволяет как производить спираль в готовом виде, так и создавать заготовки для последующей механической обработки для достижения требуемой шероховатости поверхности. Таким образом можно получать многослойные элементы витка, где рабочая поверхность выполнена из прочного износостойкого материала, а основа – из более мягкого и пластичного.

Методом послойной наплавки были изготовлены шнековые спирали с высотой стенки от 15 до 50 мм и толщиной от 1 до 10 мм, общим диаметром от 60 до 145 мм. Основой спирали является трубная заготовка, имеющая требуемые механические и технологические свойства. Наплавочный материал представляет собой сварочную проволоку и выбирается исходя из требований к получаемому изделию; так, для изготовления спирали успешно применялась как углеродистая, так и коррозионно-стойкая проволока. Использование импульсной реверсивной подачи проволоки позволило добиться высокой точности наплавки за счет стабилизации сварочной ванны и минимального тепловложения. Проведенные исследования наглядно показали преимущества данной технологии изготовления спирали перед традиционными методами. Также следует отметить, что основным расходным материалом при этом является стандартизированная сварочная проволока, которая представлена в современной промышленности очень широким спектром марок с различными механическими и технологическими свойствами, которые возможно использовать не только по отдельности при изготовлении изделия, но и комбинируя различные материалы, например, по толщине изделия, что позволит получать необходимые свойства в том месте изделия, где они необходимы.

УДК 621.791.763.2

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТАКТНОЙ СВАРОЧНОЙ МАШИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ЦИКЛА СВАРКИ

Д. Н. ЮМАНОВ, С. М. ФУРМАНОВ, Л. С. МАЛАШЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Одним из стремительно развивающихся направлений в улучшении процесса контактной сварки является применение систем автоматического регулирования процессом сварки. Для оптимизации процесса рельефной сварки с целью обеспечения стабильного высокого качества сварных соединений используется программное управление.

Модернизация машины для контактной сварки Oliver серии МТ-40 осуществлялась путем подключения блока управления тиристорами и симисторами БУСТ2 в узлы сварочной машины.

С помощью блока БУСТ2 происходит управление тиристорами, которые включены в состав регуляторов переменного напряжения, которые, в свою очередь, используются для фазового регулирования напряжения питания резистивно-индуктивных нагрузок. Блок предназначен для задания длительности открытого состояния тиристоров. БУСТ2 можно использовать для систем автоматического регулирования мощности.

Управление тиристорами состоит из нескольких устройств: устройство контроля перехода напряжения фазы через ноль, которое формирует начальный импульс при помощи формирователя импульсов, в каждом полупериоде для того, чтобы провести синхронизацию устройства обработки сигналов; устройство контроля состояния тиристоров, которое производит анализ состояния проводимости тиристоров. Устройство обработки сигналов подает сигнал на формирователь импульсов однополярного тока после анализа состояния проводимости тиристоров, тем самым его запуская в момент открытия тиристоров.

На основе БУСТ2 разработан виртуальный регулятор цикла рельефной сварки в программной среде LabVIEW. При запуске процесса сварки нажатием на педаль начинается отсчет при помощи таймеров интервалов времени тока подогрева, сварки, паузы между импульсами тока. Затем происходит управление катушками электропневмоклапанов, включение сварочного тока с помощью задания сигналов напряжения управления блоком БУСТ2 и угла открытия тиристоров α .

Виртуальный регулятор формирует циклограмму процесса сварки по полупериодам сетевого напряжения, в процессе сварки обрабатывает сигналы датчиков тока, напряжения, перемещения верхнего электрода и усилия сжатия и по полученным данным строит осциллограммы параметров режима.

УДК 621.926

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ЗВЕНЬЕВ РАБОЧЕГО ЭЛЕМЕНТА РОТОРНО-ЦЕПНОЙ ДРОБИЛКИ

В. В. БЕРЕСНЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При измельчении материала в роторно-цепных дробилках (РЦД) немаловажное значение имеет непосредственно процесс соударения рабочего элемента с частицей материала. При этом кинетическая энергия вращающегося ротора и рабочего элемента затрачивается на разрушение частицы материала и на изменение ее скорости. Причем затраты энергии на измельчение следует увеличить, а затраты энергии на изменение скорости – уменьшить, т. к. это снижает эффективность следующего соударения вследствие уменьшения относительной скорости частицы и следующего рабочего элемента. Кроме того, большая скорость движения частицы вдоль корпуса РЦД способствует большему его износу.

В качестве оценки эффективности принят КПД соударения, который определяется по формуле

$$\eta = \frac{A_{раз}}{A_{раз} + A_{изм}},$$

где $A_{раз}$ – работа, затрачиваемая на разрушение частицы материала, Дж; $A_{изм}$ – работа, затрачиваемая на изменение скорости частицы материала, Дж.

Работа, затрачиваемая на разрушение частицы материала, определяется по формуле

$$\begin{aligned} A_{раз} = & 2,089 + \exp(-5,211 + 0,038\omega + 19m_q + 6,035m_{po} + \\ & + 6,152D - 0,657z - 8 \cdot 10^{-5}\omega^2 - 49,383m_q^2 - 5,21m_{po}^2 - \\ & - 2,141D^2 + 0,056z^2), \end{aligned}$$

где ω – угловая скорость ротора, с^{-1} ; m_q – масса частицы, кг; m_{po} – масса рабочего элемента, кг; D – диаметр корпуса дробилки, м; z – количество звеньев рабочего элемента.

Работа, затрачиваемая на изменение скорости частицы материала, определяется по формуле

$$\begin{aligned} A_{изм} = & 2,193 + \exp(-5,975 + 0,042\omega + 22,2m_q + 8,305m_{po} + \\ & + 7,1D - 1,578z - 9,2 \cdot 10^{-5}\omega^2 - 79,038m_q^2 - 5,66m_{po}^2 - \\ & - 2,784D^2 + 0,173z^2). \end{aligned}$$

В качестве изменяемых параметров использовались количество звеньев рабочего элемента z и масса частицы m_q . Остальные параметры зафиксированы: $\omega = 120 \text{ с}^{-1}$; $m_{po} = 0,3 \text{ кг}$; $D = 0,7 \text{ м}$. Результаты представлены на рис. 1.

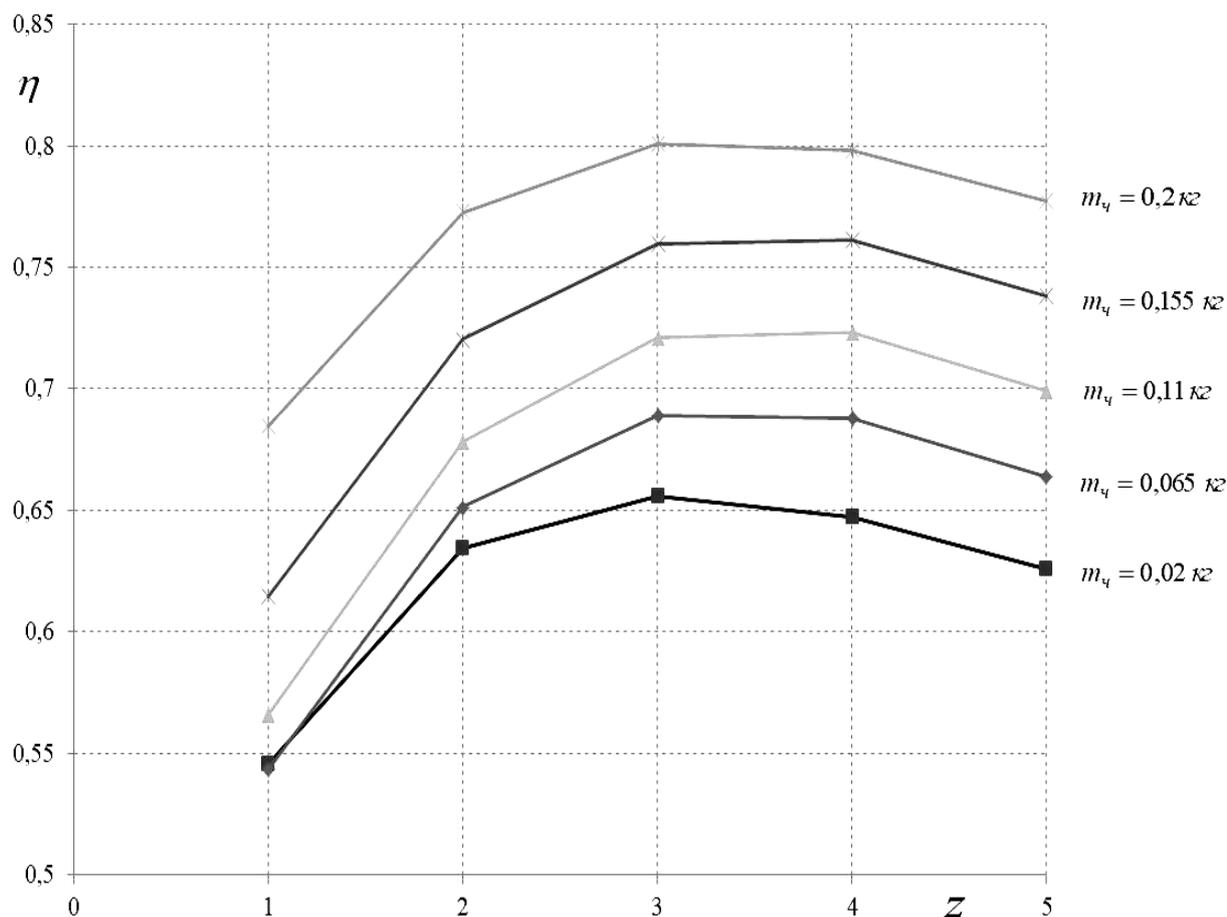


Рис. 1. КПД соударения рабочего органа РЦД и частицы материала в зависимости от количества звеньев и массы частицы

Анализ полученных результатов показывает, что с небольшим отличием наибольший КПД у трех- и четырехзвенного рабочего элемента. Причем у трехзвенного элемента в большинстве случаев несколько выше, чем у четырехзвенного. Кроме того, меньшее количество шарниров способствует большей технологичности, а следовательно, и меньшей стоимости изготовления рабочего элемента.

Таким образом, можно сделать вывод, что при изготовлении РЦД рациональнее использовать трехзвенные рабочие элементы.

УДК 62-1/-9

РАЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

П. В. ЗЕЛЁНЫЙ, О. К. ЩЕРБАКОВА

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

При использовании опорно-маневрового устройства [1] (рис. 1) в стесненных условиях хоздворов коммунальных хозяйств возможны три основных способа изменения направления движения при разворотах.

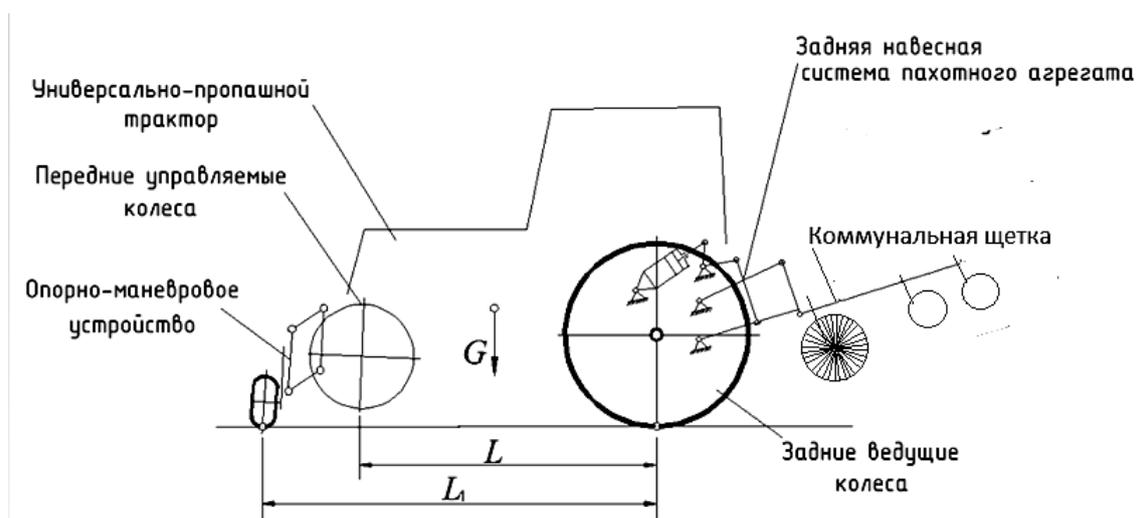


Рис. 1. Опорно-маневровое устройство

В первом случае разворот возможно осуществить затормаживанием правого или левого колеса трактора. Когда передние колеса будут выведены из контакта с опорной поверхностью, трактор разворачивается на трех колесах – опорном и двух задних (рис. 2).

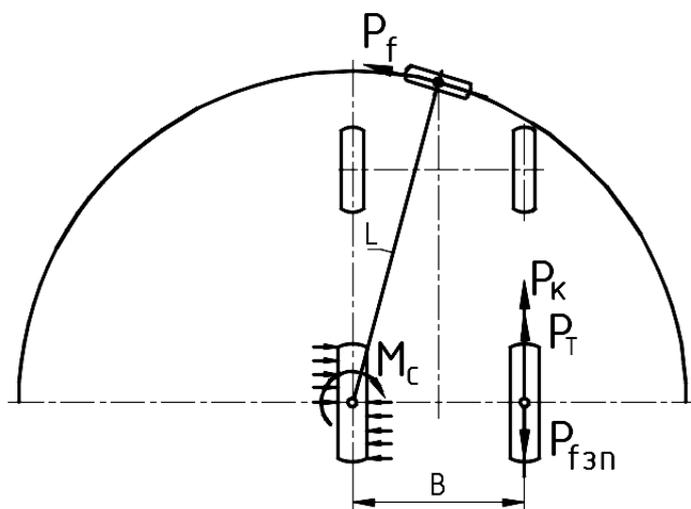


Рис. 2. Схема разворота трактора с заторможенным левым задним колесом

Во втором случае (рис. 3) возможно использование свойства реверсивности задних колес трактора, когда колеса вращаются в разных направлениях. Это обеспечивает разворот трактора на месте. В данном случае радиус поворота с использованием опорно-маневрового устройства имеет самое минимальное значение.

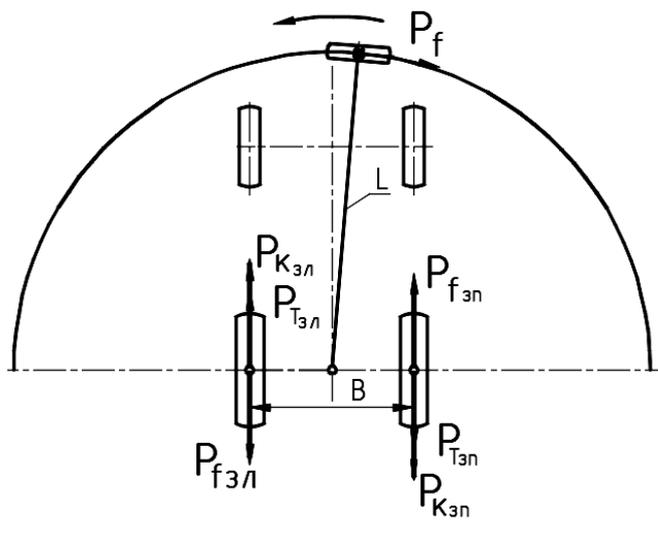


Рис. 3. Схема разворота трактора при вращении задних колес в разных направлениях

В третьем случае (рис. 4) разворот осуществляется задним ходом влево при заторможенном правом колесе.

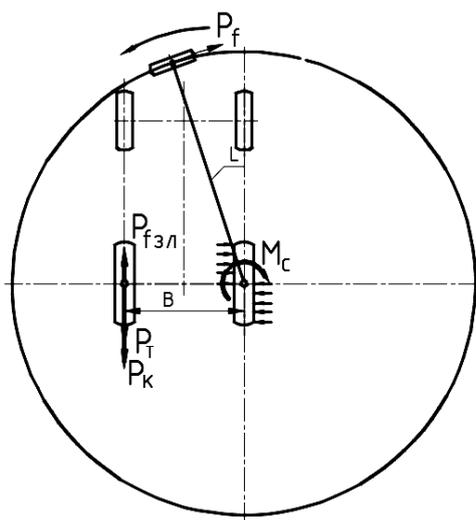


Рис. 4. Схема разворота трактора при движении задним ходом с заторможенным задним колесом

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трактор для гладкой пахоты отвальным плугом (Сельскохозяйственный трактор): пат. ВУ 14694 / П. В. Зелёный, В. В. Яцкевич, В. П. Бойков, О. К. Щербакова. – Оpubл. 30.08.2011.

УДК 62-238.9

ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МАШИНА
ДЛЯ СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЙ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

П. В. ЗЕЛЁНЫЙ, О. К. ЩЕРБАКОВА

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Отличительной особенностью городского коммунального хозяйства являются стесненные условия, в которых приходится выполнять работы транспортно-технологическим машинам, в частности при уборке территории. Это обусловлено не столь планировкой придомовых территорий, сколько припаркованным повсюду транспортом, по большей части личными автомобилями жильцов прилегающих домов. С этим приходится считаться.

Уборочные транспортно-технологические машины прибегают из-за этого к сложному маневрированию, чтобы максимально качественно выполнить необходимый объем работы. Непроизводительные затраты времени смены по этой причине – существенны, достигая, зачастую, 50 %.

Низкая маневренность транспортно-технологических машин обусловлена тем, что для них не создаются специальные несущие мобильные шасси, а используются в качестве таковых сельскохозяйственные колесные тракторы низкого тягового класса (в более высоком классе просто нет необходимости), причем, как правило, это пропашные тракторы – с компоновкой, когда основную нагрузку несут задние ведущие колеса, выполняемые большого диаметра, а передние, поддерживающие колеса, выполняют в основном функцию направления движения, и выполняются поворотными, управляемыми, имеют малый диаметр. Малый диаметр передних колес позволяет осуществлять их поворот на большой угол – до 35 град, а то и более.

Если для полей такой угол поворота вполне приемлем, чтобы осуществить крутой поворот и разворот трактора радиусом в несколько метров (на поле или огороде условия не такие стесненные), то на придомовой территории, заставленной личным автомобильным транспортом, развернуться с радиусом в несколько метров – непозволительная роскошь. Вот транспортно-технологический агрегат и вынужден совершать сложное маневрирование, чтобы осуществить разворот и выбраться из условий, в которые он попадает, совершая уборку.

Предлагается для решения этой проблемы и сокращения непроизводительных затрат времени на развороты, с целью увеличения сменной производительности за счет увеличения времени на непосредственно уборку территории, снабдить несущее шасси – трактор – дополнительным, пятым колесом, на которое он должен опираться в момент разворота (передние колеса при этом зависают).

Дополнительное колесо может быть приводным [1] (рис. 1), что, конечно же, лучше, но и не иметь привода [2] (рис. 2).

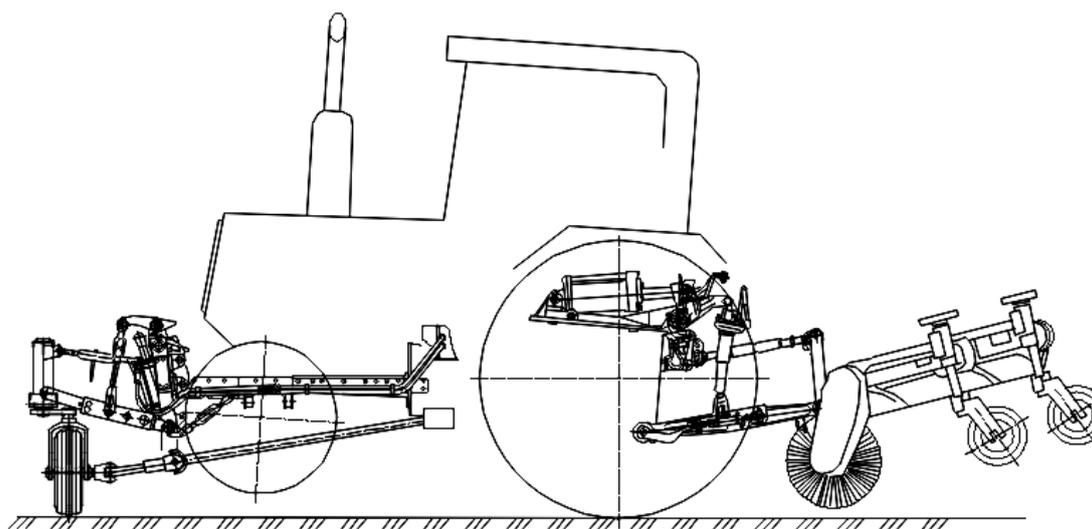


Рис. 1. Установка опорного колеса в ведущем режиме

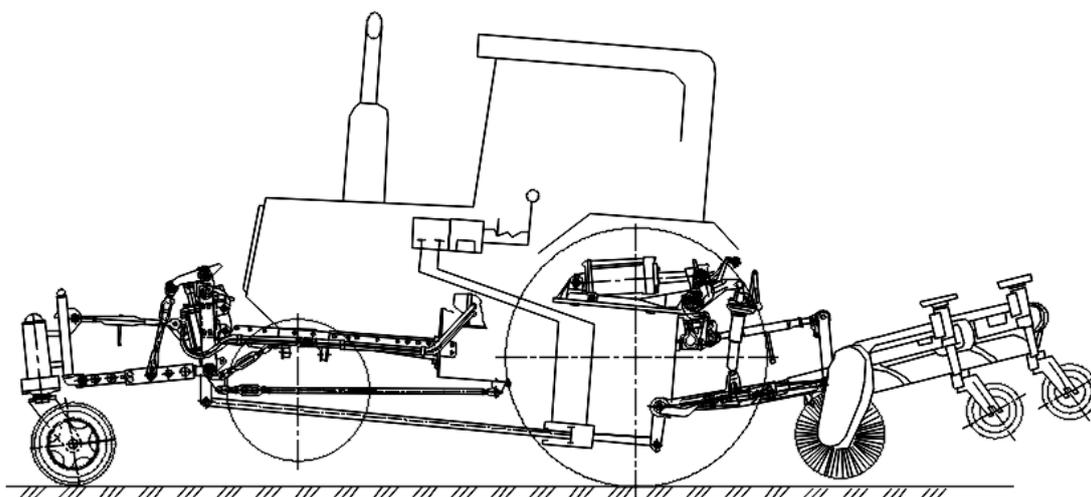


Рис. 2. Установка опорного колеса в ведомом режиме

В последнем случае разворот транспортно-технологической машины возможен за счет бортового притормаживания задних ведущих колес. При осуществлении привода на это колесо его следует устанавливать поперек – под углом 90 град к направлению основного движения машины. При управлении разворотом за счет притормаживания предпочтительно выполнять дополнительное колесо самоустанавливающимся – роляльного типа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трактор для гладкой пахоты оборотным отвальным плугом: пат. ВУ 18990 / П. В. Зелёный, В. В. Яцкевич, О. К. Щербакова. – Оpubл. 11.11.2014.
2. Трактор для гладкой пахоты отвальным плугом (Сельскохозяйственный трактор): пат. ВУ 14694 / П. В. Зелёный, В. В. Яцкевич, В. П. Бойков, О. К. Щербакова. – Оpubл. 30.08.2011.

УДК 621.828.6

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН АНАЛИТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИА. В. КУЛАБУХОВ, А. П. СМОЛЯР
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Высокая энергоемкость разработки грунтов и значительный объем земляных работ оставляют актуальными вопросы оптимизации параметров рабочих органов землеройных машин. Проведение экспериментальных исследований является дорогостоящим и трудоемким, занимает много времени, что не позволяет своевременно реагировать на быстроизменяющиеся потребности рынка землеройных машин. Поэтому на первый план выходят аналитические методы расчета сопротивления грунтов резанию, позволяющие задействовать современные вычислительные средства. Основными требованиями к аналитической теории являются идентификационность исследуемым процессам и возможность расчета всех параметров, доступных инструментальному контролю [1].

С точки зрения современных представлений о механике разрушения грунта процесс резания состоит из двух фаз – разрушения грунта при внедрении ножа в массив ненарушенной структуры и разрушения грунта при вытеснении отделенного в первой фазе элемента из-за перераспределения давлений, действующих по площадке сдвига. Еще одной особенностью взаимодействия ножа с грунтом является периодический характер отделения стружки. При установившемся процессе резания цикл может состоять из одного или нескольких малых сдвигов, при которых вновь образуемая площадка сдвига выходит на поверхность, образованную предыдущим сдвигом, и завершается большим сдвигом, при котором формируемая площадка сдвига выходит на дневную поверхность грунта. Поскольку большой сдвиг формирует геометрические параметры перемещаемого по рабочему органу грунта, а следовательно, и все силовые характеристики процесса, можно сделать заключение, что использование метода, ограничивающегося расчетом наиболее характерного случая, а именно большого сдвига, позволяет выйти на стратегическое решение задачи по выбору типа и технологии разрушения грунта, обеспечивающее снижение общей энергоемкости процесса. Однако оптимизация параметров конкретного рабочего органа на основе таких упрощенных решений представляется проблематичной.

Таким образом, оптимизацию параметров рабочих органов землеройных машин аналитическими методами можно осуществлять, если эти методы идентификационны исследуемым процессам, определяют все параметры, доступные инструментальному контролю, и учитывают периодический характер стружкоотделения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Берестов, Е. И.** Сопротивление грунтов резанию: монография / Е. И. Берестов, А. П. Смоляр. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2008. – 179 с.

УДК 629.114.2:621.828.6

О СНИЖЕНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ЗАГЛУБЛЕНИИ ГРУНТОЗАЦЕПОВ

А. В. КУЛАБУХОВ, А. П. СМОЛЯР, В. В. ЛАСОЦКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Экспериментальные исследования о влиянии угла наклона зацепов гусеничной цепи в вертикальной плоскости на коэффициент сцепления при различном удельном давлении проводились многими учеными. В частности выявлено, что на определенных типах грунта с малой несущей способностью при очень малых удельных давлениях на грунт несколько лучшее сцепление обеспечивают зацепы с большими углами наклона, которые достигают 150 град, по сравнению с зацепами с углом наклона, близким к 90 град. Однако возникают трудности, связанные с заглублением таких зацепов в грунт.

Для уменьшения сопротивлений, возникающих при внедрении зацепов в грунт и их извлечении из него, предлагается устанавливать на траки гусеничной цепи зацепы, оснащая их упорами, взаимодействующими боковыми сторонами с внутренней поверхностью траков и верхней стороной с передним колесом.

Гусеничный движитель работает следующим образом. Крутящий момент от двигателя передается задним колесам, которые перематывают гусеничную цепь и перемещают машину по опорной поверхности. При этом зацепы, расположенные на набегающей на переднее колесо свободной ветви гусеничной цепи, посредством контакта верхней стороны упоров с передним колесом занимают по отношению к нему радиальное положение. Такое положение зацепов относительно траков обеспечивает лучшую их внедряемость в грунт. В этом положении зацепы находятся вплоть до съезда переднего колеса с трака и с соответствующего ему упора. Далее зацепы, вследствие контакта с грунтом, отклоняются на угол, определяемый углом поворота упора до соприкосновения его боковой стороны с внутренней поверхностью гусениц. При перекачивании по гусеничной цепи опорных катков последние не взаимодействуют с упорами. При наматывании гусеничной цепи на заднее колесо, за счет возможности поворота зацепов относительно траков, выемка их из грунта происходит без его разрушения, тем самым снижаются потери энергии, затрачиваемой на извлечение зацепов.

Описанное устройство обеспечивает минимально затратное положение зацепов при их заглублении и извлечении из грунта, а во время основного взаимодействия с грунтовым основанием угол их наклона, при котором сила тяги по сцеплению гусеничного движителя увеличивается.

УДК-621.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ИХ КОМБИНАЦИЙ,
ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ОПОРЫ КОЗЛОВЫХ КРАНОВ
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ СВЫШЕ 12,5 т

А. А. КУНАНЕЦ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Исходя из анализа типа опор козловых кранов и сравнительного анализа продукции производителей козловых кранов [1], становится ясно, что разработка чётких критериев выбора комбинации типов опор козлового крана является актуальной. Для дальнейшего выявления критериев на данном этапе необходимо определить следующее.

1 Разновидность нагрузок внешних воздействий, действующих на опоры:

а) регулярные:

- гравитация, ускорение;
- инерционные нагрузки от приводов;
- смещение, уклон;

б) нерегулярные:

- ветровые нагрузки рабочего состояния;
- нагрузка от снега и льда;
- изменение температуры;
- перекося;

в) исключительные и особые:

- подъём груза рывком;
- ветровые нагрузки нерабочего состояния;
- испытательные нагрузки, нагрузки от удара о буфер;
- аварийное отключение, отказ механизма, внезапное снятие

нагрузки на крюке, монтаж, демонтаж, транспортировка.

2 Комбинации этих нагрузок.

Комбинации нагрузок следует выполнять с учетом неблагоприятных сочетаний нагрузок или соответствующих им усилий. По ГОСТ 32579.5 присутствует описание комбинаций нагрузок, что приводит к созданию динамических и математических моделей для выявления требуемых видов нагружений комбинаций внешних воздействий и их комплексного влияния на параметры опор.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кунанец, А. А. Анализ опор козлового крана грузоподъемностью свыше 12,5 т / А. А. Кунанец // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых учёных. – Могилев, 2020. – С. 110.

УДК 624.131

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕКУЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ ГУСЕНИЧНОГО БУЛЬДОЗЕРА

И. В. ЛЕСКОВЕЦ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Бульдозеры являются наиболее широко распространенными машинами для земляных работ. Они работают в сложных, постоянно изменяющихся грунтовых условиях, которые зависят от типа грунта, влажности, температуры окружающего воздуха, квалификации оператора и других факторов. Производительность бульдозеров зависит не только от параметров рабочего оборудования, но и от условий эксплуатации. Управление рабочим оборудованием бульдозера при производстве работ осуществляется оператором, который руководствуется только опытом и грунтовыми условиями. Во время разработки материала ему недоступна информация о степени влияния положения отвала, величины заглубления, скорости движения на производительность и величину затрат при каждом проходе машины.

В процессе проектирования бульдозеров конструкторы выбирают такие параметры отвала, которые обеспечивают минимальные значения сил сопротивления копанию. При производстве работ на конкретной рабочей площадке силы сопротивления копанию могут быть далеки от минимальных. Их величина в процессе копания определяется оператором по загрузке двигателя, т. е. по косвенным показателям, и не имеет цифрового выражения. Кроме того, величина призмы волочения и производительность зависят от угла установки отвала, который может изменяться в современных бульдозерах.

Объем призмы волочения зависит от ширины отвала и треугольника, который ограничивается отрезками DM , MO и кривой OD . Размеры l_{DM} и l_{MO} зависят от высоты призмы волочения H и угла естественного откоса γ (рис. 1).

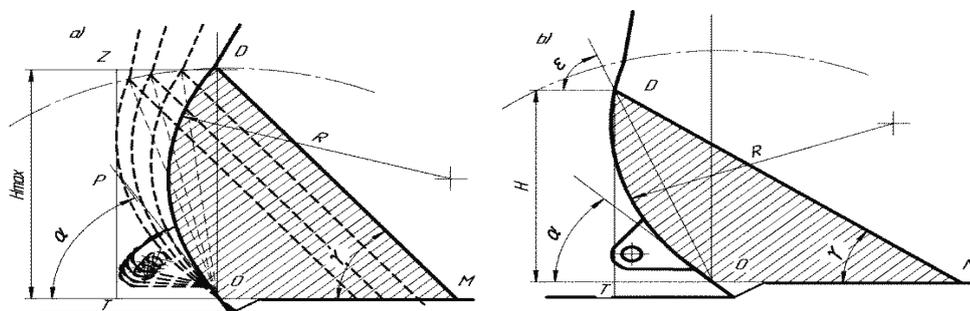


Рис. 1. Параметры призмы волочения

С помощью программного обеспечения, разработанного на основании [1–4], проведены расчеты сил сопротивления копанию грунта отвалом бульдозера для различных параметров грунта. На основании расчетов определены значения сил сопротивления копанию.

Для выбора оптимальных величин параметров отвала предлагается использовать удельный показатель, устанавливающий взаимоотношение производительности и мощности, затрачиваемой на передвижение машины:

$$K = N/P, \quad (1)$$

где N – принятое значение постоянной мощности; P – текущее значение производительности.

На основании проведенных расчетов построен график, отражающий зависимости производительности и удельной мощности (рис. 2).

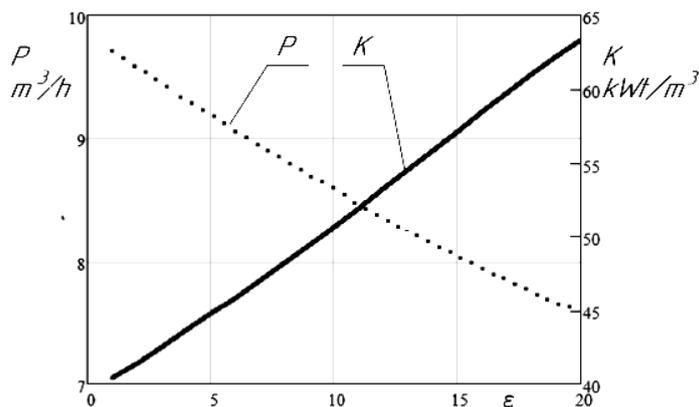


Рис. 2. Зависимости производительности и критерия эффективности от угла установки отвала

Анализ рис. 2 показывает, что наиболее эффективным при принятых условиях и максимальной призме волочения является угол установки отвала 11...13 град. Комплекс расчетов показывает, что на эффективность разработки грунта оказывает влияние не только угол установки отвала, но и размеры рабочей площадки, скорость движения бульдозера, используемая рабочая передача, максимальная мощность двигателя, параметры грунта и сложившиеся на момент производства работ погодные условия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берестов, Е. И. Методика определения параметров больших и малых сдвигов при копании грунта отвальным рабочим органом / Е. И. Берестов, И. В. Лесковец // Строительная наука и техника. – 2009. – № 1. – С. 86–91.
2. Берестов, Е. И. Влияние свойств грунта на усилия сопротивления копанью рабочим оборудованием бульдозера / Е. И. Берестов, И. В. Лесковец // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность и прикладные науки. Машиностроение и машиноведение. – 2010. – № 3. – С. 45–52.
3. Берестов, Е. И. Методика расчета геометрических параметров призмы волочения на отвале бульдозера / Е. И. Берестов, И. В. Лесковец // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2009. – № 2. – С. 6–12.
4. Берестов, Е. И. Определение угла наклона площадки большого сдвига при копании отвальным рабочим органом / Е. И. Берестов, И. В. Лесковец // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. Разд. Механизация и сельскохозяйственное машиностроение. – 2010. – № 1. – С. 148–155.

УДК 621.86

ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫЙ МАНИПУЛЯТОР

В. И. МАТВЕЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Перевозка пакетированных тарно-штучных грузов в большинстве случаев осуществляется с использованием наиболее распространенных двухнастильных четырехзаходных поддонов грузоподъемностью 1 т с размерами в плане 1200×800 мм. Погрузка и выгрузка транспортных средств, крупнотоннажных контейнеров такими грузами осуществляется малогабаритными вилочными авто- и электропогрузчиками. Продолжительность одного цикла работы погрузчиков при расстоянии транспортирования 20...30 м составляет 1,5...2 мин. При этом около 80 % от продолжительности цикла приходится на перемещение погрузчика. С увеличением расстояния транспортирования этот процент возрастает. Для увеличения производительности погрузочно-разгрузочных работ предлагается разделить операции транспортирования и операции штабелирования (укладка груза в штабель или взятие со штабеля). Транспортирование груза в этих целях предлагается осуществить с помощью устройства непрерывного транспорта – рольгангом (роликовым конвейером) с передачей на телескопический рольганг с вилочным погрузочно-разгрузочным манипулятором в конце, вводимых в кузов транспортного средства.

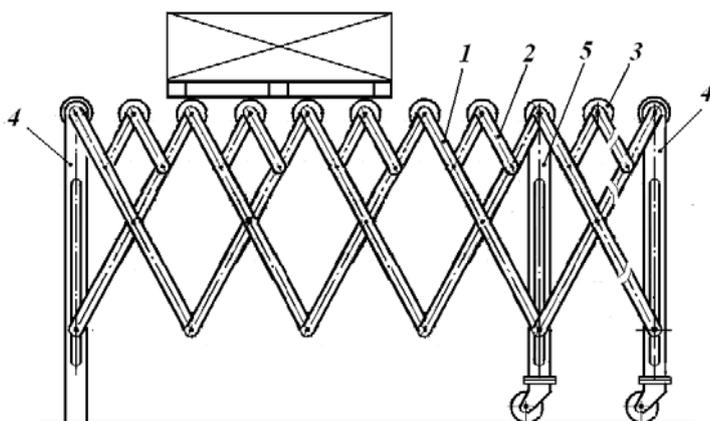


Рис. 1. Телескопический рольганг

Телескопический рольганг представлен на рис. 1 и содержит два параллельно расположенных шарнирно-рычажных механизма (ШРМ) типа «нюрнбергские ножницы», состоящие из основных рычагов 1. В верхней части этого ШРМ предусмотрены дополнительные рычаги 2 длиной 0,25 от длины основного рычага 1. На осях верхних шарниров установлены цилиндрические ролики 3.

По концам ШРМ опирается на крайние вертикальные стойки 4, одна из которых или обе могут быть выполнены подвижными. Для разгрузки ШРМ от вертикальных нагрузок в средней части могут быть установлены промежуточные опорные стойки 5. При приложении к ШРМ продольного растягивающего усилия он будет удлиняться с увеличением расстояния между роликами, а при сжимающем усилии – наоборот. Погрузочно-разгрузочный манипулятор представлен

на рис. 2 и содержит вилочный телескопический грузоподъемник 1, как и у вилочных погрузчиков. Грузоподъемник установлен на опорно-поворотном устройстве 2 с возможностью перемещения в продольном направлении по направляющим 3 и в поперечном направлении по направляющим 4. Приемный стол 5 телескопического рольганга 6 оборудован поворотным кругом 7 для разворота при необходимости поддона с грузом на 90° в ту или другую сторону. Для продольного перемещения манипулятора и приемного стола предусмотрено ходовое устройство 8.

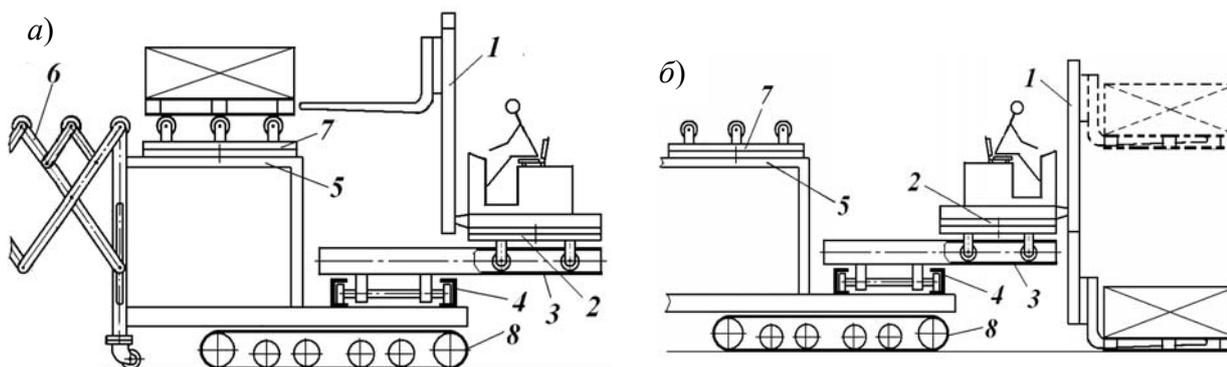


Рис. 2. Погрузочно-разгрузочный манипулятор: а – при взятии груза с приемного стола рольганга; б – при укладке груза

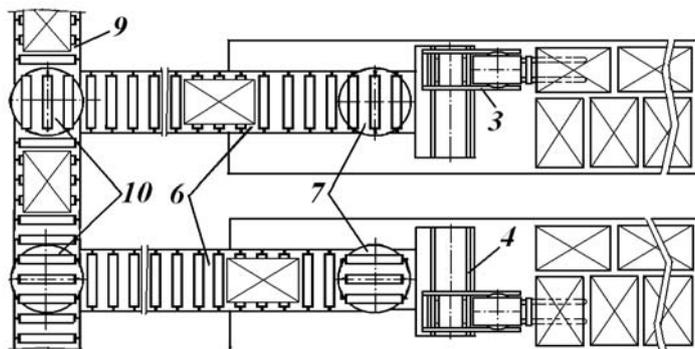


Рис. 3. Схема производства работ

Схема производства работ по загрузке транспортных средств с разделением операций транспортирования и штабелирования представлена на рис. 3. Транспортирование поддонов с грузом к грузовому фронту осуществляется стационарным рольгангом 9, имеющим поворотные круги 10 для передачи груза на телескопические рольганги 6 с погрузочно-разгрузочными манипуляторами. При поступлении груза на приемный стол 5 телескопического рольганга 6 (см. рис. 2, а) последний по необходимости поворотным кругом 7 поворачивается на 90° в зависимости от схемы размещения поддонов в кузове транспортного средства. Движением манипулятора в соответствующей последовательности по направляющим 3 и 4, подъемом груза с поворотом в горизонтальной плоскости на 180° и последующим опусканием производится укладка последнего на требуемое место в соответствии с рис. 2, б. После заполнения поперечного ряда производится перемещение манипулятора в продольном направлении ходовым устройством 8. Выгрузка транспортных средств осуществляется в обратной последовательности.

УДК 621.691:669

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ

В. А. ПОТАПОВ¹, А. Н. ХУСТЕНКО²¹Барановичский государственный университет
Барановичи, Беларусь²Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Одним из основных сырьевых материалов для производства строительной извести в Беларуси является мел. Мел – мягкая рыхлая порода, которую обжигают во вращающихся печах по сухому и мокрому способу. Выбор способа переработки обусловлен исходной влажностью и механической прочностью сырья. Ранее в стране строительная известь перерабатывалась по мокрому способу. Несмотря на многие достоинства этого способа (однородный состав, высокая реакционная способность готового продукта), имеет место существенный недостаток, а именно высокая энергоемкость – 310...320 кг условного топлива на тонну извести [1].

Анализ себестоимости извести показывает, что основные затраты приходятся на сырье и топливо, причем расходы на топливо могут составлять 50 % и более в себестоимости производства [2]. В связи с постоянным ростом цен на топливо возникает острая необходимость по снижению энергетических затрат на производство строительной извести.

Один из первых заводов, который внедрил обжиг мела во вращающихся печах (рис. 1) исходного сырья с карьерной влажностью, – ОАО «Белорусский цементный завод» (г. Климовичи).

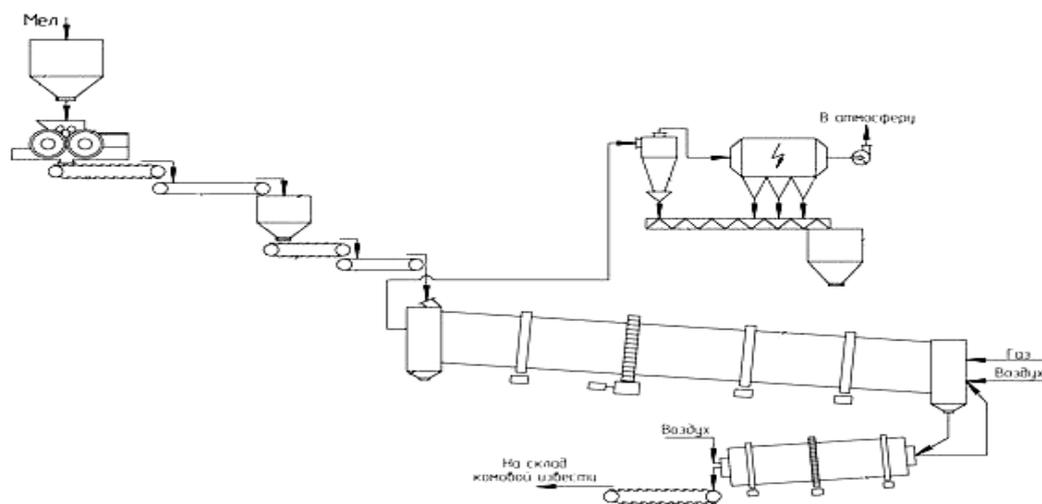


Рис. 1. Технология производства строительной извести по сухому способу из влажного мела

Основная идея, заложенная в эту технологию, состоит в том, чтобы мел с карьерной влажностью, не превращая в шлам, подавать во вращающуюся печь

на декарбонизацию. Такой подход обеспечивает снижение количества испаряемой влаги с 38...40 до 26 %, что существенно сокращает расход топлива до 240 кг условного топлива на 1 т извести [3].

Несмотря на проведенную модернизацию производства строительной извести, максимально возможный предел экономии топливно-энергетических ресурсов не достигнут. Для отечественного сырья с влажностью от 25 до 30 % технически достижимый удельный расход условного топлива составляет 180...200 кг на 1 т извести второго сорта [4].

При снижении влажности исходного сырья на 1 % экономия топлива составит около 1,5 %, на основании чего мы предлагаем использовать энергию дымовых газов для предварительной подсушки сырья. Данный способ может быть реализован при использовании цепного агрегата в пылеосадительной камере, который позволит измельчать мел до нужного фракционного состава с одновременной подсушкой.

Схема рабочего процесса цепного агрегата показана на рис. 2.

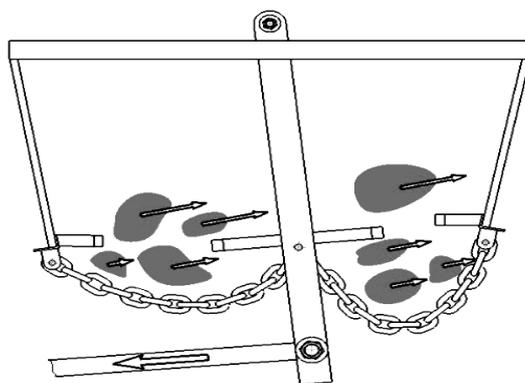


Рис. 2. Схема рабочего процесса цепного агрегата

Предложенная модернизация нуждается в теоретической и практической оценке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьменков, М. И. Химическая технология вяжущих веществ / М. И. Кузьменков, О. Е. Хотянович. – Минск : БГТУ, 2008. – 263 с.: ил.
2. Дресвянникова, Е. А. Энергосберегающие технологии при производстве строительных материалов / Е. А. Дресвянникова, Ю. В. Готулева // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8. – С. 301–302.
3. Технология производства строительной извести по сухому способу из влажного мела [Электронный ресурс] // Studopedia.info. – Режим доступа: <https://studopedia.info/5-77099.html>. – Дата доступа: 03.02.2021.
4. Энергосберегающая технология производства извести из рыхлого мела [Электронный ресурс] // Архитектурно-строительный портал AIS.BY. – Режим доступа: <https://ais.by/story/1164>. – Дата доступа: 03.02.2021.
5. Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия: монография / Л. А. Сиваченко [и др.]; под науч. ред. Л. А. Сиваченко. – Барановичи: БарГУ, 2020. – 359 с.: ил.

УДК 625.08

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ КАТКА

В. И. СЁМЧЕН

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современной тенденцией развития уплотняющих машин статического и динамического действия является широкое внедрение систем автоматического контроля за степенью уплотнения, движением катков в группе с заданным интервалом и контроля траектории движения в пределах карты уплотнения. Перечисленные факторы приводят к увеличению рабочих скоростей уплотнения дорожно-строительных материалов и требуют повышения маневренности.

Исследование систем управления поворотом двухвальцовых, тандемных дорожных катков ведущих производителей уплотняющего оборудования показывает, что наиболее перспективна система с поворотными полурамами. Серийные конструкции таких систем управления содержат сдвоенный шарнир поворота с одной горизонтальной и одной вертикальной осью и обеспечивают поворот вальцов в горизонтальной плоскости и качание вальцов в вертикальной плоскости, в то время как для расширения технологических возможностей и увеличения маневренности катка требуются и другие взаимные положения вальцов.

Предлагаемая система управления поворотом вальцов дорожного катка содержит как минимум три оси поворота: одну горизонтальную и две вертикальных и как минимум два гидроцилиндра управления поворотом. Центральная часть предлагаемого шарнира содержит горизонтальную ось качания с возможностью ее блокировки. Корпус каждого из гидроцилиндров поворота присоединен к центральной части, а штоки соответственно – к полурамам. Гидравлическая система управления обеспечивает как раздельное, так и совместное управление гидроцилиндрами.

Первый режим работы системы – изменение траектории движения поворотом одного из вальцов: переднего или заднего. Второй режим – изменение траектории движения одновременным поворотом переднего и заднего вальца в одну сторону – соответствует работе серийной конструкции. Третий режим – движение катка с поворотом вальцов в разные стороны – обеспечивает смещение вальцов для увеличения ширины уплотнения или движение боком для увеличения маневренности. Блокировка горизонтальной оси качания возможна при любом из перечисленных режимов работы и в ряде случаев обеспечивает повышение устойчивости при повороте катка.

Результат использования предложенного технического решения – обеспечение соответствия системы управления поворотом катка требованиям, предъявляемым системами автоматизированного управления уплотнением.

УДК 621.929

СМЕСИТЕЛЬ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ С ДЕФОРМИРУЕМОЙ РАБОЧЕЙ КАМЕРОЙ

Ю. М. ХАРИТОНОВ, Л. А. СИВАЧЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Смешивание – один из важнейших технологических процессов, имеющий своей целью получение из нескольких различных компонентов однородной смеси, обладающей новыми, по сравнению с исходными веществами, свойствами после протекания между ними физико-химических взаимодействий.

Осуществляющие этот процесс аппараты-смесители должны обладать высокой эффективностью, низкой энергоёмкостью, удобством в обслуживании и ремонте, обеспечивать комфортные условия работы [1]. Известно большое количество конструктивного исполнения смесительных машин [2], но их развитие постоянно продолжается, что в первую очередь обусловлено многообразием перерабатываемых материалов и повышением требований к качеству получаемых смесей [1].

Одним из направлений развития смесителей принудительного действия может быть использование в качестве основного рабочего оборудования гибких волнообразных поверхностей, которые выполнены из эластичного материала и связаны с приводом, расположенным с их внешней стороны, а сами эти поверхности образуют смесительную камеру, причём их различные зоны создают разнонаправленные интенсивные периодические движения. Определёнными прототипами такого подхода могут служить, например, деформируемые цилиндрические оболочки или цепные агрегаты, рабочие поверхности которых состоят из цепных гирляндных завес [4], однако эти конструкции являются технически сложными и не обеспечивают хорошее качество перемешивания, особенно тонкодисперсных смесей.

Смеситель предлагаемой конструкции, схема которого приведена на рис. 1, содержит раму 1, на которой посредством узлов крепления 2, 3 смонтирована деформируемая рабочая камера 4, выполненная из эластичной лоткообразной оболочки, которая с одной стороны через шарнир 5 связана с кривошипно-шатунным механизмом 6. Вторая сторона рабочей камеры, установленной под небольшим углом к горизонту, имеет амортизатор колебаний 7, а с внутренней стороны снабжена лопастями 8.

Рабочий процесс смесителя происходит следующим образом. Кривошипно-шатунный механизм 6 приводится в движение и через шарнир 5 сообщает

деформируемой рабочей камере 4 сложные периодические перемещения. В верхнюю часть рабочей камеры подаются исходные компоненты смеси, которым волнообразные движения её стенок обеспечивают интенсивное перемешивание с одновременным продвижением вдоль оси камеры 4 и последующей выгрузкой из аппарата. Качественному перемешиванию способствуют лопасти 8, а для исключения резонансных колебаний стенок камеры 4 имеется пружинный амортизатор 7.

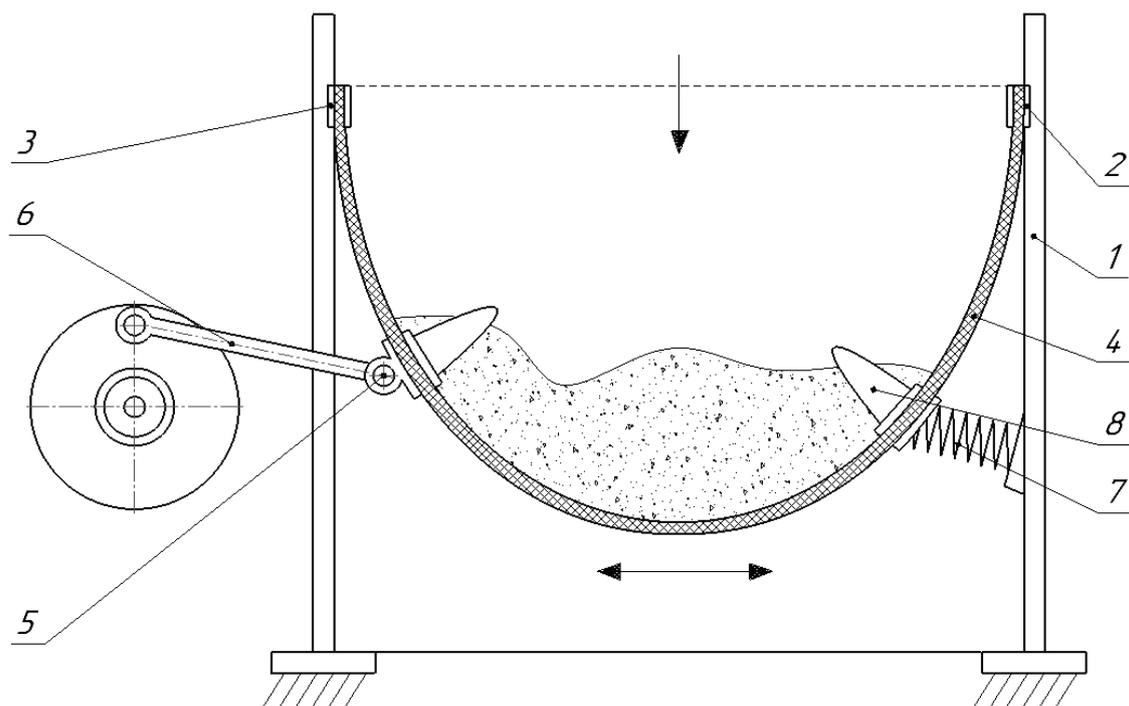


Рис. 1. Смеситель с деформируемой рабочей камерой

Разработанный смеситель обладает конструктивной простотой, характеризуется отсутствием неподвижных сопряжений, находящихся в перерабатываемой среде, и может быть использован в крупнотоннажных технологиях приготовления смесей различного назначения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологические аппараты седативного действия / Л. А. Сиваченко [и др.]. – Минск: БГУ, 2008. – 375 с.
2. **Королёв, К. М.** Механизация приготовления и укладки бетонной смеси / К. М. Королёв. – Могилев: Стройиздат, 1986. – 136 с.
3. **Лозовой, Н. М.** Смеситель с изменяемой рабочей камерой: монография / Н. М. Лозовой, С. Ю. Лозовая. – Белгород: БГТУ, 2013. – 109 с.
4. Интенсификация технологических процессов на основе аппаратов адаптивного действия: монография / Л. А. Сиваченко [и др.]; под ред. Л. А. Сиваченко. – Барановичи: БарГУ, 2020. – 359 с.

УДК 622.33

ПРУЖИННЫЙ ПИТАТЕЛЬ-ДОЗАТОР ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАЛОТОННАЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Д. А. ЩУКИН, А. Н. ХУСТЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Технологические функции равномерной подачи и дозирования порошковых материалов являются важной составляющей многих производственных процессов малотоннажных комплексов [1]. Исследования в области пружинных мельниц показали возможность создания на их основе эффективного питателя-дозатора с широким диапазоном изменяемых параметров, способного решать большой спектр задач, среди которых домол, смешивание, механоактивация и дезагригация смеси, причем с одновременной подачей нескольких исходных компонентов [2].

С этой целью разработан пружинный агрегат, включающий в себя приводной электродвигатель, на валу которого и оси дополнительной опоры смонтирован рабочий модуль (рис. 1), состоящий из дугообразно изогнутой пружины 1, размещенной в трубчатом корпусе 2, с патрубками для загрузки 3 и выгрузки 5 материала. Вся конструкция смонтирована на раме. Для увеличения количества одновременно подаваемых компонентов в трубчатый корпус может быть встроен по меньшей мере один дополнительный патрубок 4 для загрузки других компонентов.

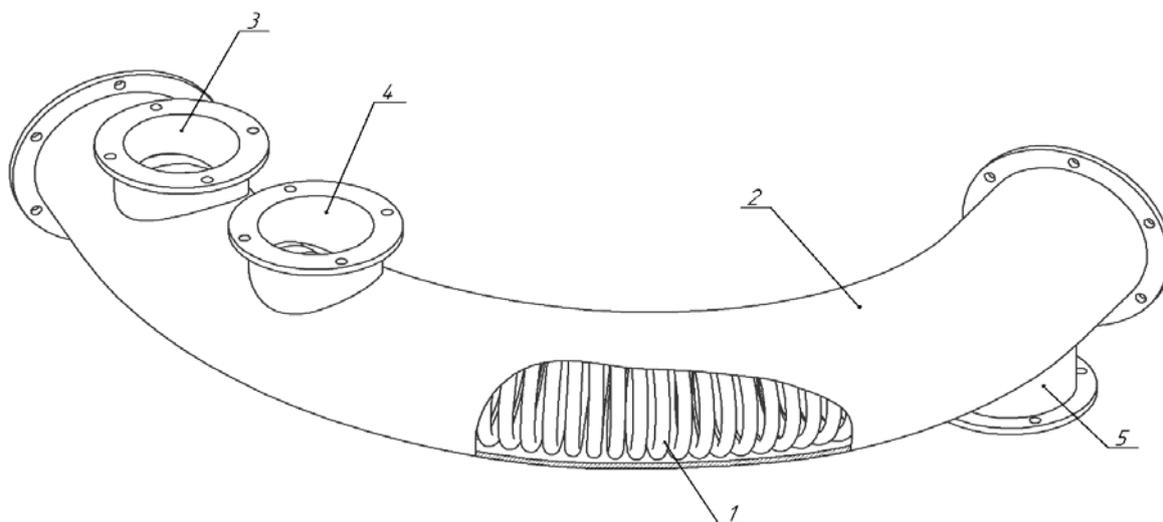


Рис. 1. Рабочее оборудование пружинного питателя-дозатора

В процессе работы вращающийся от приводного электродвигателя пружинный рабочий орган своими витками захватывает исходный материал и равномерно перемещает его от загрузочного к выгрузочному патрубку. В случае использования дополнительного или дополнительных патрубков расширяется

номенклатура дозируемых компонентов и, как следствие, функциональные возможности аппарата в целом.

Проведенные исследования показывают, что подобные установки способны перемешивать материал с высокой степенью однородности, производить эффективное измельчение и механоактивацию смеси. При этом все эти функции сочетаются в одном агрегате с минимальными энергетическими и эксплуатационными издержками [3].

В качестве примера приведем результаты работы пружинного агрегата с рабочим органом диаметром 90 мм и плотной навивкой, используемого для подачи и одновременного помола кварцевого песка. Дисперсный состав исследуемого материала приведен на рис. 2. При этом равномерность подачи (транспортирования) составляет $\pm 2,5\%$, что свидетельствует о высоких технологических возможностях разработанной конструкции.

Областью применения представленного агрегата следует считать малотоннажные технологические комплексы, в которых необходимо осуществлять процессы непрерывного дозирования, помола, смешивания, механоактивации различных материалов.

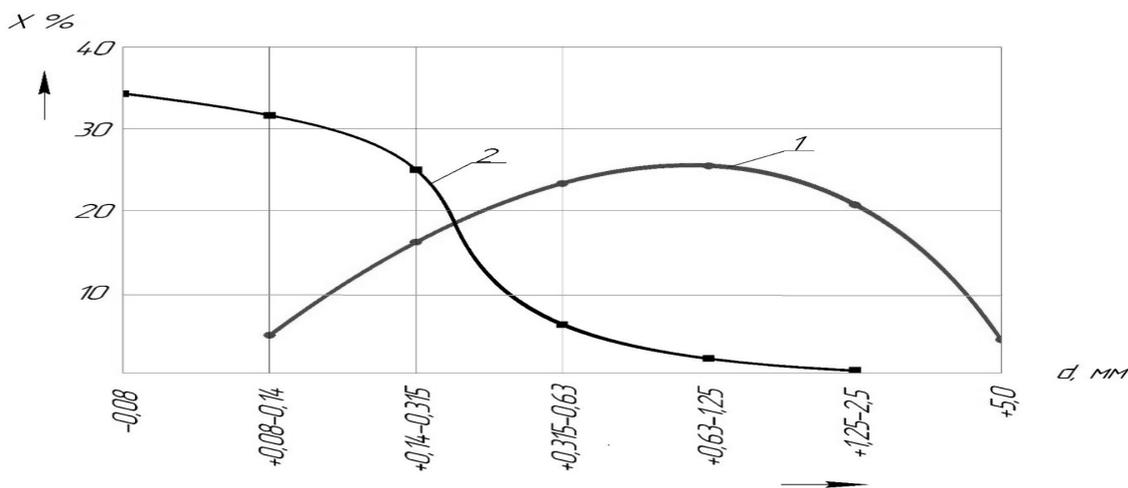


Рис. 2. Результаты дисперсного состава кварцевого песка, полученные методом ситового анализа

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гатих, М. А. Физико-механические методы измерения и дозирования массы сыпучих материалов / М. А. Гатих. – Минск: Наука и техника, 1987. – 255 с.
2. Интенсификация технологических процессов на основе аппаратов адаптивного действия: монография / Л. А. Сиваченко [и др.]; под ред. Л. А. Сиваченко. – Барановичи: БарГУ, 2020. – 359 с.
3. Сиваченко, Л. А. Многоцелевой пружинный питатель-дозатор / Л. А. Сиваченко, Д. А. Щукин // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. – Белгород: Белгород. гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова, 2020. – С. 330–333.

УДК 378.001.76

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КУРСОВОГО ДВИЖЕНИЯ
ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Э. И. ЯСЮКОВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Повышение эффективности эксплуатации легковых автомобилей требует рационального выбора конструктивных параметров их ходовой части, а также характеристик подвески и шин.

Выбор указанных параметров требует специальной методики моделирования динамики курсового движения и вертикальной динамики автомобиля по дорогам со случайным микропрофилем.

Рассматривается построенная на основе пространственной расчетной схемы математическая модель и программное обеспечение для исследования курсового движения и вертикальной динамики легкового автомобиля, позволяющее исследовать влияние основных массогеометрических параметров, а также упругих и диссипативных характеристик подвески и шин на показатели его управляемого курсового движения.

Разработанная математическая модель состоит из двух частей – динамических уравнений, построенных на основе теории Лагранжа второго рода, и уравнений кинематических связей колес автомобиля с опорной поверхностью.

Динамическая модель разработана для случая отсутствия бокового проскальзывания и отрыва от опорной поверхности дороги колес и содержит взаимосвязанные уравнения курсового движения и вертикальной динамики. В качестве независимых были выбраны следующие координаты: x_c , y_c , z_c – перемещения центра масс автомобиля по продольной OX , поперечной OY и вертикальной OZ осям, проходящим через его центр масс; φ – угол поворота остова вокруг проходящей через центр масс вертикальной оси; ψ , ϕ – угловые перемещения остова автомобиля вокруг центральных продольной и поперечной осей.

Для моделирования вертикальных перемещений центров колес автомобиля: z_1 , z_2 , z_3 , z_4 – передних (левого и правого) и задних (левого и правого) при движении по дороге с микропрофилем, математическая модель дополнена четырьмя соответствующими дифференциальными уравнениями.

Моделирование криволинейного движения автомобиля было выполнено на основе теории увода Рокара, согласно которой на каждое колесо автомобиля в процессе его движения действует боковая реакция дороги P_{ki} , пропорциональная углу увода δ_i его шины.

Таким образом, к математической модели курсового движения автомобиля добавляются еще четыре уравнения кинематических связей его колес с опорной поверхностью дороги, необходимые для определения углов увода (δ_1 , δ_2 , δ_3 и δ_4), возникающих при взаимодействии шин с опорной поверхностью дороги в

режиме криволинейного движения. Данные уравнения представлены в виде обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка.

Таким образом, разработанная динамическая модель курсового движения и вертикальной динамики двухосного легкового автомобиля содержит десять дифференциальных уравнений второго порядка и четыре дифференциальных уравнения первого порядка, описывающие кинематические связи его колес с опорной поверхностью.

При проведении расчетных исследований автомобиля траектория его движения задавалась с помощью специальной таблицы, в первой строке которой указываются моменты времени t , в которые на переднее левое управляемое колесо подаются управляющие воздействия водителя в виде скорости $\dot{\theta}_1$ изменения, указываемой во второй строке этой же таблицы. Угол поворота переднего правого колеса θ_2 автомобиля определяется по известной формуле, описывающей кинематику поворота его управляемых колес.

Таким образом, для моделирования курсового движения и вертикальной динамики автомобиля необходимо задать закон изменения угла поворота управляемых колес в виде вышеописанной таблицы и среднее квадратичное отклонение высоты неровностей микропрофиля дороги.

Вертикальные воздействия неровностей микропрофиля опорной поверхности на колеса автомобиля вычисляются по рекуррентному выражению, построенному на основе экспоненциально-косинусной корреляционной функции.

На рис. 1 приведен вариант расчетных исследований курсового движения автомобиля по дороге с микропрофилем по траектории «Переставка».

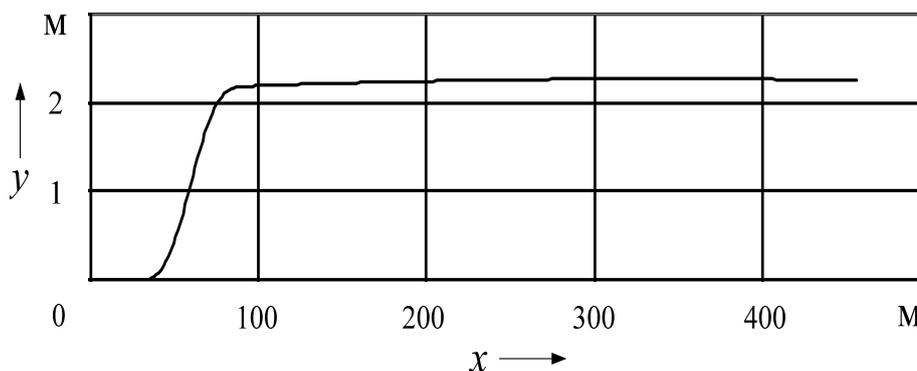


Рис. 1. Диаграмма курсового движения легкового автомобиля в координатах XOY по траектории «Переставка»

Таким образом, разработана адекватная математическая модель курсового движения и вертикальной динамики легкового автомобиля по дорогам с микропрофилем, позволяющая моделировать курсовое движение по заданной траектории и оценить влияние его массогеометрических параметров и упругих характеристик подвески и шин на вертикальную динамику, курсовую устойчивость и управляемость.

УДК 629.13

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КУРСОВОГО ДВИЖЕНИЯ
КОЛЕСНОГО ТЯГАЧА С ПОЛУПРИЦЕПОМ
С НЕГОЛОНОМНЫМИ СВЯЗЯМИ

С. Ю. БИЛЫК, И. С. САЗОНОВ, В. Д. РОГОЖИН
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Колесные машины относятся к неголономным механическим системам. Механика неголономных систем оформилась как самостоятельный раздел аналитической механики (механики Ньютона) в 1894 г. в книге Г. Герца (1857–1894). Ему принадлежат термины «голономные и неголономные системы».

Связью, наложенной на систему материальных точек $B_j (j = 1, 2, \dots, N)$, называется условие, налагаемое в процессе движения системы на координаты точек $x_j (j = 1, 2, \dots, N)$ скорости \dot{x}_j и ускорения \ddot{x}_j . Данные условия выражаются уравнениями, имеющими вид [1]:

$$f(x_j, \dot{x}_j, \ddot{x}_j, t) = 0. \quad (1)$$

Если дифференциальное уравнение, выражающее связь, неинтегрируемое, т. е. его нельзя привести к некоторому эквивалентному соотношению вида

$$f(x_j, t) = C, \quad (2)$$

т. е. только между координатами точек x_j и t , то такая связь называется неголономной. В зависимости от того, входят ли в это уравнение только вторые или первые производные от координат, неголономная связь может быть первого или второго порядка.

Понятие интегрируемости и неинтегрируемости дифференциальных уравнений подразумевает следующее [3]:

– нахождение конечных уравнений только между координатами точек системы в определенной области их изменения, эквивалентных данным дифференциальным уравнениям;

– нахождение координат $x_j = \varphi_j(t)$ как определенных функций, удовлетворяющих данной неголономной связи, представленной дифференциальным уравнением.

Неголономная связь может быть неинтегрируемой и интегрируемой.

Например, связь

$$x \cdot \dot{x} + y \cdot \dot{y} + z \cdot \dot{z} = 0. \quad (3)$$

голономна, т. к. из ее уравнения следует уравнение $x^2 + y^2 + z^2 = 0$, т. е. конечное соотношение, выражающее зависимость между координатами.

При решении инженерных задач, например, исследование динамики движения колесных машин, часто приходится решать задачи определения законов движения в зависимости от времени, а также определения реакций связей качения колес с опорной поверхностью с целью определения тяговой динамики и устойчивости курсового движения. Математические модели, позволяющие решение поставленных задач, включают динамические уравнения движения машин и уравнение кинематических связей, накладываемых на качение колеса. При этом, наибольшую сложность представляет создание уравнений кинематических связей [2].

Цель исследований – разработать математическую модель движения неголономной механической системы, состоящей из колесного тягача и колесного полуприцепа с целью исследования кинематических параметров его движения и определения реакций связей колес с опорной поверхностью.

Нами получена совокупность динамических уравнений и уравнений кинематических связей качения колеса, которая позволяет моделирование движения колесного тягача с прицепом и определение боковых сил, действующих на колеса тягача и прицепа, а также определить мощностные потери, возникающие из-за возникновения увода колес при криволинейном движении.

Разработана методика составления динамических уравнений криволинейного движения колесного тягача с полуприцепом (поезд) и уравнений неголономных связей колес поезда. Методика позволяет определить закон движения поезда по любой криволинейной траектории при заданных законах поворота управляемых колес тягача, моментах, передаваемых от силовой установки к ведущим колесам тягача, реакции связи колес с опорной поверхностью (боковые силы, действующие на колеса), а также определить потери мощности, связанные с возникновением углов увода колес.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление движением колесных машин: монография / С. Н. Поддубко [и др.]; под общ. ред. И. С. Сазонова. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – 511 с.: ил.
2. **Ким, В. А.** Методология создания адаптивных САБ АТС на основе силового анализа: монография / В. А. Ким. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 346 с.
3. **Лагранж, Ж.** Аналитическая механика / Ж. Лагранж. – Москва: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1950. – 440 с.

УДК 629.113

СОСТАВЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА АВТОМОБИЛЯ

В. В. ГЕРАЩЕНКО, Е. Ю. ШИДЛОВСКИЙ, Н. А. КОВАЛЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Современные автомобили и их агрегаты снабжаются системами автоматического управления, при проектировании и расчете которых используются такие динамические характеристики агрегатов автомобиля, как переходные характеристики, частотные характеристики и передаточные функции. Наиболее информативными из них являются передаточные функции агрегатов. На расчетных схемах систем автоматического управления автомобилем передаточные функции изображаются в виде прямоугольника, внутри которого записывается передаточная функция данного агрегата или автомобиля в целом. При этом передаточные функции предварительно определяются для каждого агрегата: двигателя внутреннего сгорания (ДВС), коробки передач, главной передачи и т. п. Эти агрегаты автомобиля, представленные в виде совокупности элементов, определенным образом соединенных между собой, составляют структурную схему автомобиля с системой автоматического управления, а каждый ее элемент назовем структурным.

Применительно к динамическому расчету систем автоматического управления автомобилем, передаточная функция определяет математическую операцию, которая совершается над входным параметром данного агрегата для получения его выходного параметра. Например, на рис. 1 приведен структурный элемент двигателя внутреннего сгорания. Входным параметром является момент на его валу, а выходным – частота вращения вала.

На рис. 1 приведено условное изображение структурного элемента двигателя внутреннего сгорания системы автоматического управления, работающей по возмущению, где $W(p)$ – изображение на комплексной плоскости по Лапласу частоты вращения вала двигателя; $M_{сп}(p)$ – изображение приведенного к валу двигателя момента сопротивления движению автомобиля на комплексной плоскости; $W_d(p)$ – передаточная функция двигателя внутреннего сгорания, равная отношению изображения выходной величины $W(p)$ к изображению входной величины $M_{сп}(p)$ при нулевых начальных условиях работы автомобиля; p – комплексное число.

Оно определяется:

$$p = \alpha \pm j\beta,$$

где α – действительная часть комплексного числа p ; j – мнимое число; β – мнимая часть комплексного числа p .

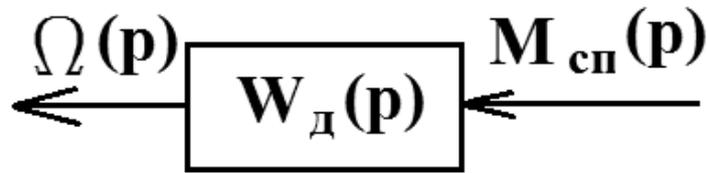


Рис. 1. Структурный элемент двигателя внутреннего сгорания

Аналогично рассмотрим структурный элемент – коробку передач (рис. 2). На нем приведено условное изображение структурного элемента коробки передач автомобиля. Входной величиной является изображение момента, приведенного ко вторичному валу коробки передач $M_{спкп}(p)$. Этот момент преобразуется структурным элементом в соответствии с $W_{кп}(p)$ по величине и времени, т. к. передаточная функция коробки передач определяется как отношение изображения момента сопротивления, приведенного к валу двигателя $M_{спд}(p)$ к изображению момента сопротивления, приведенного ко вторичному валу коробки передач $M_{спкп}(p)$.

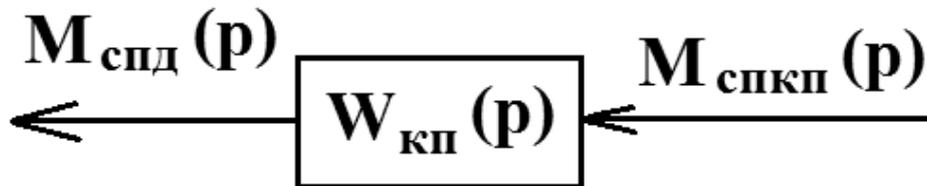


Рис. 2. Структурный элемент коробки передач автомобиля

Переход от моментов, действующих на валах автомобиля, к функции комплексного переменного осуществляется с помощью преобразования Лапласа:

$$M(p) = \int_0^{\infty} M(t)e^{-pt} dt .$$

Аналогично составляются структурные элементы и для остальных элементов трансмиссии автомобиля. Подставляя значения момента во времени под знак интеграла, получаем изображение момента по Лапласу. Это позволит выполнить динамический расчет автомобиля.

УДК 656.072

МАСШТАБ АВТОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА

М. Н. ГРИНЕВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Автотранспортная система региона – это сложный механизм, состоящий из отдельных элементов (предприятий и предпринимателей, выполняющих грузовые и пассажирские перевозки). От её функционирования зависят результаты работы различных отраслей экономики.

Исторически сложилась система показателей, применяемых на автомобильном транспорте. Чаще она используется для оценки конкретного автомобиля и предприятия.

На уровне региона оценивать работу автотранспортной системы целесообразно не только с помощью существующих показателей. Необходимо разработать такие показатели, которые можно будет использовать в качестве инструмента при принятии управленческих решений по региональному развитию.

Одним из таких показателей может выступать показатель масштаба автотранспортной системы региона. При его определении предлагается учитывать ряд показателей: объем перевозок Q ; грузооборот P ; общий пробег L . На их основе можно определить комплексный показатель работы автотранспортной системы региона – «приведенные часы», который позволит сравнить разные регионы по масштабу работы автотранспорта.

Для сопоставимости результатов функционирования системы доставки в регионе по периодам времени целесообразно использовать безразмерную шкалу оценки от 0 до 1, применение которой позволяет выявить тенденции развития рассматриваемого объекта и разработать эффективные управленческие решения на основе расчета интегрального показателя масштаба.

Алгоритм формирования интегрального показателя масштаба включает в себя ряд этапов.

Этап 1. Выбор исходных данных по периодам: Q , P , L .

Этап 2. Определение \min и \max значений показателей.

Этап 3. Преобразование показателей к безразмерной шкале от 0 до 1 с учетом их направленности.

Этап 4. Обоснование весовых коэффициентов a_i с учетом полезного времени нахождения груза и автомобиля в системе доставки.

Этап 5. Нахождение величины интегрального показателя масштаба системы доставки.

Таким образом, в основу оценки масштаба функционирования автотранспортной системы региона закладывается следующий принцип: «Время – результат».

УДК 629.113

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВС В ДИНАМИКЕ

Н. А. КОВАЛЕНКО, В. В. ГЕРАЩЕНКО, Е. Ю. ШИДЛОВСКИЙ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Существующие стенды для диагностирования автомобильных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) по мощностным характеристикам имеют ограниченные функциональные возможности, т. к. нагружение двигателей в процессе диагностирования производится постоянным по величине моментом. В реальных же условиях эксплуатации двигатели нагружены переменным моментом, близким к синусоидальному. Поэтому и стенд для диагностирования ДВС должен обеспечивать возможность воспроизводить на его валу нагрузки с заданными значениями синусоидальной составляющей момента.

Авторами предлагается новая схема диагностического стенда, позволяющая в стендовых условиях определять динамические характеристики ДВС при его нагружении переменным моментом, изменяющимся по синусоидальному закону.

Диагностируемый двигатель 1 устанавливают на стенд, содержащий электрический тормоз 2, карданный вал 3 с установленными на нем датчиками крутящего момента 4 и частоты вращения 5, соединяющий валы двигателя 1 и электрического тормоза 2 и снабженный двухканальным осциллографом 6 (рис. 1). Для задания режимов нагружения и измерения динамических характеристик ДВС стенд снабжен датчиками момента 4 и частоты вращения 5.

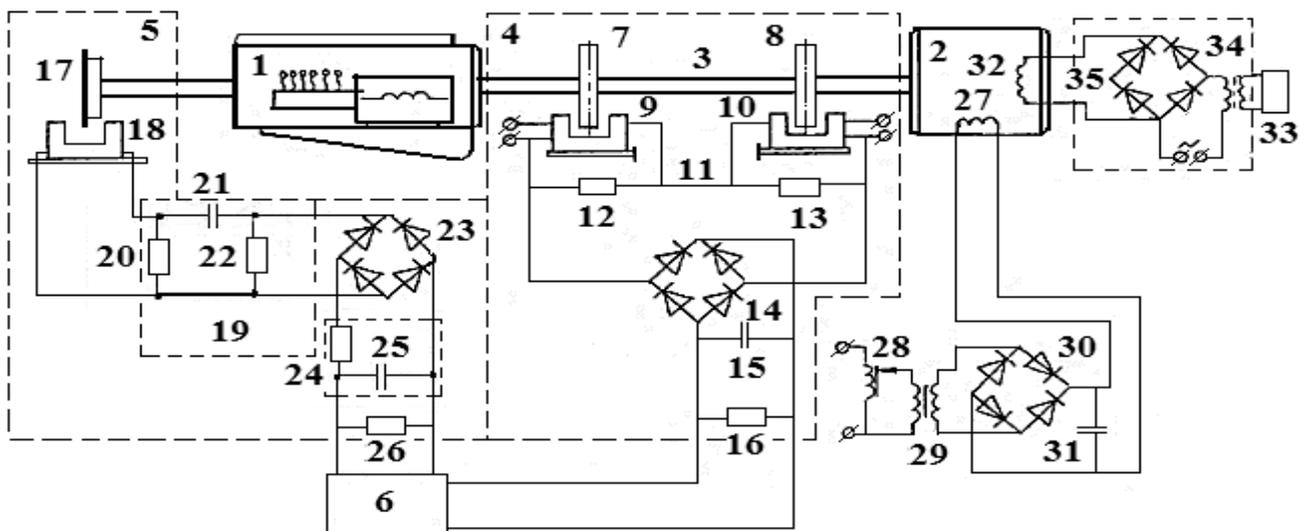


Рис. 1. Общая схема стенда для диагностирования ДВС

Датчик момента 5 включает в себя два металлических диска 7, 8, преобразователи импульсные щелевые 9, 10, установленные вблизи упругого вала 3 по его концам с обеспечением возможности свободного вхождения

выступов металлических дисках в щели импульсных преобразователей, сумматор 11, выполненный на резисторах 12, 13, выпрямитель 14, конденсатор 15 и выходной резистор датчика момента 16. Выводы выходного резистора 16 датчика момента соединены с первым входом осциллографа 6. При диагностировании, на первый вход осциллографа подается напряжение, пропорциональное моменту на валу двигателя.

Датчик частоты вращения вала двигателя 5 включает в себя металлический диск 17, импульсный преобразователь щелевой 18, дифференцирующую цепь 19, выполненную на резисторе 20, конденсаторе 21 и резисторе 22, выпрямитель 23, резистор 24, конденсатор 25 и выходной резистор 26, выводы которого соединены со вторым входом осциллографа. При диагностировании напряжение с выхода датчика частоты вращения 5 пропорционально частоте вращения вала двигателя.

Постоянные составляющие нагружающего момента при каждом испытании на стенде воспроизводятся подачей напряжения в первую обмотку 27 электротормоза 2. Задающая цепь выполнена на автотрансформаторе 28, трансформаторе 29, выпрямителе 30 и конденсаторе 31, при этом выводы конденсатора соединены с обмоткой 27 электротормоза 2. Синусоидальные составляющие крутящего момента воспроизводятся подачей напряжения в обмотку 32, которое формируется цепью, включающей генератор синусоидальных колебаний 33, магнитный усилитель 34 и выпрямитель 35. При этом выход выпрямителя соединен с обмоткой 32.

Таким образом, на упругом валу 3 стенда появляется крутящий момент, равный сумме моментов, воспроизводимых от первой и второй обмотки электротормоза. Это позволяет оценивать различные динамические характеристики ДВС, и, в первую очередь, амплитудно-частотную, поскольку, как показали исследования, в процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания их динамическая амплитудно-частотная характеристика претерпевает значительные изменения из-за появления неисправностей. Сама характеристика определяется как зависимость отношения амплитуд синусоидальных колебаний частоты вращения вала двигателя к постоянной амплитуде синусоидальных колебаний вращающего момента на его валу от угловой частоты колебаний момента и частоты вращения вала ДВС от угловой частоты колебаний.

Так как на валах диагностического стенда воспроизводятся моменты, изменяющиеся по синусоидальному закону в соответствии с уравнением

$$M = M_0 + A \sin(\omega t),$$

где M_0 – постоянная составляющая момента; A – амплитуда синусоидальной составляющей момента; ω – угловая частота колебания момента, то обеспечится возможность на таком стенде определять динамическую характеристику двигателя автомобиля.

УДК 621.436.038

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ГРУЗОВОГО
АВТОМОБИЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСЕВОМ БИОТОПЛИВЕ

А. В. КУРАПИН, Н. А. СМИРНОВ

Волгоградский государственный технический университет
Волгоград, Россия

В настоящее время дизельные двигатели внутреннего сгорания остаются наиболее распространенными силовыми установками для грузовых автомобилей. При этом к ним предъявляются все более ужесточающиеся требования по экономичности и токсичности отработавших газов.

Одним из направлений совершенствования дизелей является использование альтернативных смесевых биотоплив (БТ) на основе растительных масел [1]. В России основным видом растительного масла, которое используется в пищевой и химической промышленности, является подсолнечное масло (ПМ).

ПМ может использоваться в качестве альтернативного топлива для дизелей. Однако, для его применения в чистом виде необходимо решение проблем, связанных с его прокачиваемостью по топливной системе и распыливанием, т. к. при температуре ниже $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ оно теряет подвижность, поэтому целесообразно использование ПМ в смесях с дизельным топливом (ДТ), либо в виде сложных эфиров, получаемых при обработке этого масла этанолом или метанолом. Эти топлива имеют лучшие характеристики текучести и распыливания. Некоторые свойства подсолнечного масла как топлива отличаются от свойств ДТ (табл. 1). Низшая теплота сгорания ПМ ниже, чем у ДТ, что объясняет заметное увеличение его расхода по сравнению с ДТ при одинаковой мощности. С другой стороны, плотность ПМ выше, следовательно, его масса при впрыскивании также будет выше. Также температура воспламенения ПМ намного выше, чем у ДТ, что вызывает значительные трудности при воспламенении на старте.

Главное преимущество подсолнечного масла как БТ в том, что его, как и любое другое масло, можно смешивать с ДТ в любой пропорции и можно применять в дизелях без радикального изменения их конструкции и инфраструктуры. Что касается высокой вязкости подсолнечного масла, ее можно уменьшить химическим способом переработки для использования в БТ с помощью существующих методов: смешиванием, созданием микроэмульсии, пиролиза и трансэтерификации. Некоторые работы показывают, что смешивание 20...40 % порции подсолнечного масла с ДТ дает хорошие результаты. Такое топливо влияет на ресурс двигателя в меньшей степени.

С целью оценки показателей автомобильного дизеля при использовании смесей ДТ с ПМ по методике [2] были проведены расчеты для дизеля 4ЧН11,5/11,5 номинальной мощностью 90 кВт при 2200 мин⁻¹. Физико-

химические параметры смесей ДТ и ПМ, для которых проводились расчеты, приведены в табл. 1.

Табл. 1. Физико-химические свойства смесей ДТ и ПМ

Физико-химическое свойство	Топливо				
	ПМ	70 % ПМ 30 % ДТ	50 % ПМ 50 % ДТ	30 % ПМ 70 % ДТ	ДТ
Состав топлива, % по массе:					
С	77	80	82	84	87
Н	12	122	123	124	126
О	11	7,8	5,7	3,6	0,4
Теоретически необходимое количество воздуха, кг воздуха/кг топлива	12,62	13,18	13,53	13,89	14,45
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	37274	38846	39856	40866	42437
Коэффициент избытка воздуха	1,9	1,85	1,8	1,75	1,7

Результаты расчетов представлены на рис. 1 и 2.

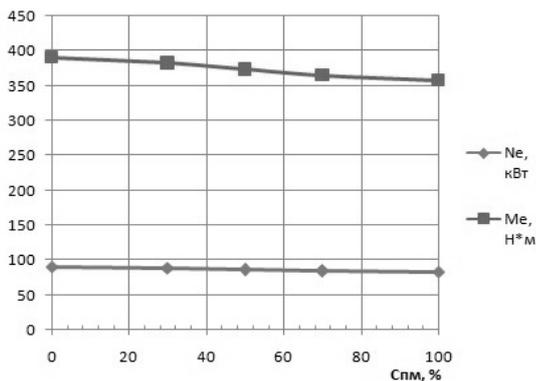


Рис. 1. Зависимость эффективной мощности N_e и эффективного крутящего момента M_e от доли ПМ в смеси $C_{пм}$

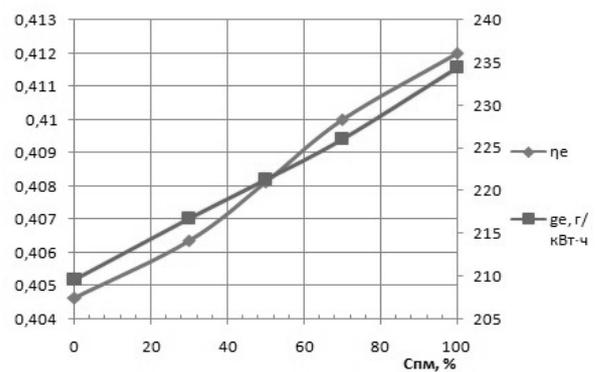


Рис. 2. Зависимость эффективного КПД η_e и удельного эффективного расхода топлива g_e от доли ПМ в смеси $C_{пм}$

Анализ результатов показывает, что N_e и M_e уменьшаются на 8,4 %, g_e увеличивается на 11,8 %, η_e увеличивается на 1,8 % с увеличением процентного содержания подсолнечного масла $C_{пм}$ в дизельном топливе. Рост η_e объясняется большим уменьшением низшей теплоты сгорания смесей (на 13,9 %) по сравнению с ростом g_e .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Работа дизелей на нетрадиционных топливах: учебное пособие / В. А. Марков [и др.]. – Москва: Легион-Автодата, 2008. – 464 с.
2. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учебное пособие для вузов / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – 4-е изд., стер. – Москва : Высшая школа, 2008. – 496 с.

УДК 629.113

ПОСТРОЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВС

В. П. ЛОБАХ, Н. А. КОВАЛЕНКО, О. А. ПОНОМАРЕВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В существующих методах и диагностических стендах создают нагрузку двигателя внутреннего сгорания (ДВС), как правило, постоянным по значению моментом, что приводит к значительным погрешностям при диагностировании, неисправности выявляются не полностью, из-за чего автомобили работают неэффективно. Разработанные авторами ранее методы и стенды с переменным нагружением ДВС крутящим моментом синусоидальной или случайной формы и применением в качестве диагностических параметров таких динамических характеристик ДВС как амплитудно-частотная, переходная и статистическая в большей степени отображают реальный процесс работы ДВС, что объясняется тем, что при эксплуатации они динамически нагружаются переменным моментом сопротивления. Но несмотря на преимущества этих методов, они не нашли широкого применения, на наш взгляд, из-за недостаточного количества информации по указанным вопросам и уровня подготовки специалистов. Поэтому авторами были проведены дальнейшие исследования по разработке метода и стенда диагностирования ДВС с применением его амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). Кроме того, АЧХ необходимо использовать для получения различных величин (постоянная времени, коэффициент усиления и др.) при определении передаточных функций автомобиля и его агрегатов (коробки передач, главная передача и др.), которые существенно влияют на качество конструкции и эксплуатационные свойства автомобиля и его агрегатов (безотказность, долговечность, экономичность).

Определение передаточных функций:

$$|W(j\omega)| = \frac{\kappa}{\sqrt{1 + T^2\omega^2}}, \quad (1)$$

где T – постоянная времени; κ – коэффициент усиления; ω – угловая частота.

В предлагаемых тезисах рассмотрен порядок получения и построения экспериментальной АЧХ с помощью разработанного нами специального стенда, состоящего из диагностируемого ДВС, электромагнитного тормоза с двумя обмотками для создания постоянного и переменного (синусоидального) моментов нагружения ДВС.

Известно, что при возрастании момента сопротивления вращению вала двигателя на величину ΔM частота вращения вала снижается на величину Δn .

Для построения АЧХ необходимо, изменяя частоту колебаний синусоидальной составляющей вращающего момента $M(A)$ при постоянной его амплитуде, получить значения амплитуды колебаний частоты вращения $n(B)$ вала, определяемых коэффициентом усиления κ :

$$\kappa = n/M = B/A. \quad (2)$$

Зависимость (рис. 1) отношения амплитуды B синусоидальных колебаний частоты вращения вала ДВС к постоянной амплитуде A синусоидальных колебаний вращающего момента на его валу от угловой частоты ω колебаний этих параметров представляет собой АЧХ.

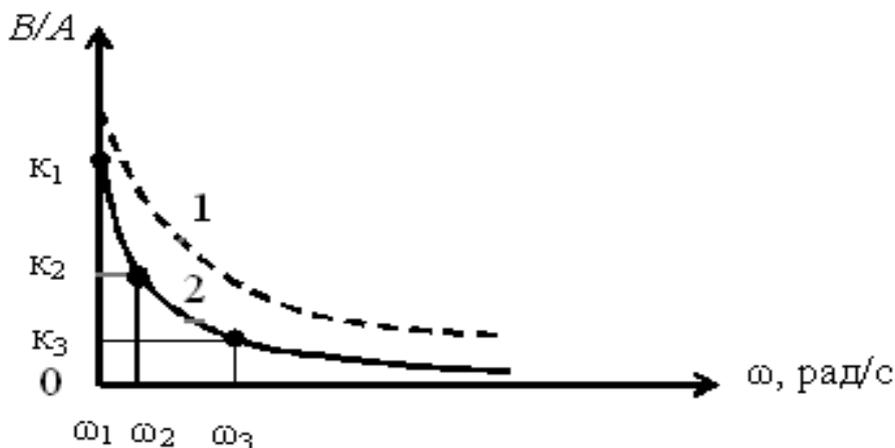


Рис. 1. АЧХ неисправного 1 и исправного 2 ДВС

Для построения АЧХ ДВС (см. рис. 1) запускают и нагружают постоянным крутящим моментом, равным примерно половине номинального крутящего момента ДВС. Дают приращение момента ΔM (A_1) примерно на 10 % от номинального и регистрируют изменение частоты вращения Δn (B_1) вала. Выполняют операцию деления изменения частоты вращения Δn вала на величину изменения момента ΔM и получают первую точку АЧХ с ординатой $\kappa_1 = B_1 / A_1$ при частоте $\omega_1 = 0$ синусоидальных колебаний момента.

Далее дополнительно нагружают ДВС моментом синусоидальной формы, амплитуда которого меньше постоянной составляющей момента A_1 , задают частоту синусоидальных колебаний ω_2 момента и измеряют амплитуду синусоидальной составляющей частоты B_2 вращения вала. Выполняют операцию деления амплитуды B_2 колебаний частоты вращения вала на момент A_1 и получают ординату второй точки $\kappa_2 = B_2 / A_1$ АЧХ при частоте колебаний момента ω_2 .

Увеличив частоту ω_3 синусоидальной составляющей момента, измеряют амплитуду синусоидальной составляющей частоты B_3 вращения вала и, выполняя аналогично операцию деления, получают ординату третьей точки $\kappa_3 = B_3 / A_1$ АЧХ. Аналогично определяют координаты еще нескольких точек, по которым строят АЧХ ДВС. При этом диагноз устанавливается сравнением замеренной АЧХ исследуемого ДВС с нормативной, соответствующей исправному ДВС (см. рис. 1), при фиксированном значении частоты колебаний момента.

УДК 621.43

ПРОБЛЕМАТИКА ЗАПУСКА ДВС ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
В УСЛОВИЯХ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРЮ. В. МАШИН, В. О. ВЕСЕЛОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Каждый автолюбитель сталкивался с проблемой запуска двигателя внутреннего сгорания при отрицательных температурах. Для старта двигателя в условиях пониженных температур требуется не только исправное техническое состояние автомобиля, но и грамотные действия водителя.

На успешный зимний запуск двигателя внутреннего сгорания влияет целый комплекс технических факторов: текучесть моторного масла; компрессия двигателя; искрообразование; состояние аккумуляторной батареи и т. д. Действие данных факторов при отрицательной температуре окружающей среды проявляется одновременно и затрудняет весь процесс запуска двигателя. Опыт эксплуатации показывает, что уже при температуре $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ емкость аккумуляторной батареи снижается до 40 % от своей первоначальной, а сопротивление крутящему моменту возрастает в 2 раза (при использовании всесезонного масла).

Чем ниже температура окружающей среды, тем гуще становится масло, и стартеру сложнее запустить двигатель. Нормальный старт двигателя возможен в том случае, если смазка ещё не загустела. Вязкость моторного масла при низких температурах определяют такие показатели, как «проворачиваемость» и «прокачиваемость». Обеспечение требуемого крутящего момента для запуска двигателя при отрицательных температурах возможно за счет использования синтетических и полусинтетических масел. Например, для масел категории 0W30 уровень низкотемпературной вязкости – это первая цифра «0», нижний предел прокачиваемости $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, а проворачиваемость двигателя возможна до $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Следовательно, такое моторное масло будет хорошо работать при температурах до $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Правильный подбор масла для зимнего сезона значительно продлит ресурс двигателя, поскольку маслу за кратчайшее время необходимо достичь всех пар трения. Это возможно при использовании достаточно текучего масла, которое должно свободно перемещаться по узким каналам системы.

Если замена масла производится непосредственно перед началом зимнего сезона, подбирать его необходимо с учетом показателя низкотемпературной вязкости. Для каждого вида масла путем лабораторных исследований определены минимальные температуры, при которых можно безопасно запускать двигатель, т. е. проворачивать его коленвал. Однако с повышением температуры окружающей среды (весенне-летний сезон) использование масла с низкими параметрами вязкости негативно сказывается на работе двигателя.

Поэтому целесообразно осуществлять замену масла и к весенне-летнему сезону.

Для облегчения запуска двигателя в условиях пониженных температур можно использовать существующие специальные устройства для подогрева двигателя, топлива, фильтров и элементов топливной системы. Как правило, такие системы обладают большой мощностью, запитываются от штатного аккумулятора и устанавливаются в основном на грузовых автомобилях. Использование данных систем на легковых автомобилях в течение продолжительного времени невозможно ввиду существенного энергопотребления и быстрой разрядки аккумуляторной батареи.

Снижение стартерного тока при пониженных температурах и замедление химической реакции в аккумуляторной батарее являются определяющими факторами при попытке запуска двигателя. Опытные автолюбители рекомендуют перед пуском холодного двигателя поместить аккумулятор на несколько часов в теплое помещение для восстановления его емкости. Также предлагают на несколько секунд включить ближний свет, однако использование света является низкоэффективным способом, т. к. вырабатываемой приборами мощности недостаточно даже для оттаивания инея на корпусе АКБ и приводит к более глубокой разрядке аккумулятора. Перенос аккумулятора в теплое помещение является эффективным методом, особенно если сделать это заблаговременно, т. к. отогреть уже замерзший аккумулятор очень проблематично.

На отогрев аккумулятора требуется от одного часа (в воде с постепенным повышением ее температуры) до 4...6 ч (без проведения дополнительных специальных мероприятий). После размораживания аккумулятора рекомендуется его зарядить. Следовательно, для восстановления работоспособности АКБ понадобится не менее 2 ч. Экстренный отогрев аккумулятора в домашних условиях оправдывает себя, но злоупотреблять этим не стоит, т. к. значительно снижается ресурс его работы. Поэтому целесообразным является предварительный демонтаж аккумулятора и его размещение в теплом помещении. Ежедневно демонтировать (монтировать) аккумулятор с автомобиля в условиях пониженных температур, учитывая конструктивные особенности его расположения и массу (около 15 кг), не каждому автолюбителю под силу. Поэтому уместным является создание оптимальных температурных условий в месте непосредственного расположения аккумуляторной батареи.

Сложности запуска двигателя при эксплуатации легкового автомобиля в условиях низких температур указывают на необходимость разработки автономной энергоэффективной системы подогрева масляной и топливной систем легкового автомобиля в совокупности с использованием подогреваемого термобокса для аккумуляторной батареи.

Цели продолжения исследований в этом направлении – определение оптимальных температурных характеристик, подбор термоэлементов и компоновка системы подогрева.

УДК 629.113

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СКОБЫ ТОРМОЗНОГО МЕХАНИЗМА
С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРА НАГРУЖЕНИЯ

А. С. МЕЛЬНИКОВ, А. А. МЕЛЬНИКОВ, А. С. АНТОНОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Характер силовой нагрузки, действующей на тормозную скобу, создает изгибающий момент на участке скобы, очерченном по дуге окружности радиуса R . Максимальное значение изгибающего момента возникает, когда угол сопряжения между участками скобы достигает $\varphi = 90^\circ$. Средний участок скобы испытывает внецентренное растяжение от распирающих сил Q . Так как длина среднего участка CD невелика по сравнению с его поперечными размерами, его прогиб настолько мал, что им можно пренебречь по сравнению с первоначальным эксцентриситетом.

Максимальные напряжения скобы при данном характере нагружения возникают в местах сопряжения, а также в крайних точках скобы, которыми скоба воздействует на тормозные колодки.

Для повышения жесткости и прочности скобы необходимо введение в конструкцию скобы дополнительных элементов, расположенных в вертикальной плоскости относительно средней части скобы. Дополнительные элементы при этом могут иметь прямоугольное либо трапецеидальное сечение с основанием, расположенным на поверхности среднего участка скобы.

В целях уменьшения перемещений крайних точек скобы при воздействии распирающих нагрузок дополнительные элементы должны быть продлены на всей поверхности скобы, при этом допускается сведение дополнительных элементов повышения жесткости скобы в одну область в крайних точках скобы.

Введение в конструкцию тормозной скобы с учетом возникающих напряжений дополнительных элементов жесткости позволило уменьшить напряжения и перемещения, возникающие в скобе.

Вследствие проведенных изменений конструкции скобы при максимальном напряжении изгиба, действующим при распирающем усилии, ширине $b = 0,049$ м и высоте $h = 0,015$ м средней части скобы, запас прочности стальной скобы составляет 5,6, алюминиевой скобы 3,8. При этом перемещение крайних точек скобы, если она выполнена из алюминиевого сплава, при ее раскрытии составляет $\delta_A = 0,0001327$ мм, что значительно меньше допустимого.

УДК 629.113

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОТОЦИКЛА

А. С. МЕЛЬНИКОВ, Е. А. МОИСЕЕВ, А. А. МЕЛЬНИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Современные антипробуксовочные системы, устанавливаемые на мотоцикл, свою конструкцию и принцип действия получили из развития АБС, чем обусловлены их алгоритмы управления, действующие на основе кинематических параметров [1–3]. Производители мотоциклов довольно часто совмещают систему АБС (антиблокировочную систему) и ПБС (противобуксовочную систему). Такие действия связаны с работой ПБС на основе источников информации, в качестве которых выступают датчики частоты системы АБС.

Низкая информативность кинематических параметров, получаемых от датчиков системы АБС, для функционирования алгоритма управления системой ПБС потребовало включения в систему датчика, измеряющего величину углового ускорения остова мотоцикла, что позволило вмешиваться на мотоциклах в работу ходовой части и управлять перераспределением величины нормальных реакций по колесам мотоцикла путем изменения степени жесткости амортизаторов в передней и задней подвесках [4]. Для управления жесткостью амортизаторов на мотоциклы стали устанавливать компрессоры и амортизаторы с изменяемой жесткостью путем повышения или понижения в них давления. Ряд производителей пошел дальше и установил управляемый демпфер на управляемое колесо. В концерне Honda разработали и внедрили в серийное производство систему подруливания, которая корректирует изменение угла поворота управляемого колеса и величину усилия, необходимого для изменения положения рулевого колеса в зависимости от скорости движения транспортного средства.

С целью отслеживания и управления углом между векторами линейных скоростей центра масс на мотоцикле ряд производителей предпринял шаги по установке в систему трехосного акселерометра и гироскопа.

Следует отметить, что большинство производителей в своей системе динамической стабилизации отошли от попыток установить гироскоп, заменив его на датчик угла наклона корпуса мотоцикла и датчики, измеряющие угловое ускорение корпуса мотоцикла относительно центра масс в процессе набора скорости и торможения.

Анализ критериев устойчивости движения транспортных средств позволило установить, что повышение устойчивости транспортного средства происходит в результате введения корректирующего подруливания в алгоритм управления системой динамической стабилизации, при этом выполняются функции по управлению крутящим моментом, реализуемым на ведущем колесе мотоцикла,

величиной фактически реализуемого тормозного момента, снижением кренов остова мотоцикла и предельными значениями раскачивания подвески в процессе разгона и торможения. Данные параметры, заложенные в систему динамической стабилизации мотоцикла, позволили значительно повысить устойчивость на различных режимах движения в процессе управления транспортным средством и повысить безопасность движения в сложных дорожных условиях.

В ходе работы были рассмотрены системы активной безопасности, функционирующие на основе алгоритмов управления, использующих в качестве источников информации данные о величине сил, действующих на колеса мотоцикла, кинематические параметры и регулирующие их путем управления.

Рассмотрены системы динамической стабилизации, направленные на повышение курсовой устойчивости мотоцикла в процессе регулирования крутящего и тормозного моментов, подведенных к колесам мотоцикла, управления ходовой частью с помощью отслеживания углов наклона остова и величины ускорения мотоцикла в ходе разгона и торможения, значения величины коэффициента относительного скольжения колеса в пятне контакта с опорной поверхностью.

В ходе анализа алгоритмов управления определены основные особенности функционирования существующих алгоритмов управления систем активной безопасности, функционирующих на основе кинематических параметров, и выявлена тенденция их развития в направлении усложнения, повышения стоимости и сложности производства и обслуживания из-за использования в конструкции дорогостоящих материалов и компонентов.

В результате анализа алгоритмов управления выявили потребность в разработке алгоритмов управления антиблокировочной и противобуксовочной системами, действующими на основе первичных факторов, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью, в качестве таких источников приняты фактически реализуемый тяговый или тормозной момент и величина боковых сил в пятне контакта колеса с опорной поверхностью [5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление движением колесных машин: монография / С. Н. Поддубко [и др.]; под общ. ред. И. С. Сазонова. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2018. – 511 с.: ил.
2. Тормозные системы колесных машин / И. С. Сазонов [и др.]; под общ. ред. И. С. Сазонова. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2011. – 346 с.: ил.
3. **Ким, В. А.** Методология создания адаптивных САБ АТС на основе силового анализа: монография / В. А. Ким. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2003. – 346 с.
4. Test Motorrad-Bremssysteme mit ABS [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ADAC.de/infotest/motorrad-rollersicherheit-praxis_ABS_beim_MotorradABS-beim-Motorrad.aspx?ComponentId=173604&SourcePageId=51457. – Data of access: 22.01.2021.
5. **Петренко, М. Л.** Компоненты антиблокировочной системы дорожного мотоцикла «МИНСК» на основе силовых факторов / М. Л. Петренко // Актуальные вопросы машиноведения. – 2020. – Вып. 9. – С. 68–74.

УДК 629.113

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЧЕСКОГО ТОРМОЗА ДВУХКОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

М. Л. ПЕТРЕНКО, С. Ф. ШАШЕНКО, С. А. МЕДВЕДЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Повышение количества двухколесных транспортных средств на дорогах общего пользования и рост их скорости ведут к повышению требований в области безопасности движения. Растет потребность в создании и развитии систем активной безопасности для двухколесных транспортных средств с объемом менее 125 см³, например: мотороллеров, скутеров и электровелосипедов.

Существующие системы активной безопасности созданы с применением гидравлических тормозных механизмов и действуют на основе кинематических параметров, относительного проскальзывания колеса в пятне контакта [1, 2].

Альтернативой дорогостоящих и сложных в производстве гидравлических механизмов выступают механические тормозные устройства для двухколесных транспортных средств [3]. Требуется создание и совершенствование конструкций таких механизмов. Нами был разработан дисковый тормозной механизм, адаптивный к системам активной безопасности (рис. 1), функционирующим на основе силовых источников информации [4].

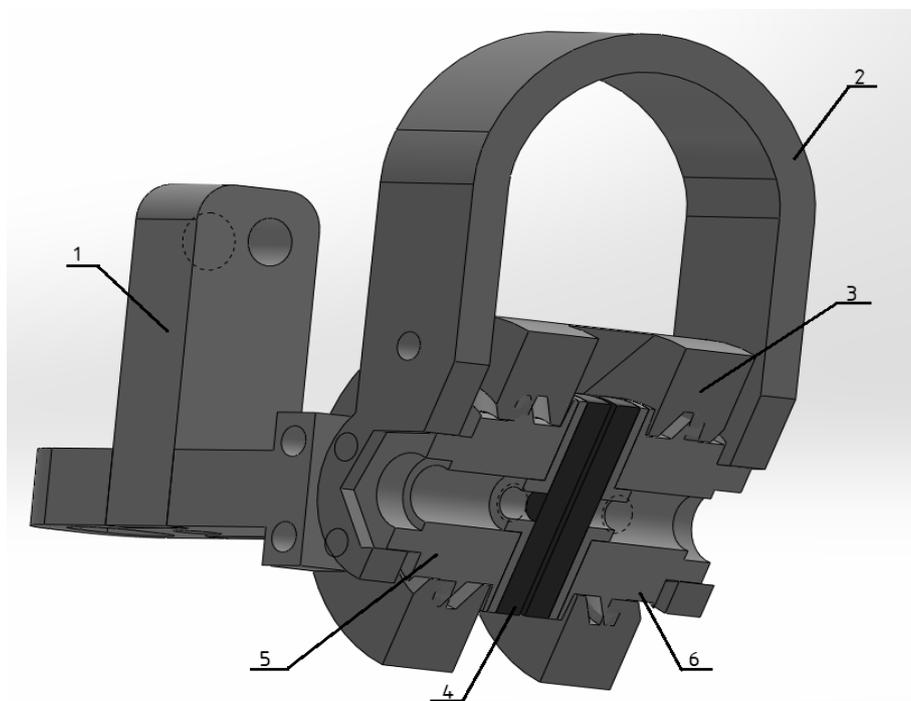


Рис. 1. Механический дисковый тормоз [5]: 1 – крепление тормоза; 2 – скоба; 3 – корпус; 4 – тормозная колодка; 5 – левый прижимной винт; 6 – правый прижимной винт

Разработанная конструкция дискового механического тормоза позволяет создавать требуемые тормозные моменты на колесе, обладая при этом малыми габаритами.

С целью проверки разработанной конструкции на прочность было выполнено компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния корпуса тормозного механизма в программной среде ANSYS методом конечно-элементного анализа. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

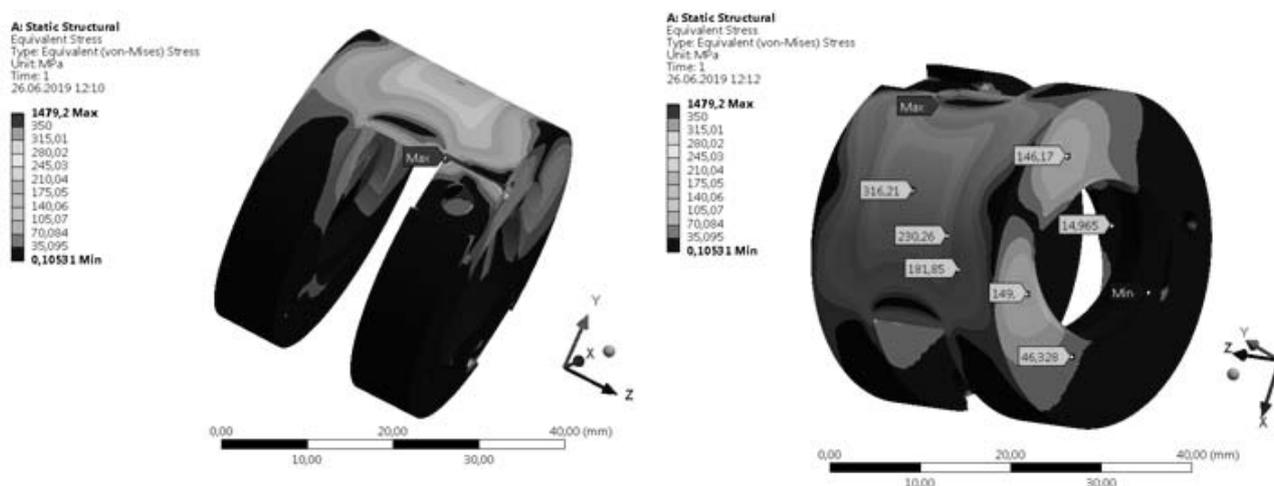


Рис. 2. Эквивалентные напряжения

Наиболее опасные напряжения испытывают точки примыкания внутренних поверхностей корпуса тормозного механизма. По результатам проведенного моделирования в программной среде ANSYS была доработана конструкция корпуса, что позволило повысить прочность конструкции, тем самым усилив корпус в наиболее напряженных точках и снизив материалоемкость на участках, не испытывающих напряженного состояния.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление движением колесных машин / С. Н. Поддубко [и др.]; под общ. ред. И. С. Сазонова. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2018. – 510 с.: ил.
2. Основы создания САБ АТС на основе силового анализа / И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2016. – 118 с.: ил.
3. **Петренко, М. Л.** Теоретические основы создания системы следящего торможения велосипеда «Аист» / М. Л. Петренко, В. А. Ким // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. – 2019. – Вып. 8. – С. 26–29.
4. **Петренко, М. Л.** Компоненты антиблокировочной системы дорожного мотоцикла «МИНСК» на основе силовых факторов / М. Л. Петренко // Актуальные вопросы машиноведения. – 2020. – Вып. 9. – С. 68–74.
5. Дисковый тормозной механизм: заявка ВУ 20170437 / И. С. Сазонов, В. А. Ким, Е. И. Марукович, М. Л. Петренко, С. Ю. Билык. – Опубл. 28.12.2017.

УДК 629.113

СИЛОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ ДВУХКОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

М. Л. ПЕТРЕНКО, А. В. ЮШКЕВИЧ, Г. С. МИГУРСКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Двухколесные транспортные средства по своей конструкции являются изначально менее устойчивыми, чем автомобили. Скорость движения мотоциклов, скутеров и мотороллеров является довольно высокой, а степень защищённости водителя и пассажира существенно ниже, что приводит к потребности развития систем активной безопасности, учитывающих особенности конструкции и движения двухколесных транспортных средств.

Мотоцикл при движении со скоростью от 0 до 15 км/ч и от 120 км/ч и выше находится в состоянии, когда легко теряется курсовая устойчивость и происходит потеря управляемости, что в процессе торможения довольно часто приводит к возникновению кувырка водителя через руль и падению мотоцикла на бок [1].

Алгоритм управления антиблокировочной системой современного дорожного мотоцикла функционирует на основе кинематических источников информации [2–4], в качестве которых выступают частота вращения колес и линейная скорость остова мотоцикла. Данные от этих источников информации в системах АБС подлежат дополнительной обработке в блоке управления для вычисления коэффициента относительного скольжения. Проводимые вычисления повышают сложность и стоимость блока управления и всей системы в целом.

Источники информации на силовых факторах позволяют получать более достоверную и точную информацию, получаемую алгоритмом управления системы активной безопасности, что обеспечивает более высокую скорость выработки управляющего решения и снижения затрат на определение достоверного состояния в пятне контакта колеса с опорной поверхностью [2, 3]. В качестве силовых источников информации выступают: нормальные реакции в пятне контакта колеса с опорной поверхностью, величина боковых реакций в пятне контакта колеса с опорной поверхностью, фактически реализуемый тормозной момент. Применение силовых источников информации в алгоритме управления позволяет построить структуру принятия решений на основании коэффициентов сцепления колеса с опорной поверхностью в продольном и поперечном направлениях [3, 5], что является наиболее достоверным и информативным источником о состоянии дорожного полотна в пятне контакта колеса с опорной поверхностью, и с высокой степенью обеспечить полноту тормозного момента. Датчик нормальных реакций в пятне контакта колеса с дорогой позволяет регистрировать момент начала кувырка мотоцикла через переднее колесо в процессе торможения и, растормозив переднее колесо, предотвратить «кувырок» [5].

Места расположения датчиков силовых факторов, позволяющие получать информацию о величине сил, действующих на колесо со стороны опорной

поверхности, представлены на рис. 1.

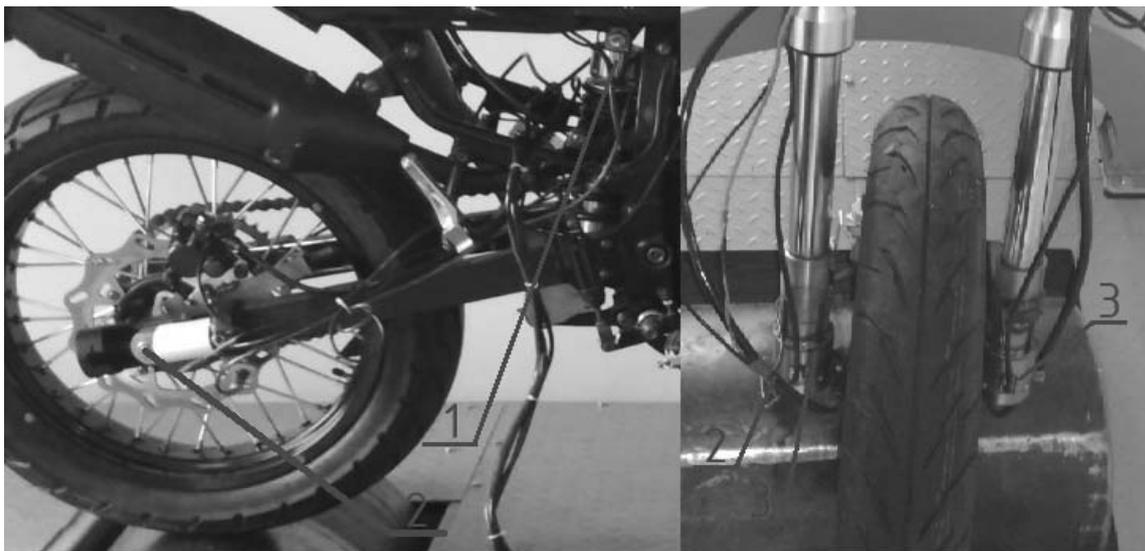


Рис. 1. Расположение датчиков, работающих на силовых факторах: 1 – датчик нормальных сил задней оси; 2 – датчик боковых сил; 3 – датчик нормальных сил передней оси

Использование источников информации на основе силовых факторов о состоянии дорожного покрытия в пятне контакта позволяет достоверно определять коэффициенты сцепления в продольном и поперечном направлениях. Функционирование алгоритма управления системой активной безопасности на основании силовых источников информации позволяет разработать систему, управляющую механическими тормозными устройствами двухколесных транспортных средств в процессе торможения, и повысить безопасность движения, устранив возможность «кувырка» и потери курсовой устойчивости в процессе торможения, что повысит конкурентоспособность разрабатываемой системы и стоимость ее производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Петренко, М. Л.** Компоненты антиблокировочной системы дорожного мотоцикла «МИНСК» на основе силовых факторов / М. Л. Петренко // Актуальные вопросы машиноведения. – 2020. – Вып. 9. – С. 68–74.
2. Управление движением колесных машин: монография / С. Н. Поддубко [и др.]; под общ. ред. И. С. Сазонова. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – 511 с.: ил.
3. **Ким, В. А.** Методология создания адаптивных САБ АТС на основе силового анализа: монография / В. А. Ким. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 346 с.
4. **Юшкевич, А. В.** Теоретическое обоснование метода диссипации кинетической энергии мотоцикла «Минск» при торможении / А. В. Юшкевич, В. А. Ким // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. – 2019. – Вып. 8. – С. 26–29.
5. **Петренко, М. Л.** Теоретические основы создания системы следящего торможения велосипеда «Аист» / М. Л. Петренко, В. А. Ким // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. – 2019. – Вып. 8. – С. 26–29.

УДК 656.017

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ РЕСУРСОМ ГРУЗОВЫХ ШИН В ЭКСПЛУАТАЦИИ

В. А. ЯНЧЕВСКИЙ, С. Г. МАХОВ

Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)
Москва, Россия

Затраты на шины в структуре материально-технического обеспечения автомобильного транспорта обычно занимают третье место после топлива и запасных частей. В абсолютных величинах эти затраты значительны. На шины средний автобусный парк Москвы тратит, например, 12...15 млн р. в год.

По экспертным оценкам эффективность отдачи от вложения единицы средств в шинные мероприятия почти в 4 раза выше, чем в топливо. Объяснение простое – шины наиболее удобный элемент автомобиля для органолептического контроля. Это позволяет визуально выявить случаи неэффективного использования шин в текущем периоде ее работы.

Шины имеют еще характерную особенность. Стоимость протектора, его части с профильным рисунком, который в большинстве случаев определяет ресурс шины, составляет не более 10 % от ее общей стоимости. Утилизация изношенной шины без повреждения конструктивных элементов приводит к «выбросу на свалку» с учетом морального износа примерно 80 % стоимости шины. Эта изношенная шина (для упрощения используем термин – «каркас») сохранила практически все свойства новой шины. Долговечность каркаса при производстве обеспечивается примерно в 4 раза выше, чем протектора.

Шинные технологии позволяют продлить жизнь каркаса наложением нового протекторного слоя. Так называемое «восстановление шин» [1]. Позже, примерно с 90-х гг. почти весь спектр грузовых шин (сюда относятся и автобусные) для нормальных дорожных покрытий представлен типом «regroovable». Это шины с уменьшенной глубиной рисунка, но более толстым подканавочным слоем. Этот слой в процессе эксплуатации рекомендуется углубить (нарезать) на 3...4 мм. Такая конструкция протектора обеспечивает шине улучшенные экономические показатели [2].

Таким образом, в АТП сталкиваются две стратегии продления жизни каркаса. Они могут дополнять друг друга (стратегия компании Michelin – «Remix 4 жизни»), но в отдельных случаях (при работе в плохих условиях, когда часть шин получает механические повреждения) могут конфликтовать.

Выбор рационального решения зависит от ряда факторов, влияющих на надежность показатели шины и на экономические затраты.

Ресурс (пробег до предельного состояния) новой и восстановленной шины обозначим L_n и L_v . Общий пробег каркаса $L_{общ}$, тыс. км, будет равен:

$$L_{общ} = L_n + \kappa \cdot L_v.$$

Стоимость новой шины и ее восстановления обозначим C_n и C_v . Общая стоимость эксплуатации шины $C_{общ}$, р., за пробег $L_{общ}$ будет равен:

$$C_{\text{общ}} = C_n + k \cdot C_v,$$

где k – коэффициент, показывающий, какая доля шин остается пригодной для восстановления. Определяется обработкой статистической информации. Этот показатель становится определяющим, если рассматривать его в вероятностном значении в функции остаточной глубины рисунка протектора $t_{\text{ост}}$.

Наблюдения показывают, чем меньше $t_{\text{ост}}$, тем вероятнее повреждение шины. Следовательно, возникает альтернатива: в отдельных случаях направлять шину в восстановление раньше предельного износа протектора.

Отношение $C_{\text{общ}}/L_{\text{общ}}$ позволяет объективно оценить эффективность эксплуатации шин $C_{\text{уд}}$, р./1000 км. На этой основе разработана модель (рис. 1) определения регламентной величины $t_{\text{ост}}$ изъятия шин с эксплуатации, чтобы направлять их на восстановление для обеспечения минимального значения $C_{\text{уд}}$. Определяется применительно к конкретным условиям эксплуатации шин.

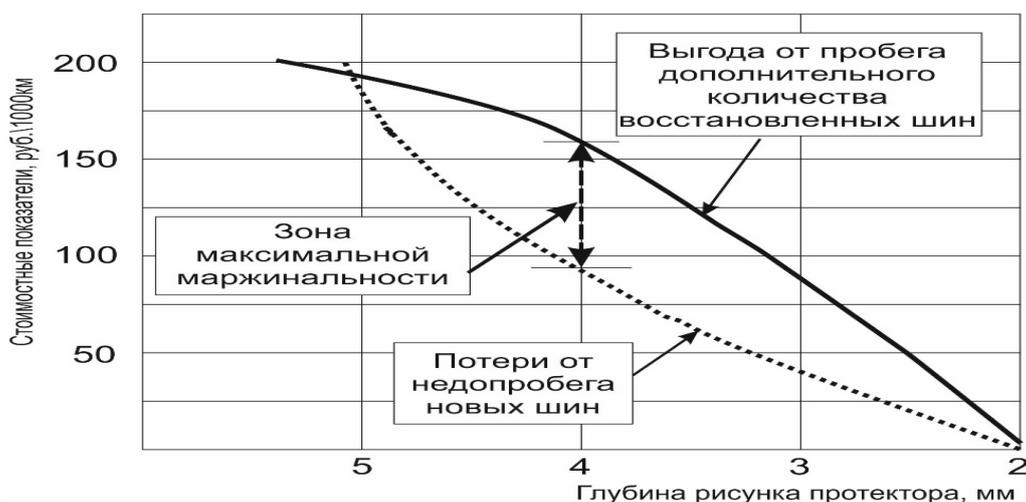


Рис. 1. Определение регламентной глубины рисунка протектора

Если вероятность повреждения шин при малых $t_{\text{ост}}$ незначительна, то оказывается целесообразным первоначально применить нарезку протектора. Далее, при достижении предельного износа по нарезанной части, направить шину на восстановление. Как показали наблюдения, такая стратегия применима, когда шины эксплуатируются в хороших дорожных условиях. Это близко к стратегии Michelin. Рассматриваемый вариант – «Remix 3 жизни». По существующим теперь требованиям шины после восстановления нарезке не подлежат.

В докладе будет представлен развернутый вариант указанных стратегий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Янчевский, В. А.** К вопросу вторичного использования автомобильных шин / В. А. Янчевский, Е. В. Янчевская, С. Г. Махов // Автотранспортное предприятие. – 2015. – № 3. – С. 36–40.
2. **Янчевский, В. А.** Углубить рисунок протектора или наварить новый – экономическая целесообразность / В. А. Янчевский, С. Г. Махов // Грузовик. – 2019. – № 11. – С. 36–39.

УДК 331.46

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Т. Н. АГЕЕВА, В. М. ПУСКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Совокупность факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, влияющие на работоспособность и здоровье человека в процессе трудовой деятельности, формируют условия труда на производстве. Безопасными считаются такие условия труда, при которых отсутствует воздействие на работающего недопустимого риска. В строительной отрасли всегда присутствует риск возникновения несчастных случаев, обусловленный множеством вредных и опасных производственных факторов на строительных площадках.

В 2019 г. в строительной отрасли Республики Беларусь зарегистрировано 242 несчастных случая на производстве, что составило 13,5 % от их общего числа по республике [1]. В Могилевской области их было 22 или 9,2 % от общего числа несчастных случаев по области [2]. С одной стороны, кажется, что их не так уж и много. Однако если сравнить коэффициенты частоты производственного травматизма (K_v определяет количество несчастных случаев в расчете на 1000 работающих за отчетный период) в целом по республике (или области) с K_v в строительной отрасли, то ситуация меняется в худшую сторону. Так, коэффициент частоты производственного травматизма в целом по республике составил 0,54, тогда как в строительной области 0,87. В Могилевской области этот показатель был еще выше: соответственно 0,7 и 0,89. Среди производственных травм в строительной отрасли нередки случаи со смертельным исходом. В среднем за 5 лет (2015–2019 гг.) по Могилевской области они составили 10,8 %, что оказалось выше, чем в других отраслях (например, в промышленности их доля в среднем составила 4,1 %, в сельском и лесном хозяйствах – 5,9 %) [3]. Причины производственного травматизма разнообразны. С одной стороны, это невыполнение руководителями и специалистами обязанностей по охране труда и необеспечение безопасных условий труда на рабочих местах, с другой – нарушение трудовой дисциплины самими работниками и присутствие так называемого человеческого фактора. Поэтому обеспечение безопасности труда является одной из приоритетных задач данной отрасли.

Для обеспечения безопасности труда, сохранения работоспособности и здоровья человека в процессе труда во всех отраслях народного хозяйства Республики Беларусь, в том числе и строительной отрасли, внедряется Система управления охраной труда (СУОТ). Однако внедрение СУОТ на предприятиях зачастую сводится к разработке пакета документов, планированию работ по охране труда и распределению ролей, ответственности и полномочий работни-

ков. Формально внедрение происходит, но функционирование системы и постоянное ее улучшение не всегда обеспечивается.

Для успешного функционирования СУОТ в строительной отрасли необходимо постоянно учитывать особенности каждого объекта, оценивать всевозможные риски повреждения здоровья при выполнении определенных видов работ. На основе идентификации опасностей и оценки связанных с ними профессиональных рисков, нужно не только планировать работы по охране труда, но и принимать необходимые меры по управлению рисками, по реализации запланированных мероприятий, а также анализировать их результативность и устранять недостатки. Всегда стараться придерживаться принципа: планируй – выполняй – контролируй и совершенствуй. Все запланированные мероприятия, методы и средства должны быть отражены в соответствующих документах организации. При этом необходимо учитывать, что охрана труда работников строительных организаций регламентируется не только общими, но и отраслевыми нормативно правовыми актами.

В качестве критериев оценки безопасности труда и эффективности работы данной системы могут быть постоянное снижение числа несчастных случаев на производстве и минимизация их последствий, а также снижение уровня профессиональных заболеваний.

Обеспечения выполнения данных критериев возможно только в результате целенаправленной работы в коллективах и с отдельными работниками, координации их действий при выполнении поставленных задач по обеспечению безопасности труда. Лишь совместные усилия на всех уровнях внутри каждой организации позволят достичь поставленных целей.

Так как работодатель несет непосредственную ответственность и обязанности по обеспечению безопасных условий труда и охране здоровья работников, он должен не только внедрять СУОТ, но и поддерживать ее функционирование. При этом необходимо изыскивать внутренние резервы для эффективного управления охраной труда и обеспечивать контроль за выполнением требований охраны труда на рабочих местах.

Для заинтересованности всех категорий работников предприятия в обеспечении безопасных условий труда, соблюдении требований охраны труда и трудовой дисциплины необходимо предусмотреть систему морального и материального стимулирования, способствующую постоянному стремлению к реализации вышеуказанных критериев безопасности труда.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 28.01.2021.
2. Главное статистическое управление Могилевской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mogilev.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 28.01.2021.
3. Агеева, Т. Н. Анализ динамики производственного травматизма в Могилевской области / Т. Н. Агеева, В. М. Пускова // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2020. – № 4 (69). – С. 115–124.

УДК 697.921.47

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА БАССЕЙНА

С. Д. ГАЛЮЖИН, О. М. ЛОБИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Перечень факторов, которые следует учитывать при проектировании системы обеспечения микроклимата крытого бассейна, включает защиту конструкции здания от воздействия конденсата и оптимизацию внутренней среды для безопасности и комфорта пользователей, экономию энергии при минимизации эксплуатационных расходов и выбросов углекислого газа и других вредных примесей, с учетом коммерческого и экологического подходов. В связи с этими требованиями содержание бассейнов является достаточно дорогостоящим из-за существенных текущих затрат на отопление, контроль влажности, вентиляцию помещения.

Последние 30 лет при строительстве зданий используются различные методы минимизации тепловых потерь. Большинство из них используют приточно-вытяжные установки с установленным рекуператором, где происходит пассивный теплообмен между теплым, влажным воздухом помещения бассейна и более прохладным и сухим приточным свежим воздухом. При проектировании необходимо учитывать высокий уровень единовременных затрат на приобретение и установку энергосберегающего оборудования по сравнению с традиционными решениями. Необходимо предварительное выполнение технико-экономического обоснования целесообразности применения энергосберегающего оборудования. Авторы предлагают использование оценки жизненного цикла проекта с учетом затрат и результатов на предынвестиционной, инвестиционной и эксплуатационной стадиях его реализации в следующей последовательности.

Первый этап – определение альтернативных технических решений. Рассматриваемые варианты должны быть реализуемы как с технической, так и экономической точек зрения. Важным является правильный сбор исходных данных и формирование технического задания на проектирование [2]. Далее следует определение и комплексная оценка всех результатов и затрат на протяжении жизненного цикла проекта с учетом экологического результата энергоэффективных мероприятий. Для более справедливого для заказчика учета всех финансовых затрат и результатов в основе методики лежит процедура дисконтирования ежегодных затрат и полученных результатов реализации проекта. Для определения коэффициента дисконтирования считаем целесообразным учитывать темп инфляции (IR), минимальную реальную норму прибыли (MRR) и коэффициент учета степени инвестиционного риска (RI) (вероятности отказа, а также влияния последствий отказа на сроки, стоимость, содержание и

качество) [1]. На основе комплексной оценки производится выбор наиболее целесообразного в конкретных условиях эксплуатации варианта оборудования.

Объектом данного исследования является реконструкция системы обеспечения микроклимата бассейна, используемого для коммерческих целей. Для подобных объектов требуется поддержание внутри помещения температуры 26...28 °С и относительной влажности до 65 %, необходимых для комфортного пребывания людей. Количество подаваемого воздуха составляет 50000 м³/ч. Рассмотрены три варианта оборудования для формирования микроклимата помещения. *Вариант 1.* Традиционное решение – принудительная приточно-вытяжная система вентиляции, центральное отопление. Данный вариант характеризуется минимальными единовременными и максимальными текущими расходами. *Вариант 2.* Система вентиляции с установленным пластинчатым рекуператором тепла удаляемого воздуха *Klingenburg PWT 25* и центральное отопление. *Вариант 3.* Система *Calorex HRD 25* с пластинчатым рекуператором и тепловым насосом. Второй и третий варианты позволяют получить дополнительную экономию за счет рекуперации тепла удаляемого воздуха. А третий вариант позволяет снизить потребление энергии до 70 % и уменьшить связанные с этим выбросы CO₂ также до 70 % по сравнению с другими системами, что дает дополнительно экологический эффект. Установка оборудования на основе теплового насоса имеет КПД около 300 %, что значительно выше 50...60 %, предлагаемых поперечно-пластинчатым теплообменником. Часть потребности в нагреве воды и воздуха в бассейне в данном варианте проектирования обеспечивается в процессе осушения.

Расчет был произведен для диапазона температур, характерных для отопительного периода и климатических параметров Могилевской области. Для расчетов использовались тарифы за тепловую и электрическую энергию с учетом полного возмещения затрат. Полученные результаты сроков окупаемости энергоэффективных систем обеспечения микроклимата для климатических условий Беларуси свидетельствуют о сроке окупаемости до одного отопительного сезона и зависят от метеорологических условий, что позволяет говорить о необходимости внедрения энергоэффективных систем обеспечения микроклимата на территории Беларуси.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лобикова, Н. В.** Проектирование энергоэффективных систем отопления / Н. В. Лобикова, О. М. Лобикова, С. Д. Галюжин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 235–236.
2. **Лобикова, Н. В.** Применение энергоэффективных вентиляционных систем при строительстве и реконструкции зданий / Н. В. Лобикова, О. М. Лобикова, С. Д. Галюжин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 266–267.

УДК 697.921.47

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ
ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА БАССЕЙНА

С. Д. ГАЛЮЖИН, О. М. ЛОБИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Проектирование вентиляции воздушного пространства закрытого бассейна имеет существенные отличия от проектирования вентиляции других помещений. Поскольку удаляемый из помещений бассейнов загрязненный воздух является насыщенным или близок к состоянию насыщения, главной задачей выступает обеспечение относительной влажности воздушного пространства помещения в нормируемых пределах (до 65 %). Обеспечение снижения относительной влажности диктуется требованиями обеспечения комфорта посетителей и недопущения выпадения конденсата на ограждающих конструкциях. Вторая решаемая при проектировании проблема – обеспечение соответствия качества внутреннего воздуха по предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных примесей. Для ее решения необходимо обеспечить интенсивность воздухообмена не менее 80 м³/ч на одного человека и 15 м³/ч на 1 м² зеркала бассейна. Третья группа требований связана с использованием тепла удаляемого воздуха помещения в холодное время года и удалением излишнего тепла в жаркое время года. Четвертая группа – связана с необходимостью ограничить скорость движения воздуха в помещении до 0,2 м/с в сочетании с требованием исключения возможности формирования застойных зон. Также при проектировании необходимо учитывать уровень шума, производимого оборудованием в помещении. Этот показатель для общественных зданий с массовым нахождением людей не должен превышать 60 дБ.

Для обеспечения перечисленных требований необходимо проектирование автономной приточно-вытяжной системы вентиляции с механическим побуждением с установленным пластинчатым рекуператором тепла удаляемого воздуха и тепловым насосом.

Проектирование системы вентиляции проводят в следующей последовательности. Первый важнейший этап – сбор требований и исходных данных для проектирования. Ошибки, допущенные на данном этапе, влекут за собой проблемы на стадии эксплуатации оборудования, связанные с образованием конденсата, обмерзанием вентиляционной установки в холодное время года и, как следствие, прекращение выполнения заявленных функций всей системой. Используемые в настоящее время методики проектирования основаны на усредненных параметрах и не учитывают конкретные условия эксплуатации. Авторы разработали методику проектирования оборудования вентиляционной установки из расчета конкретных условий эксплуатации. Проектирование считаем необходимым проводить отдельно для условий нерабочего периода бассейна в

ночное время и для периода эксплуатации бассейна. Причем отдельно рекомендуем проведение расчета системы для холодного и жаркого времени года для учета полного комплекса требований. Ключевым моментом разработанной методики является точное определение количества конденсата, образующегося при удалении насыщенного парами воды воздуха из помещения через рекуператор вентиляционной установки. Для автоматизации расчетов с использованием программы Excel произведена аппроксимация результатов исследования и получены полиномы, позволяющие определить зависимость абсолютной влажности ρ_n , г/м³, на линии насыщения от температуры воздуха для диапазона температур от минус 50 до плюс 25 °С (223,15...298,15 К), что соответствует максимально возможному для условий строительства в Беларуси диапазона температур работы рекуператора.

$$\rho_n = 10229,84T_p^4 + 955,5744T_p^3 + 0,336T_p^2 + 52,559T_p + 3093,081,$$

где T_p – температура точки росы атмосферного воздуха, К.

При аппроксимации использован полином 4-го порядка, величина достоверности в этом случае составила 0,99 [1]. Далее на основе полученной зависимости объема конденсата от температуры на выходе из рекуператора при различных значениях относительной влажности удаляемого воздуха определяем объем и массу конденсата для конкретных условий эксплуатации.

Для полученных исходных данных производим подбор оборудования и компоновку системы вентиляции с рекуператором тепла удаляемого воздуха. Воздушные потоки приточного и удаляемого воздуха в рекуператоре необходимо организовать таким образом, чтобы поток удаляемого воздуха был нисходящим, что обеспечит вытекание конденсата, осевшего на стенках каналов рекуператора, вниз в поддон. Для улавливания удаляемой влаги после рекуператора необходимо устанавливать каплеуловитель. Этим существенно уменьшится образование наледи в вытяжном воздуховоде за вентиляционной установкой. Вытяжная шахта должна быть оборудована для исключения обмерзания утепленным клапаном, а также поддоном для сбора и удаления конденсата удаляемого воздуха. Клапаны и поддоны проектируем с учетом возможности их обслуживания. Размер внутреннего сечения шахты определяем расчетом с учетом давления, создаваемого приточной вентиляцией.

Разработанная методика позволяет более точно проектировать систему вентиляции бассейна с учетом конкретных параметров эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика определения объема конденсата, образующегося при прохождении удаляемого воздуха через рекуператор вентиляционной установки / С. Д. Галюжин [и др.] // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2019. – № 4. – С. 83–86.

УДК 69.001

КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ И РЕКОНСТРУКЦИЯ КАК МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

О. В. ГОЛУШКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время около 70 % жилья в республике в 3 раза больше потребляет энергии на отопление по сравнению с жилыми домами, строящимися по современным нормам [1]. Ресурс эксплуатации жилищного фонда прошлого столетия к настоящему времени исчерпан, нормативный срок их эксплуатации составляет 50 лет. Конструкции этих зданий не отвечают требованиям по теплопередаче.

Проблемы энергоэффективности жилого фонда в настоящее время решаются двумя способами: при капитальном ремонте или реконструкции существующей застройки 1960–1980 гг. прошлого столетия, при новом строительстве с учетом современных требований по энергоэффективности.

Комплекс мероприятий, осуществляемых при капитальном ремонте и реконструкции, назначается по результатам инструментального обследования этих зданий (выявляются дефекты в несущих и ограждающих конструкциях), а также по результатам анализа теплотребления жилого дома за три отопительных сезона. Дополнительно может быть назначено тепловизионное обследование, если имеются обращения жильцов на промерзание конструкций, продуваемость, наличие плесени.

Законодательно установлен комплекс мероприятий, который выполняется при капитальном ремонте жилого фонда [2]. Частично отдельные из них можно отнести к энергосберегающим: замена окон в местах общего пользования, ремонт входных групп, ремонт или замена кровли, утепление чердачных перекрытий, затирка с сеткой наружных стен с последующим оштукатуриванием и покраской или утепление отдельных участков, ремонт отмостки или ее устройство, утепление подвала. Все эти мероприятия выполняются с учетом современных требований по теплотехнике. Однако в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь [3] тепловую модернизацию здания необходимо предусматривать в рамках капитального ремонта с согласия собственников помещений при их добровольном софинансировании этих мероприятий в размере не менее 50 %.

В целом повышать энергоэффективность в процессе капремонта можно с помощью осуществления дополнительных решений: проектных (замена окон в квартирах, тепловая реновация стен, поквартирное утепление полов первого этажа), инженерных (замена инженерных сетей теплоснабжения с установкой поквартирных приборов учета тепловой энергии и систем вентиляции с рекуперацией тепла). Однако данные мероприятия предусматриваются крайне ред-

ко. Проблема состоит в финансовой несостоятельности жильцов, как правило, собственниками являются пенсионеры, которые не готовы вкладывать дополнительные средства в ремонт.

Кроме этого, выполнить только тепловую реновацию стен и замену окон без устройства современных инженерных систем не имеет смысла, т. к. сэкономленное тепло не пойдет в зачет при отоплении жилья без установки поквартирных приборов учета тепловой энергии и оно просто будет выветриваться в открытые форточки. Значительное количество тепла (50 %) уходит через несовершенную систему вентиляции, чтобы ее модернизировать потребуется дополнительное пространство для установки рекуператоров тепла, что крайне затруднительно осуществить в рамках данного объема здания. Потребуется устройство дополнительной надстройки, а это уже реконструкция с дополнительными требованиями и согласием жильцов на ее осуществление. Таким образом, достигнуть полного соответствия современным требованиям по энергоэффективности для крупнопанельных зданий существующей застройки 1960–1980 гг. прошлого столетия без согласия жильцов не получится.

В зависимости от состояния здания и поставленных задач по восстановлению его качеств можно предложить следующую классификацию капитального ремонта и реконструкции:

- вид 1 – для восстановления безопасных условий эксплуатации с восстановлением прочностных характеристик несущих конструкций, противопожарных и санитарных норм;
- вид 2 – для восстановления требуемых качеств зданий и повышения уровня комфортности проживания людей;
- вид 3 – для продления срока службы здания и повышения его энергетических характеристик.

Анализируя представленную классификацию, можно отметить, что вид 3 выглядит более выгодно и привлекательно для жильцов в условиях постоянно растущей цены на энергоресурсы, однако, как показывает практика, следует учитывать материальное состояние, возраст и уровень энергетической грамотности собственников, или вносить изменения в законодательную базу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пилипенко, В. М.** Анализ рынка жилищного строительства – ПРООН/ГЭФ Проект № 00077154 «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь» / В. М. Пилипенко. – Минск, 2018. – 18 с.
2. **ТКП 45-1.04-206–2010***. Ремонт, реконструкция и реставрация жилых и общественных зданий и сооружений. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва, 2018. – 18 с.
3. О повышении энергоэффективности многоквартирных жилых домов: Указ Президента Респ. Беларусь, 4 сент. 2019 г., № 327.

УДК 69.059

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОТКРЫТОГО СКЛАДА ФИЛИАЛА № 5 «МОГИЛЕВЖЕЛЕЗОБЕТОН»

С. В. ДАНИЛОВ, И. Л. ОПАНАСЮК
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Модернизация открытого склада № 4 филиала № 5 «Могилевжелезобетон» заключалась в установке в одном из пролетов открытой крановой эстакады в дополнение к действующему 16-тонному крану дополнительного 12,5-тонного мостового электрического крана для оптимизации разгрузочно-погрузочных работ по отправке готовой продукции (железобетонные многопустотные плиты перекрытия). Для получения разрешения на монтаж дополнительного крана необходимо было выполнить оценку технического состояния (обследование) [1] строительных конструкций указанного выше открытого склада. Работы по обследованию строительных конструкций пролета открытого склада № 4 выполнялись на основании хозяйственного договора ХД 2057 от 17.11.2020 г. между филиалом № 5 «Могилевжелезобетон» ОАО «Белорусский цементный завод» и Межгосударственным образовательным учреждением высшего образования «Белорусско-Российский университет» в ноябре 2020 г.

В процессе обследования был осуществлен предварительный осмотр конструкций, изучено объемно-планировочное и конструктивное решения, выполнено обследование железобетонных колонн, подкрановых стальных балок и тормозных ферм подкрановых балок, дана оценка их технического состояния, предложены рекомендации по дальнейшей эксплуатации строительных конструкций обследуемого пролета открытого склада № 4 с мостовыми кранами грузоподъемностью 12,5 и 16 т (рис. 1).



Рис. 1. Вид на обследуемый пролет открытого склада № 4: а – вид на мостовые электрические краны; б – вид на двухветвевые железобетонные колонны; в – вид на стальные балки

Открытый склад № 4 выполнен в виде открытой кранной эстакады шириной в осях 48 м (два пролета по 24 м) и длиной 81 м. Отметка головки кранового пути +12,700 м. Эстакада решена в виде продольных рядов двухветвевых железобетонных колонн с уложенными по ним подкрановыми стальными балками, тормозными и вспомогательными фермами. Шаг колонн – 12 м. Устойчивость эстакады в поперечном направлении обеспечивается жестким защемлением двухветвевых железобетонных колонн в фундамент. Устойчивость в продольном направлении обеспечивается креплением к колоннам подкрановых стальных балок и постановкой в каждом продольном ряду колонн стальных вертикальных крестообразных связей.

Сборные двухветвевые железобетонные колонны имеют размер ветвей 1900 × 600 мм, а сечение ветвей составляет 350 × 600 мм. Высота подкрановой части колонн запроектирована 11120 мм, а высота оголовка – 1450 мм (см. рис. 1, б). Фундамент под колонны – железобетонный монолитный стаканного типа. В качестве подкрановых балок применены стальные подкрановые балки, выполненные по серии 1.426.2-7, выпуск 3 – разрезные балки подкрановые стальные под краны общего назначения грузоподъемностью до 50 т. Высота подкрановых стальных балок составляет 1266 мм (см. рис. 1, в).

Существующий мостовой электрический кран (К-22,5-16УЗ): грузоподъемность – 16,0 т; масса крана – 22,1 т; максимальная нагрузка колеса на рельс – 14,2 т. Дополнительный мостовой кран (заводской номер № 470): грузоподъемность – 12,5 т; масса крана – 18,7 т; максимальная нагрузка колеса на рельс – 11,4 т.

Результаты выполненного обследования строительных конструкций пролета открытого склада № 4 свидетельствуют о том, что двухветвевые железобетонные колонны и постановка вертикальных стальных связей, а также подкрановые стальные балки и их тормозные фермы находятся в работоспособном (удовлетворительном) состоянии и соответствуют II категории технического состояния [1]. Имеющиеся дефекты не приводят к нарушению работоспособности строительных конструкций в данных конкретных условиях эксплуатации, но в перспективе могут снизить их долговечность. Несущая способность двухветвевых железобетонных колонн и подкрановых стальных балок позволяет произвести установку второго мостового крана грузоподъемностью до 12,5 т в пролете открытого склада № 4, что обеспечит ускорение на 30 % разгрузочно-погрузочных работ по отправке готовой продукции (железобетонные многопустотные плиты перекрытия) и продлит срок эффективной эксплуатации существующего мостового крана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническое состояние и техническое обслуживание зданий и сооружений. Основные требования = Тэхнічны стан і тэхнічнае абслугоўванне будынкаў і збудаванняў. Асноўныя патрабаванні: ТКП 45-1.04-305–2016*. – Введ. 30.12.16. – Минск: Стройтехнорм, 2018. – 107 с.

УДК 624.073.2

К РАСЧЕТУ ДОРОЖНЫХ ПЛИТ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

О. В. КОЗУНОВА, В. А. ДУДОРГА

Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

Методика расчета дорожных железобетонных плит на упругом основании до настоящего времени не исследована в полном объеме. Ниже представлен универсальный подход к расчету таких плит на искусственном основании.

При расчете строительных конструкций дорожных покрытий упругое основание может моделироваться разными моделями [1, 2], которые зависят от свойств упругого основания и их изменения. В работе авторы используют модель неоднородного (трехслойного) основания [3], которая больше всего приближена к реальным инженерно-геологическим условиям строительной площадки при расчете как изолированной дорожной плиты на искусственном основании [4], так и их совокупности, например, дорожное покрытие из шарнирно-соединенных плит на слоистом основании [5].

В данной работе рассматривается дорожная плита размерами $2a \times 2b$ и цилиндрической жесткостью D под действием внешней статической или квазистатической нагрузки (рис. 1. а). Плита опирается на упругое основание сплошным образом, без трения и скольжения.

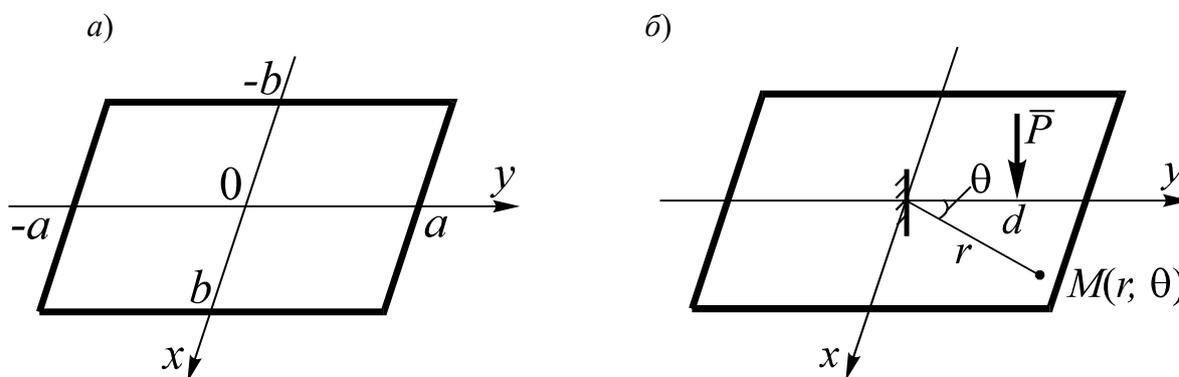


Рис. 1. Расчетная модель дорожной плиты на упругом основании

Для линейно-упругого расчета прямоугольной плиты на неоднородном (трехслойном) основании авторы используют способ Жемочкина [6], который в силу своей универсальности позволяет рассчитывать дорожные плиты на любой модели упругого основания. Перемещения поверхности основания определяются согласно [3], прогибы плиты с защемленной в центре плиты нормалью – согласно [2] (рис. 1, б).

Коэффициент постели верхнего слоя трехслойного основания рассчитывается как коэффициент постели по Винклеру по следующей формуле:

$$k = \frac{E_2(1 - \nu_2)}{(1 + \nu_2)(1 - 2\nu_2)h_2}, \quad (1)$$

которая справедлива при толщине упругого слоя $h_2 < \frac{b}{2}$.

Система канонических уравнений смешанного метода для изолированной дорожной плиты принимает следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{1,1}X_1 + \dots + \delta_{1,m}X_m - \varphi_{x_1}y_1 - \varphi_{y_1}x_1 + u_1 + \Delta_{1,p} = 0; \\ \dots \\ \delta_{m,1}X_1 + \dots + \delta_{m,m}X_m - \varphi_{x_m}y_m - \varphi_{y_m}x_m + u_m + \Delta_{m,p} = 0; \\ \sum_{k=1}^m X_k y_k - M_x = 0; \\ \sum_{k=1}^m X_k x_k - M_y = 0; \\ -\sum_{k=1}^m X_k - R = 0, \end{array} \right. \quad (2)$$

где m – число участков Жемочкина дорожной плиты; $\varphi_{x_i}, \varphi_{y_i}$ – неизвестные перемещения введенного защемления на плите; R, M_x, M_y – равнодействующая внешних усилий относительно координатных осей; X_k – сила в связи Жемочкина с номером k .

В результате статического расчета определяются осадки дорожной плиты на трехслойном основании и распределение контактных напряжений под ней при различных вариантах загрузки плиты сосредоточенной силой от колеса автомобильного транспорта. Кроме того, в цилиндрических шарнирах шарнирно-соединенных плит в системах дорожных покрытий можно определить поперечные силы [5] и запроектировать эти узловое соединения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Горбунов-Посадов, М. И.** Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – Москва : Стройиздат, 1984. – 639 с.
2. **Босаков, С. В.** Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск : БНТУ, 2002. – 128 с.
3. **Босаков, С. В.** Об одной модели упругого основания и ее использовании для расчета прямоугольной плиты на упругом основании / С. В. Босаков, С. И. Зиневич, О. В. Козунова // Строительная механика и расчет сооружений. – 2018. – № 4 (279). – С. 2–5.
4. **Козунова, О. В.** Статический расчет дорожной плиты на слоистом основании / О. В. Козунова // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – Вып. 11. – С. 134–138.
5. **Козунова, О. В.** Использование модели трехслойного основания в расчетах шарнирно-соединенных дорожных плит / О. В. Козунова // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. Сер. Строительство и архитектура. – 2020. – № 1. – С. 49–52.
6. **Жемочкин, Б. Н.** Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Сеницын. – Москва: Стройиздат, 1962. – 239 с.

УДК 624.072

РАСЧЕТ БЕСКОНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ЛЕНТ
НА ИСКУССТВЕННОМ ОСНОВАНИИ
ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНЫМ МЕТОДОМ

О. В. КОЗУНОВА, К. А. СИРОШ

Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

В работе предлагается универсальный подход для расчета железобетонных балок в системе перекрестных лент на искусственном основании.

Постановка задачи. Рассмотрим ленту постоянной изгибной жесткости EI , лежащей на искусственном основании, характеризующимся коэффициентом постели k , под действием сосредоточенной силы P (рис. 1).

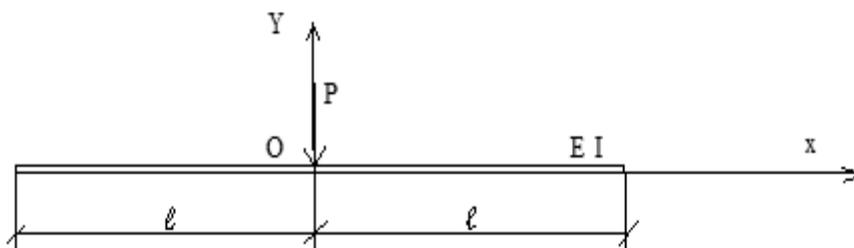


Рис. 1. Лента на искусственном основании с коэффициентом постели k

Алгоритм расчета. Собственным весом ленты при вычислениях пренебрегаем. В контактной зоне не учитываем касательные напряжения.

Определяем энергию изгиба по формуле

$$U = \frac{EI}{2} \int_{-l}^l \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right)^2 dx. \quad (1)$$

Энергию деформаций конструкции обычно отождествляют с энергией изгиба конструкции, пренебрегая деформациями сдвига. Это вполне оправдано для бесконечной системы перекрестных лент.

Определяем энергию деформаций упругого основания

$$A = \frac{k}{2} \int_{-l}^l y^2 dx. \quad (2)$$

Определяем работу внешних сил и составляем функционал полной энергии

$$\mathcal{E} = U + A + \Pi, \quad (3)$$

дифференцируем его по каждому из неизвестных коэффициентов A_i . Решаем полученную систему линейных алгебраических уравнений вида

$$[\lambda] \vec{A} = \vec{S}. \quad (4)$$

По найденным в результате решения системы уравнений коэффициентам A_i определяем прогибы ленты и внутренние усилия в ней.

Для решения используется пакет компьютерной алгебры «Mathematica».

УДК 693.54

ХАРАКТЕРИСТИКИ И СВОЙСТВА СУЛЬФАТОСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СХВАТЫВАНИЕ И ТВЕРДЕНИЕ ЦЕМЕНТА

Е. Е. КОРБУТ, О. Ю. МАРКО, А. А. МАСЛЕНКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Использование сульфатосодержащих химических добавок в бетон (сульфат натрия (СН); сульфат железа и алюминия (СЖ и СА); С-3 и др.) возможно с целью снижения энергозатрат, повышения его прочности, плотности и долговечности. Достоинством этих веществ являются минимальные ограничения к применению. Так, согласно требованиям СН 2.01.07–2020 *Защита строительных конструкций от коррозии*; ТКП 45-5.03-307–2017 *Изделия сборные бетонные и железобетонные. Основные требования к изготовлению* и пособия П1-99 к СНиП 3.09.01–85 *Применение добавок в бетоне*, добавки на основе сульфатов разрешены к применению с обычной и напрягаемой арматурой, включая сталь группы «В» и арматуру диаметром менее 5 мм. То есть в случаях, когда запрещены к применению добавки на основе хлоридов (хлористый кальций (ХК), хлорное железо (ХЖ), нитрат-нитрат-хлорид кальция (ННХК), полиметаллический водный концентрат (ПВК); ЛМГ, содержащая галитовые отходы), а также «УПБ». Кроме этого, согласно СН 1.03.01–2019 *Возведение строительных конструкций зданий и сооружений*, сульфатосодержащие добавки разрешаются к применению в дозировке до 1 % от массы цемента при наличии выпусков арматуры и закладных деталей, покрытых защитными цинковыми или алюминиевыми покрытиями (т. е. в случае, когда по приведенным нормативным документам запрещаются к введению в бетон практически все добавки-электролиты).

На этой основе целесообразно детально изучить влияние и эффективность сульфатосодержащих добавок в бетоне с целью получения максимальной эффективности их применения в строительной отрасли. Этой задаче посвящена настоящая работа, на первом этапе которой рассмотрены свойства отечественных сульфатосодержащих добавок, в частности ускорителя твердения – сульфата натрия (СН), являющегося побочным продуктом производственной деятельности Могилевского (завод искусственного волокна – ЗИВ) и Светлогорского химических комбинатов, а также сульфированного суперпластификатора «С-3», производимого на СП «Суперпластик-РТ» в г. Мозыре Гомельской области.

Исследованы как характеристики моновеществ этих добавок, так и комплексной добавки на их основе, которая при сниженных дозировках составляющих (соответственно при меньшей стоимости) позволяет получить более

значительный эффект при воздействии на цемент и цементный бетон.

В исследованиях в качестве добавок для бетона на основе сульфатов, производимых в Беларуси, использовали сульфат натрия (добавка, ускоряющая твердение), суперпластификатор «С-3» и комплексную добавку «УКД-1», включающую взаимно совместимые пластифицирующий и ускоряющий твердение бетона компоненты.

В возрасте 1, 2, 3, 7 и 28 сут определяли прочностные характеристики цементно-песчаных растворов по методике согласно ГОСТ 310.3–76 *Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема*. Рассмотрим основные результаты экспериментов, отражающие влияние этих веществ на прочность цемента (цементно-песчаного раствора).

Введение сульфата натрия интенсифицирует темп роста прочности цементно-песчаного раствора во все исследуемые сроки нормального (водного) твердения; увеличение дозировки «СН» с 0,5 до 1,5 % от МЦ сопровождается ростом прочности в 1, 2, 3 и 7 сут соответственно на 25...70; 20...60; 15...40 и 15...30 %. При этом ее относительный прирост несколько выше для цемента 3 и 2-й групп активности соответственно в сравнении с 1-й группой.

Добавка «С-3», сдерживая развитие гидратационного процесса цемента, замедляет темп роста прочности цементно-песчаного раствора в первые сутки (относительно раствора без добавки) и в 1...3 сут, в сравнении с добавкой «СН». Значительное снижение начального водосодержания раствора равной консистенции, что обеспечивает введение «С-3», выражается в росте его прочности с 3...7 сут. К 28 сут твердения в воде активность цемента с 0,35...0,8 % «С-3» повышается до 12...22 %.

Комплексная добавка «УКД-1» в дозировке 0,5 + 0,5 % по величине проявляемого эффекта практически соответствует в 1...3 сут наибольшей дозировке «СН» (в 1,5 %), а в 7...28 сут – дозировке добавки «С-3» (в 0,8 %). Сущность эффективности комплексной добавки заключается в росте плотности и прочности цементного камня и бетона с ней более высокой, чем отдельно, монодобавкой. Она обеспечивает снижение водосодержания раствора за счет пластифицирующего воздействия в сочетании с активизацией гидратации и твердения цемента веществом СН. Ускоритель твердения «СН», с одной стороны, способствует некоторому снижению водосодержания (дополняя эффект от «С-3»), а с другой – компенсирует потери темпа развития процессов гидратации и роста прочности (твердения) цемента в начальный период, которые сопровождают введение в бетон добавки «С-3». В результате эффективность воздействия комплексной добавки выше, чем каждой из составляющих веществ, дозируемых как монодобавка в большем количестве. Тем самым возможно получить требуемый эффект в бетоне при снижении затрат на добавки.

В целом, полученные данные позволяют сделать вывод об эффективности использования комплексной добавки «УКД-1» и монодобавки «СН» с целью ускорения твердения цемента в нормальных и водных условиях.

УДК 656.11

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
В ANYLOGIC ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ФАЗ СВЕТОФОРА
НА ПЕРЕКРЕСТКЕ

В. В. КУТУЗОВ, А. Е. ЗУБКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время существует актуальная проблема минимизации заторов на дорогах. Чаще всего заторы появляются на светофорах из-за неправильной либо устаревшей настройки циклов его работы. Увеличение или сокращение работы зеленой фазы на несколько секунд способно привести к уменьшению либо исчезновению пробок. Установление времени фаз работы светофора регламентируется СТБ 1300–2014 [1], в то же время с учетом постоянно меняющейся интенсивности транспортных потоков, времени суток, сезона и прочих условий появляется необходимость оперативного корректирования фаз светофора. Для этого целесообразно применять методы имитационного моделирования [2–4]. Данный вид моделирования реализован в программном комплексе Anylogic. Оптимизация модели в AnyLogic заключается в последовательном выполнении нескольких прогонов модели с различными значениями параметров и нахождении оптимальных для данной задачи значений параметров. В AnyLogic встроен оптимизатор OptQuest. Он автоматически находит лучшие значения параметров модели с учетом заданных ограничений. AnyLogic предоставляет удобный графический интерфейс для конфигурирования и отслеживания хода эксперимента.

Для примера были проведены исследования на стандартном четырехстороннем перекрестке. Данный тип перекрестков является самым массовым на дорогах. Выбранный перекресток обладает следующими характеристиками:

- количество полос движения с каждого направления – четыре;
- установлены светофоры, нанесена разметка, установлены островки безопасности;
- высокая интенсивность пешеходов в районе перекрестка;
- длительность светофорных фаз для транспорта – 25, 20, 20 и 7 с;
- длительность светофорной фазы для пешеходов – 30 с.

Теоретический эксперимент с моделированием заключался в расчете изменения фаз работы светофора с соблюдением правил и норм проектирования путем последовательного автоматического проведения 500 итераций. Результаты расчетов по определению длины фаз работы светофора приведены в табл. 1.

Табл. 1. Данные численного эксперимента до и после оптимизации

Количество автомобилей	Базовый вариант	Оптимальный вариант
Суммарное количество, авт./ч	2170	2577
Среднее количество автомобилей, проезжающих за один цикл работы светофора	215	287
Минимальное количество автомобилей, проезжающих на разрешающий сигнал светофора	31	37
Максимальное количество автомобилей, проезжающих на разрешающий сигнал светофора	48	57

В оптимизированном варианте изменялись только фазы работы светофора. Длительность светофорных фаз для транспорта по результатам оптимизационного эксперимента в AnyLogic составила 22, 23, 25 и 11 с, для пешеходов сокращена до 23 с.

Применение методов имитационного моделирования на базе оптимизационного эксперимента в AnyLogic позволяет с высокой точностью и минимальными временными затратами установить оптимальные фазы светофорного цикла, что в итоге позволит увеличить интенсивность транспортных потоков и исключить появление пробок на дороге.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СТБ 1300–2014.** Технические средства организации дорожного движения. Правила применения. – Минск: Госстандарт, 2019. – 154 с.
2. **Кутузов, В. В.** Имитационное моделирование транспортных потоков на Т-образных перекрестках / В. В. Кутузов, Р. С. Демиденко, Е. А. Зубков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 24–25 окт. 2019 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 133.
3. **Демиденко, Р. С.** Имитационное моделирование транспортных потоков в районе первого корпуса Белорусско-Российского университета в AnyLogic / Р. С. Демиденко, Е. А. Зубков (науч. рук. В. В. Кутузов) // 55 студен. науч.-техн. конф., Могилев, 3 мая 2019 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 49.
4. **Кутузов, В. В.** Моделирование транспортного потока с данными, поступающими в режиме реального времени / В. В. Кутузов, Н. В. Суховарова // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 25–26 окт. 2018 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – С. 137.

УДК 691.408-8

ЭКОНОМИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ЧАСТИЧНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ ОТХОДАМИ

Т. С. ЛАТУН, Р. П. СЕМЕНЮК, А. М. ГОЛУШКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В процессе осуществления жизнедеятельности человека или осуществления его производственной деятельности возникает такое понятие, как отходы. Как правило, это предметы или вещества, которые частично либо полностью утратили свои потребительские свойства.

Третью часть всех отходов составляют коммунальные отходы – это в основном органические отходы или биоотходы. Все остальное – это стекло, пластик, бумага, текстиль и т. д. Не все перечисленные материалы можно переработать, а значит возникает необходимость в применении их в других сферах. Особенно остро стоит вопрос об утилизации и переработке пластикового мусора, т. к. на разложение пластика уходит более 100 лет.

Рентабельность переработки вторичных ресурсов минимальная, а значит не приносит хорошего дохода предприятиям, но из этой ситуации современная наука и производственники ищут выходы. В последние годы ситуация немного изменилась, производители используют отходы как основу для получения сырья. Такое сырье можно использовать как замещение более дорогому. Таким образом, решаются сразу две проблемы: экологическая (утилизация) и экономическая (удешевление стоимости продукции).

Сложно обстоят дела с полимерами, т. к. их повторное использование связано с некоторыми трудностями. К примеру, если сырье грязное и не соответствует качеству для производства новой продукции, используемой в пищевой, медицинской и т. п. промышленности, то оно отлично подходит для применения при производстве строительных материалов, но только для тех, для которых предъявляются не слишком высокие требования по экологичности. В основном к таким материалам относят материалы для наружных работ и уличных покрытий. Применение отходов переработки пластиковых бутылок при производстве резиновых уличных покрытий позволит сэкономить более дорогостоящее основное сырье.

В состав резиновых покрытий для придания им декоративных свойств, в частности цвета, вводят пигменты. Предлагается для придания красивого внешнего вида в резиновую крошку черного цвета добавлять отходы цветных пластиковых бутылок в количестве 8...10 % от общего объема формуемого ма-

териала, что позволит снизить затраты не только за счет замещения резиновой крошки, но и за счет отказа от применения пигментов, которые имеют достаточно высокую стоимость. Кроме того, было установлено, что ввод такого материала не оказывает существенного влияния на физико-механические характеристики готового покрытия.

При определении средней плотности материала, в состав которого входили резиновая крошка, полимерное связующее и отходы пластиковых бутылок в количестве 9,4 % от массы резиновой крошки, которые не подлежат уничтожению, было получено, что образец размером $5 \times 5 \times 2$ см имеет массу 28,7 г, а значит его средняя плотность составляет 574 кг/м^3 . Тогда пористость испытываемых образцов будет 48,75 %. Высокая пористость обеспечивает более быстрое прохождение воды сквозь слой материала, тем самым обеспечивая сухую и шероховатую поверхность на детской либо спортивной площадке. Одним из важных физических показателей для строительных материалов, предопределяющий область их применения, является коэффициент морозостойкости. Для определения коэффициента морозостойкости применялась формула

$$K_m = \frac{P - B_V}{P}, \quad (1)$$

где P – пористость материала, %; B_V – водопоглощение по объему, %.

При определении коэффициента морозостойкости использовалось значение водопоглощения, которое было получено экспериментальным путем и составило 6,2 %. Таким образом, используя формулу (1), получаем коэффициент морозостойкости, равный 0,87.

Существует множество видов резиновых покрытий и свойства, которыми они обладают, имеют различные значения. Например, плотность такого покрытия можно повысить, изменив технологию изготовления либо укладки готовой смеси. При изготовлении резинового покрытия в виде плиток используется горячее или холодное прессование в формах. Для нанесения литого покрытия его уплотняют механизированным либо ручным способами, тем самым получая покрытие необходимой плотности. Как следствие, с увеличением плотности уменьшится пористость, которая находится в прямой зависимости от плотности материалов. Уплотнение материала приводит к повышению коэффициента морозостойкости.

Таким образом, изменяя технологию и состав, можно варьировать свойства материала в необходимых пределах, а значит получать материал с требуемыми проектными параметрами.

УДК 625.76

ВЫБОР ДИАПАЗОНОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ

Ю. Н. ЛЕБЕДЕВА

Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)

Москва, Россия

Для оценки эффективности ремонтных работ необходимо использовать общий системный показатель, который будет учитывать начальное транспортно-эксплуатационное состояние дорожного покрытия, стоимость производства работ, срок службы отремонтированного покрытия [1–3].

$$\mathcal{E}P_x = (T_x^{\partial} + C_x), \quad (1)$$

где $\mathcal{E}P_x$ – показатель эффективности метода ремонта покрытий; T_x^{∂} – эффективность производства ремонтных работ методом x в зависимости от начального транспортно-эксплуатационного состояния покрытий и его коэффициента запаса прочности $K_{\text{ДР}}$ [3]; C_x – сметная стоимость производства единичного объема ремонтных работ.

Используя методику балльной оценки покрытия, разработанную профессором Ю. М. Яковлевым [2], покрытие дороги по уровню дефектов можно разделить на отличное (первая группа дефектов): визуальное состояние 4–5 баллов – дефектов нет или они крайне незначительны; хорошее (вторая группа): визуальное состояние 3–4 балла – слабовыраженные, очаговые дефекты покрытия (редкие трещины на расстоянии 4...8 м, частые трещины, редкие выбоины, колейность при средней глубине колеи 20...30 мм); удовлетворительное (третья группа): визуальное состояние 2–3 балла – частые дефекты покрытия, площадь и глубина которых не превышает предельно допустимые значения (частые трещины, колейность глубиной колеи 40...50 мм, редкие выбоины); неудовлетворительное (четвертая группа): визуальное состояние менее 2 баллов – деформации и разрушения покрытия превышают предельно допустимые значения.

Далее приведён график зависимости выбора методов ремонтных работ от диапазонов эффективности (рис. 1).

Левее границы \mathcal{E}_x – зона эффективности ремонтных работ для устранения дефектов, относящихся ко второй группе; от границы \mathcal{E}_x до границы \mathcal{E}_y – зона эффективности ремонтных работ для устранения дефектов, относящихся к третьей группе; правее границы \mathcal{E}_y – зона эффективности ремонтных работ для устранения дефектов, относящихся к четвертой группе.

Для выбора эффективных методов ремонта дорожных покрытий Республики Беларусь предлагается:

– проводить непрерывный мониторинг за транспортно-эксплуатационным состоянием дорожных покрытий;

- на основании предварительной визуальной балльной оценки своевременно определять группу транспортно-эксплуатационного состояния дорожных одежд;
- назначать вид ремонтных работ в соответствии с их группой транспортно-эксплуатационного состояния;
- выбирать наиболее эффективные и экономичные методы ремонта в зависимости от диапазонов эффективности ремонтных работ.



Рис. 1. Диапазоны эффективности выбора методов ремонтных работ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лебедева, Ю. Н.** Инновационные технологии дорожного строительства / Ю. Н. Лебедева // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: Междунар. сб. науч. тр. – Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т, 2020. – № 20. – С. 139–143.
2. **Ярмолинский, В. А.** Оценка эффективности ремонтных работ с учетом изменения эксплуатационного состояния автомобильных дорог / В. А. Ярмолинский, А. В. Каменчуков // Транспортное строительство. – 2018. – № 7. – С. 18–20.
3. **ТКП 271–2010.** Оценка эксплуатационного состояния и качества содержания дорожных одежд и дождевой канализации улиц населенных пунктов. – Минск: БНТУ, 2015. – 104 с.

УДК 621.926

ВИБРОВАЛКОВЫЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

А. В. МАЛЕВИЧ, Н. В. КОРЖАКОВ

Барановичский государственный университет
Барановичи, Беларусь

В настоящее время немаловажной является проблема использования и переработки строительных отходов. Строительные отходы могут образовываться как в процессе производства строительных работ, так и в сфере производства строительных материалов, а также после демонтажа сооружений и зданий.

Энергозатраты при добыче природного щебня в 8 раз выше, чем при получении вторичного щебня из бетона, а себестоимость бетона, приготавливаемого на этом щебне, ниже на 22 % [1].

Существуют два практических способа обращения со строительными отходами – использование их для рекультивации карьеров и переработка их для повторного использования в качестве сырья [1].

В первом варианте используются компактные мобильные дробильно-сортировочные установки, которые обеспечивают получение чистого продукта. Для того чтобы производить переработку строительных отходов на стройплощадке, необходимо соблюдать особые меры экологической защиты близлежащих жилых домов от шума, загрязняющих веществ, вибрации [1].

Во втором варианте появляются дополнительные расходы на доставку и погрузку отходов к месту переработки. Данный недостаток компенсируется рядом полезных плюсов, таких как эффективная работа дробильно-сортировочного комплекса большой мощности, возможность организации постоянной логистики и маркетинга, простое решение экологической проблемы, выделение всех посторонних включений, более глубокая переработка отходов с получением разных фракций.

Технологическая схема одного из транспортабельных дробильно-сортировочных комплексов приведена на рис. 1.

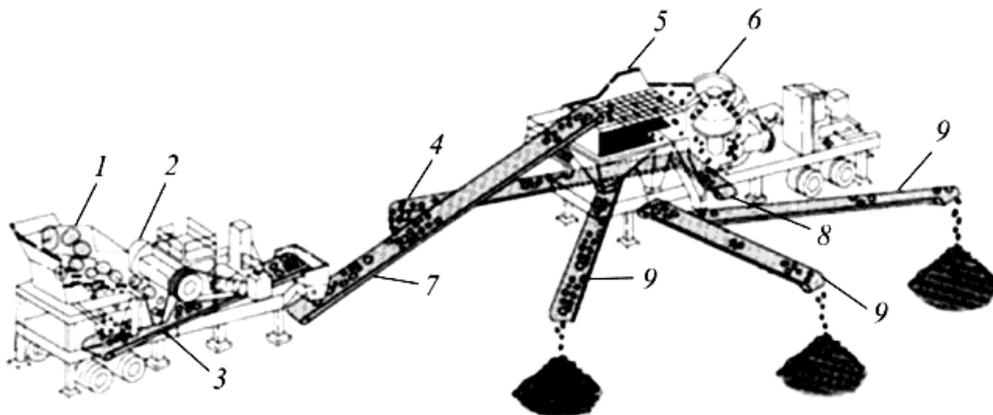


Рис. 1. Технологическая схема транспортабельного дробильно-сортировочного комплекса: 1 – вибропитатель; 2 – щековая дробилка; 3 – ленточный питатель; 4 – промежуточный конвейер; 5 – грохот; 6 – конусная дробилка; 7–9 – ленточные конвейеры

Технологические схемы переработки строительных материалов можно корректировать в зависимости от вида строительных отходов. Поэтому авторы предлагают заменить наиболее часто встречающуюся в схемах конусную дробилку на вибровалковый измельчитель-активатор (рис. 2) [2].

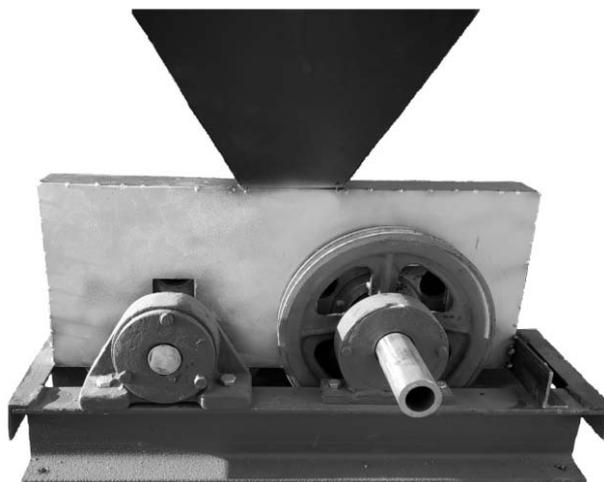


Рис. 2. Вибровалковый измельчитель-активатор

Вибрационные воздействия, реализуемые в вибровалковом измельчителе, обладают рядом достоинств. Во-первых, это эффект облегчения преодоления сил трения. Этот эффект понимается как особое свойство вибраций уничтожать, хотя бы частично, силы трения, а также более равномерное распределение материала по длине вала. Во-вторых, это эффект выигрыша в силе, т. е. возможность преодоления сопротивления с меньшими усилиями при разрушении (деформации) исходного продукта [2, 3].

Энергопотребление при внедрении вибровалкового измельчителя снижается на 10...20 %. Использование вибровалкового измельчителя может найти широкое применение в различных отраслях.

В настоящий момент в Беларуси отсутствует четкая координация работ в данной области, однако проблема переработки строительных отходов имеет государственное значение. Для решения данной проблемы необходимо преодолеть отставание в создании и освоении выпуска необходимого оборудования, а также развитие сети перерабатывающих комплексов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обращение с отходами: учебное пособие / А. А. Челноков [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2018. – 460 с.
2. Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия: монография / Л. А. Сиваченко [и др.]; под науч. ред. Л. А. Сиваченко. – Барановичи : БарГУ, 2020. – 359 с.
3. Вибровалковый измельчитель-активатор: пат. RU № 186478 / В. С. Севостьянов, Л. А. Сиваченко, М. В. Севостьянов, Т. Л. Сиваченко, Л. Л. Сотник, П. Ю. Горягин. – Оpubл. 22.01.2019.

УДК 693.54

ТВЕРДЕНИЕ БЕТОНА С ДОБАВКОЙ «УКД-1»
ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА

О. Ю. МАРКО, Е. Е. КОРБУТ, А. А. САВОСТЕЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Из теории и практики исследований проблемы повышения морозостойкости бетона, ее оценки с позиций влияния на эксплуатационную надежность и долговечность строительных изделий и конструкций, известно [1], что замерзший на ранней стадии твердения (после укладки и уплотнения в опалубке или формах) бетон характеризуется ростом пористости структуры, ее проницаемости и непредсказуемым снижением прочности и других физико-механических и эксплуатационных свойств. При этом отрицательные эффекты нарастают с повышением водоцементного отношения бетона, глубины и скорости охлаждения при замерзании, зависят от времени твердения до замерзания и уровня прочности, которую набрал бетон к этому моменту, что особенно опасно в монолитных конструкциях, т. к. их ремонт (усиление, замена) сложен, а зачастую просто невозможен [2].

Основной причиной данного явления справедливо считают объемное расширение замерзшей «свободной» воды, увеличивающейся на $\sim 9\%$ при переходе в лед, т. е. твердофазное состояние. Последующее ее оттаивание не обеспечивает возвращения структуры в исходное положение, сложившееся после уплотнения (или некоторого периода твердения) бетона, способствуя росту его пористости и ухудшению качественных характеристик.

С учетом необходимости достаточно продолжительного транспортирования бетонной смеси на объекты строительства и времени на прием–подачу–укладку ее в опалубку (составляет в производственных условиях до 3...4 ч) экспериментально оценили кинетику роста прочности бетона (класса $C^{20}/_{25}$, подвижность марки ПЗ) при охлаждении образцов (кубы с ребром 100 мм, три образца в серии, формы металлические) после формования в течение 1 ч при $t = -15...-17$ °С. Последующее твердение бетона 1-й и 2-й серий (без добавки и с 1 % «УКД-1») – в нормально-влажностных условиях (при $t \sim 15...17$ °С), и 3-й и 4-й серий – разогрев 1 ч при $t_{среды} \sim 40$ °С и последующее твердение в одинаковых с образцами 1-й и 2-й серий условиях.

Состав бетонной смеси принимали постоянным с целью выявления влияния добавок на прочностные и деформативные свойства бетона при одинаковом расходе цемента. С целью получения равноподвижной смеси во втором составе снизили водоцементное отношение. Таким образом, на результирующую экспериментальную прочность влияет качественный состав добавки, ее количество и пониженное водосодержание бетонной смеси, которое достигается за счет пластифицирующего действия компонента С-3, входящего в состав комплексной добавки. Составы бетона приведены в табл. 1.

Табл. 1. Составы бетона для исследований

Состав	Класс бетона	Подвижность бетонной смеси (ОК), см	Марка цемента	Расход составляющих, кг, на 1 м ³ бетона				В/Ц
				Ц	П	Щ	В	
А. Состав без добавок								
1	C ²⁰ / ₂₅	12...14	M500	350	675	1150	175	0,5
Б. Состав с комплексной добавкой 1 % «УКД-1»								
2	C ²⁰ / ₂₅	12 ...14	M500	350	675	1150	164,5	0,47

При наблюдении за бетоном после «замораживания» на поверхности образцов без добавок появились крупинки льдообразования на поверхности, с образованием твердофазной (но проминающейся под местным усилием) «корки»; на образцах с «УКД-1» этого явления не было, несмотря на то, что температура бетона на глубине ~10...15 мм равнялась -2...-1 °С.

В возрасте 1, 3, 7 и 28 сут определяли прочностные характеристики бетонов по методике согласно ГОСТ 10180–90 (табл. 2).

Табл. 2. Кинетика роста прочности бетона после начального охлаждения

Состав по табл. 1	Наличие и вид добавки	Условия твердения образцов											
		естественные				охлаждение 1 ч при $t \sim -15...-17$ °С и твердение при $t \sim 15...17$ °С				охлаждение 1 ч при $t \sim -15...-17$ °С, нагрев 1 ч при $t = 40$ °С и твердение при $t \sim 15...17$ °С			
		Прочность бетона, %, от $f_{cm, 28}$ в возрасте, сут											
		1	3	7	28	1	3	7	28	1	3	7	28
1	–	4	30	65	90	2	19	50	83	5	32	67	92
2	«УКД-1»	8	46	80	99	4	28	59	94	12	50	88	109

Результаты эксперимента подтверждают эффективность введения в бетон добавки «УКД-1» с позиций повышения темпа его твердения (рост прочности за 24 ч – многократный, за 3 сут – в 1,5–2 раза и к 28 сут –15...30 %) и возможность использования добавки «УКД-1» без дополнительного введения в бетон противоморозных добавок.

Очевидно, что добавка «УКД-1» в дозировке 1 % от массы цемента обеспечивает возможность транспортирования бетонных смесей в зимний период работ и одновременно резкий рост прочности бетона при последующем прогреве (разогреве, обогреве).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов, О. Е. Физические основы теории морозостойкости / О. Е. Власов // Тр. НИИ Стройиндустрии. – 1967. – Вып. 3. – С. 163–178.
2. Хаютин, Ю. Г. Монолитный бетон / Ю. Г. Хаютин. – Москва: Стройиздат, 1991. – 573 с.

УДК 621.926

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЫ

А. Д. МИХАЛЬКОВ, В. С. МИХАЛЬКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В различных технологических процессах важное значение имеет активность вяжущего, т. е. тонкость и качество измельчения, что позволяет существенно повысить его марочную прочность и сократить время твердения.

В классических шаровых мельницах доизмельчение материала происходит при вращении помольной камеры стальными шарами. В вертикальной вибрационной шаровой мельнице колебания помольной камеры происходят в одной плоскости, для чего используется тяговый электромагнит переменного тока, который позволяет регулировать режимы работы шаровой мельницы и обеспечивать работу в квазирезонансных режимах [1].

Под руководством проф. Л. А. Сиваченко авторами разработана схема конструкции вертикальной мельницы (рис. 1), в которой колебание двух помольных камер, расположенных в противофазе, осуществляется при вращении приводного эксцентрикового вала, спроектирована и изготовлена масштабная модель лабораторной установки (см. рис. 1).

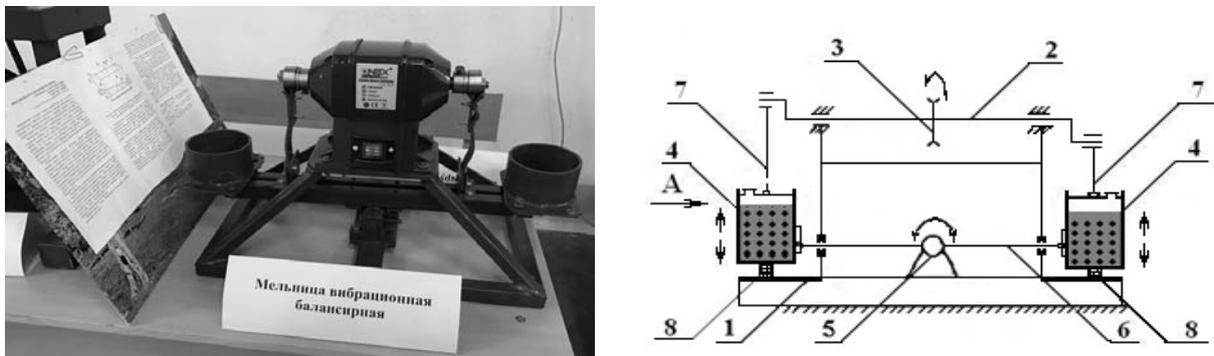


Рис. 1. Лабораторная установка и принципиальная схема мельницы

Принципиальная схема мельницы, состоит из рамы 1 с установленным электродвигателем; на концах приводного эксцентрикового вала посредством тяг 7 подвешены помольные камеры 4 (по одной с каждой стороны). Помольные камеры 4 связаны с плитой рамы 1 пружинами 8. Привод 3 эксцентрикового вала осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу. Помольные камеры соединены между собой гибким коромыслом 6 с шарниром 5 в центре.

Построена математическая модель работы мельницы. Вертикальная скорость движения и ускорения каждой из камер в любой момент времени описываются соответствующими уравнениями

$$V_k = -r \cdot \omega \cdot \left(\sin \omega \cdot t + \frac{r}{\ell} \sin 2 \cdot \omega \cdot t \right); \quad a_4 = -r \cdot \omega^2 \cdot \left(\cos \omega \cdot t + \frac{r}{\ell} \cdot \cos 2 \cdot \omega \cdot t \right). \quad (1)$$

Все металлические шары и измельчаемый материал в выделенном цилиндрическом столбе будем рассматривать как суммарную массу шаров $m_{ш}$ и массу измельчаемого материала $m_{изм}$, элементы этого цилиндрического столба можно представить в виде расчетной модели (рис. 2, а); конструктивная схема помольной камеры с материалом для измельчения и мелющими шарами приведена на рис. 2, б.

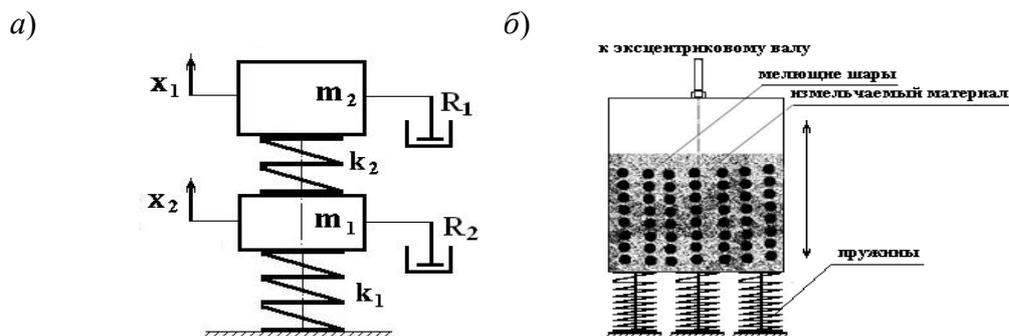


Рис. 2. Расчетная схема двухмассовой колебательной системы одной из камер (а) и схема устройства помольной камеры вертикальной вибрационной мельницы (б)

Математическая модель работы вертикальной вибрационной балансирной мельницы в конечном виде представляет собой следующее:

$$\frac{dy_1}{dt} = \frac{[F(t) - P_1 - P_{21} + F_{21}(t) - R_1 \cdot y_1 - C_1 \cdot x_1 + R_2 \cdot (y_2 - y_1) + C_2 \cdot (x_2 - x_1)]}{m_{12}(t)},$$

$$\frac{dy_2}{dt} = \frac{[F_2(t) + F_{12}(t) - P_2 - R_2 \cdot (y_2 - y_1) - C_2 \cdot (x_2 - x_1)]}{m_2}. \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) описывают условия взаимодействия элементов колебательной системы, причем эти колеблющиеся элементы не связаны между собой. Эти дифференциальные уравнения решаются численными методами, например, методом Рунге – Кутты [2]. Входными параметрами являются амплитуда и частота возмущающей силы, масса мелющих шаров и масса измельчаемого материала. Искомыми данными являются перемещение, скорость и ускорение элементов колебательной системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данекер, В. А. Математическое моделирование режимов работы колебательной шаровой мельницы / В. А. Данекер // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 5. – С. 141–151.
2. Ханин, С. И. Математическая модель процесса движения мелющих тел в трубной мельнице с винтовыми устройствами / С. И. Ханин // Вестн. Белгород. гос. техн. ун-та имени В. Г. Шухова. – 2009. – № 3. – С. 91–96.

УДК 004.4 + 004.94

СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ РАСЧЕТЕ ПОДСТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ В ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS

Д. В. МИХАЛЬКОВ, М. А. ШКИЛЬНЮК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Информационное моделирование создает разнообразие возможностей для конструирования и расчета стальных конструкций во вкладке «Сталь». Такие расчеты, как конструирование и расчет сварного или болтового соединений конструкций, теперь не останутся простым условным обозначением на графической части проекта, а будут отражены в 3D-модели здания с необходимыми расчетами и пояснениями: тип электрода, катет сварного шва, тип болтового соединения, марка стали болтов и т. д.

Для конструирования и расчета стальных конструкций существует большой перечень программных комплексов: Revit, ArchiCad, Advance steel для проектирования (конструирования) и Lira, Robot, Scad для расчета.

Рассмотрим на примере Revit и Robot основные особенности проектирования стальной подстропильной фермы однопролетного одноэтажного производственного здания.

Во-первых, для удобства в дальнейшем необходимо определить базовую точку проекта и начать проектировать оси на ее пересечении, далее установить колонны. Для этого необходимо перейти в аналитическую модель проекта.

Во-вторых, следует понимать, что в Revit нет строго привязанных размеров, они все динамичны и изменяются при изменении взаимосвязанных параметров.

В-третьих, проектируя металлические конструкции, необходимо взять за правило постоянно проверять аналитическую модель запроектированных конструкций, т. к. в 3D-виде внешне все может выглядеть хорошо, а в аналитической модели может быть совершенно много ошибок и неточностей.

В-четвертых, для удобства в дальнейшей работе необходимо создавать семейства конструкций. Например, при проектировании многопролетных зданий и большого количества однотипных колонн, если необходимо их изменить, то придется менять этот элемент в каждой колонне отдельно, что может занять слишком много времени. Для таких ситуаций необходимо запроектировать одну типовую колонну, создать из нее семейство и в дальнейшем можно изменять всего одну типовую колонну.

В-пятых, в Revit есть перечень уже готовых решений в базе данных. Например, после установки колонн можно использовать из базы Revit готовую ферменную стропильную и подстропильную конструкцию, параметры которой можно исправить и применить при проектировании.

В дальнейшем, проведя конструирование каркаса и требуемые расчеты 3D-модели, следует сформировать все необходимые планы, разрезы, а также спецификации и ведомости, составляемые автоматически. Чертежи взаимно

связаны со спецификациями так же, как и все спецификации зависят от связанных с ними чертежей. Внося корректировки в графическую часть, автоматически вносят изменения в спецификации, и наоборот.

Следует дополнительно учитывать, что применение любого расчетного комплекса возможно после проведения сравнительного анализа сходимости результатов ручного и машинного расчетов.

На рис. 1 показаны результаты сравнительного анализа расчетов стальных подстропильных ферм, проведенных в расчетном комплексе Robot SAP, с результатами расчетов, выполненных вручную в соответствии с требованиями действующих ТНПА.

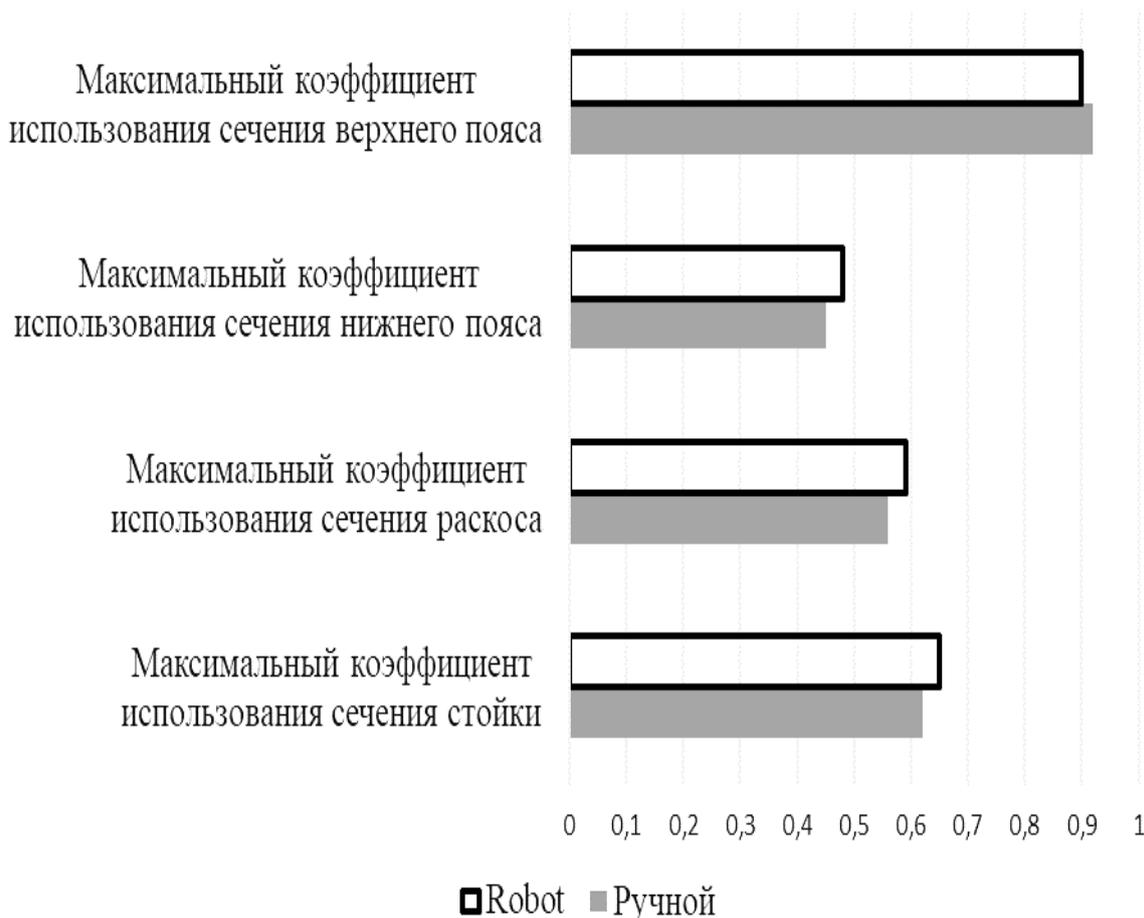


Рис. 1. Сравнение максимальных коэффициентов использования сечений при ручном расчете и расчете в Robot подстропильной фермы

Проведя анализ полученных результатов, можно сделать вывод о принципиальном соответствии результатов расчетов вручную и с использованием аналитического комплекса. Полученные различия обосновываются допусками при ручном расчете, а также особенностями машинных расчетов строительных конструкций.

УДК 624.151.5

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНДАМЕНТА НА ВЫБОР РАЗМЕРОВ ФУНДАМЕНТА

Ю. Г. МОСКАЛЬКОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Процесс проектирования железобетонных фундаментов связан с рассмотрением различных вариантов конструкции фундамента в одинаковых инженерно-геологических условиях. Вариантное проектирование необходимо для обеспечения требуемой долговечности при минимальных затратах на возведение и эксплуатацию.

Для сопоставления влияния конструктивных особенностей фундамента на выбор оптимальных размеров подошвы фундамента использовались данные технического заключения по инженерно-геологическим изысканиям. Величину продольного усилия, воспринимаемого фундаментом, можно определить исходя из значения расчетного момента M и плеча приложения силы $L = l / 2$: $N = M / L$. С другой стороны, усилие можно определить, умножив расчетное сопротивление грунта R на площадь поперечного сечения фундамента A : $N = R \cdot A$. Задаемся типовым размером фундамента $l / b = 1,4$. Тогда площадь фундамента $A = 1,4b^2$, длина $L = 0,7b$. Фундамент такой конструкции работает по «длинной» стороне. В качестве рабочей арматуры принимаем стержни диаметром 10 мм класса S500. В этом случае можно определить оптимальную ширину фундамента b_{opt} графическим методом, принимая глубину заложения подошвы фундамента d равной 1, 2 и 3 м.

На рис. 1 приведены графики, построенные на основании выполненных расчетов (табл. 1) при указанных значениях d . Точка пересечения кривых определяет значение оптимальной ширины подошвы фундамента b_{opt} .

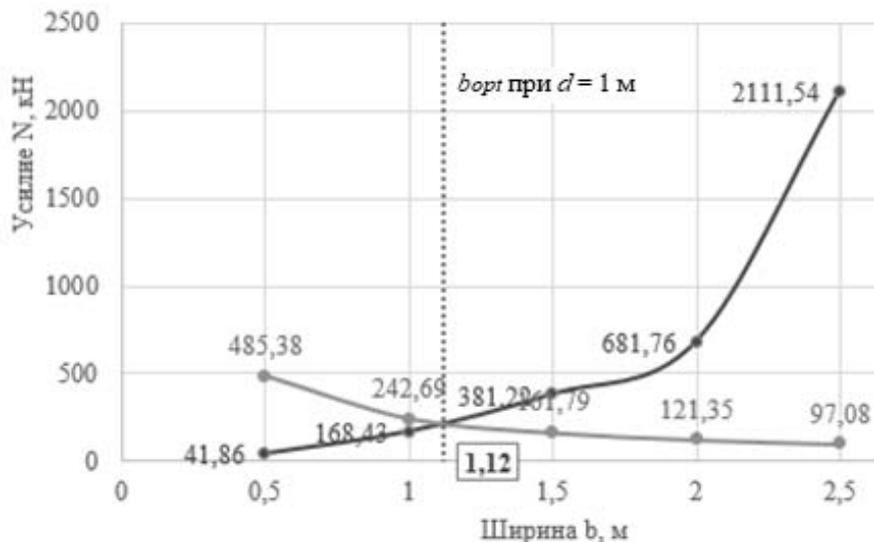
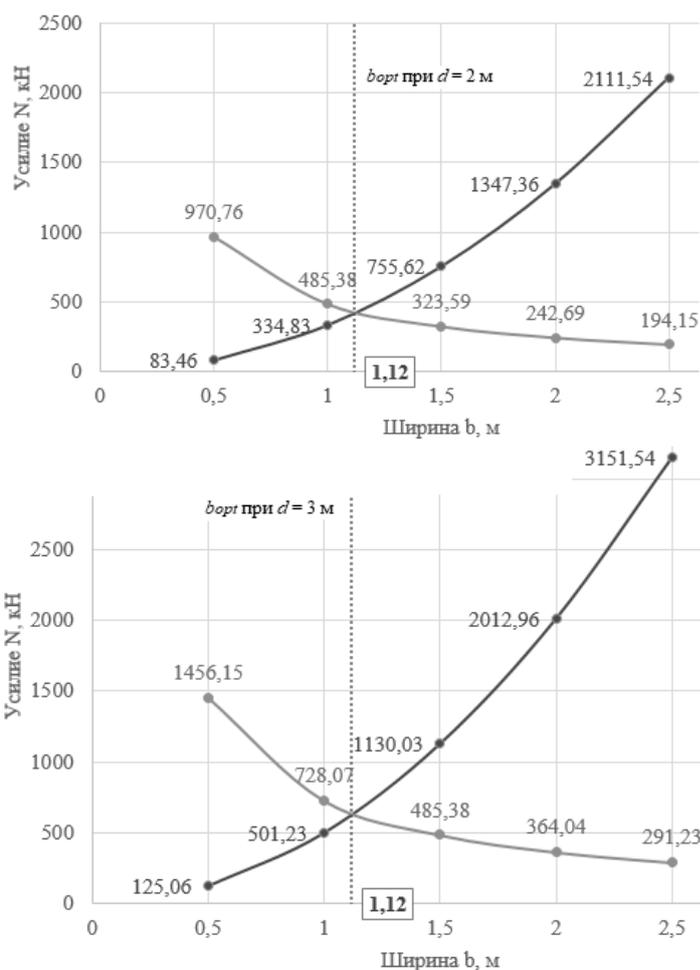


Рис. 1. Определение оптимальной ширины фундамента



Окончание рис. 1

Табл. 1. Сводная таблица значений N для определения b_{opt}

Формула для расчета N	Глубина заложения d , м	Величина расчетного усилия N , кН, при ширине подошвы фундамента b , м					Полученное значение оптимальной ширины подошвы фундамента b_{opt} , м
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
$N = R \cdot A$	1	41,86	168,43	381,22	681,76	2111,54	1,12
$N = M/L$		485,38	242,69	161,79	121,35	97,08	
$N = R \cdot A$	2	83,46	334,83	755,62	1347,36	2111,54	1,12
$N = M/L$		970,76	485,38	323,59	242,69	194,15	
$N = R \cdot A$	3	125,06	501,23	1130,03	2012,96	3151,54	1,12
$N = M/L$		1456,15	728,07	485,38	364,04	291,23	

Исходя из графиков видно, что при прочих равных условиях выбор типа и размеров фундамента не зависит от конструктивных особенностей фундамента. Таким образом, оптимальное значение ширины подошвы фундамента b_{opt} будет зависеть только от расчетного сопротивления грунта R и давления под подошвой P_{max} .

УДК 614.8

МЕТОДЫ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ РИСКА

П. С. ОРЛОВСКИЙ¹, А. П. БЫЗОВ²¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Россия

Управление риском нуждается в четком аргументировании принимаемых решений о значимости какого-либо риска, что реально при выполнении точных количественных расчетов и математического моделирования. Для оценки риска используют качественные и количественные методы. Качественные методы определяют комплексную оценку вероятности наличия риска и ущерба от него. Количественные методы включают в себя математическое моделирование. Количественные методы очень трудоемкие, однако способствуют выявлению ряда вариантов для получения результата [1, 2].

Существуют такие методы количественной оценки риска, как статистический, вероятностный, аналитический и метод аналогий. Самым распространенным считается статистический метод. Он предполагает расчет вероятности возникновения случайного события. Преимущество метода в несложных расчетах, а слабость – в необходимости значительного объема данных. Вероятностный метод стали применять относительно недавно. Метод аналогий основывается на исследовании базы данных об оценке риска подобных объектов.

С аналитическим методом связана математическая модель. Цель использования математического моделирования для оценки риска заключается в представлении общей модели:

$$R = f(P, I),$$

где P – вероятность возникновения нежелательного события; I – результат воздействия факторов риска.

Для количественной оценки риска и для оценки вероятных последствий от возникновения неблагоприятного события нередко применяют имитационное моделирование. Имитационный метод основывается на последовательном получении значения показателя при помощи выполнения экспериментов с моделью. В ходе имитации пошагово описываются сценарии с применением пере-

менных модели. По полученным значениям делается заключение о величине потенциального ущерба.

Итогом количественной оценки риска является показатель. Группы показателей риска в полной мере зависят от необходимого объема информации. Система показателей оценки риска включает в себя условия определенности, частичной неопределенности и полной неопределенности. В условиях определенности используются абсолютные, относительные и средние показатели, в условиях частичной неопределенности – вероятностные и статистические [3–5].

В заключение следует отметить наличие плюсов и минусов тех или иных методов количественной оценки. На наш взгляд, для комплексной оценки риска следует сочетать методы качественного и количественного анализа, к тому же в определенном положении сопоставлять пределы и перспективы использования всех методов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Щур, А. В.** Модель распределения индивидуальных дозовых нагрузок от ^{137}Cs , полученных в результате Чернобыльской катастрофы / А. В. Щур, В. И. Гуменюк, П. С. Орловский // Неделя науки СПбПУ: материалы науч. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 18–23 нояб. 2019 г.: в 3 ч. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – Ч. 3. – С. 31–33.
2. **Орловский, П. С.** Концепция рисков / П. С. Орловский, В. И. Гуменюк // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 247–248.
3. **Орловский, П. С.** Прогнозирование риска для жизнедеятельности населения в результате техногенных аварий с выбросами радионуклидов / П. С. Орловский, В. И. Гуменюк, А. В. Щур // Неделя науки СПбПУ: материалы науч. форума с междунар. участием. – Санкт-Петербург: Политехн. ун-т, 2018. – С. 138–157.
4. **Arlouski, P.** Risks to the population life activity as a result of man-made accident with the emissions of radionuclides / P. Arlouski, V. Gumenyuk, A. Shehur // Abstracts Processing of the Conference Environment knowledge and Policy Innovation between East and West. – Minsk: Varaksin A. N., 2019. – P. 78–80.
5. **Орловский, П. С.** Проблемы оценки риска радиоактивного загрязнения продуктов / П. С. Орловский, М. А. Шалухова // Техногенные системы и экологический риск: тез. докл. III Междунар. (XVI Регион.) науч. конф. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 134–136.

УДК 539.3

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОР ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИОЛЕФИНОВ И НЕФТЕШЛАМОВ

А. А. ПОДДУБНЫЙ, К. В. ЕФИМЧИК

Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

Острота проблемы отходов связана с глобальными масштабами их образования. По оценкам международных экспертов 2018 г. в мире ежегодно собирается около 1,3 млрд т коммунальных (муниципальных) отходов [2]. С каждым годом эта цифра растет.

Неиспользованные твердые коммунальные отходы (далее – ТКО) захораниваются в специально оборудованных местах (на полигонах) с учетом требований к охране окружающей среды.

Применение этих методов использования ТКО в странах ЕС и Республике Беларусь представлено на рис. 1.

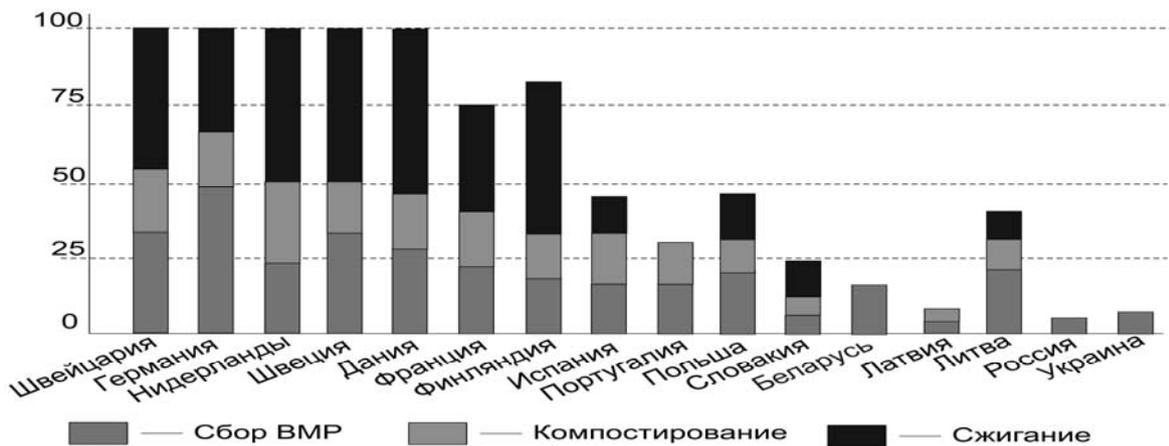


Рис. 1. Уровень использования и захоронения ТКО

В Республике Беларусь вопросы управления отходами стоят так же остро, как и во всем мире. Отходы превращаются в проблему, представляющую угрозу экологической безопасности и здоровью человека.

Предлагается использование полимерных отходов и отходов нефтепродуктов без дополнительной переработки. Использование нефтесодержащих добавок в качестве наполнителей полимерных материалов может стать эффективным решением ряда экологических и социальных проблем, а также позволит частично снизить применение дорогостоящих методов утилизации [1].

Методом горячего прессования авторами были изготовлены опытные образцы из отходов добычи нефти и полиэтилена высокого давления в виде столбов длиной 3000 мм.

Испытание материала на сжатие проводилось в научно-исследовательской лаборатории «ДИИСМиК» УО «БелГУТ» на гидравлическом испытательном прессе Matest C040N (рис. 2).



Рис. 2. Испытание материала: *a* – оборудование для испытания; *б* – кубик до испытания; *в* – кубик после испытания

Испытанию подвергались изделия в виде куба со стороной 30 мм до испытаний на светостойкость и атмосферостойкость и после них.

Результаты испытания свидетельствуют о возможности применения данного материала в качестве конструкционного. При возникновении максимального усилия материал начинает плавно разрушаться и деформироваться, в то время как бетон резко теряет свои свойства и разрушается (рис. 3).

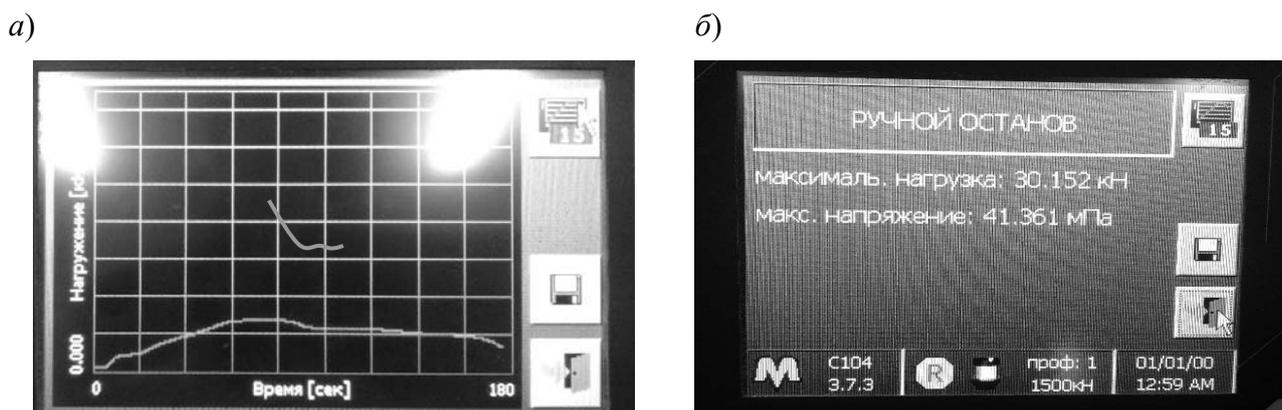


Рис. 3. Результаты испытания: *a* – зависимость нагрузки от времени; *б* – средняя нагрузка и напряжение

Исходя из полученных данных, авторы предлагают использовать изготовленные опытные образцы столбов как несущие опоры для монтажа систем охранной сигнализации (ключей проволоки или металлической сетки), для монтажа всевозможных ограждений, а также как конструкционные материалы в качестве балок, перекрытий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поддубный, А. А. Функциональные композиционные материалы на основе полиолефинов и жидких отходов нефти / А. А. Поддубный // Вестн. БелГУТа. Сер. Наука и транспорт. – 2019. – № 2 (39). – С. 33–36.

2. Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 июля 2017 г., № 567.

УДК 625.7/8

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА
В ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИТ. А. ПОЛЯКОВА¹, А. М. СЕРГЕЕВА¹, С. А. ТЫЛЕЦ²¹Белорусско-Российский университет²РУП «Могилевавтодор»

Могилев, Беларусь

Большинство методов управления, используемых многие годы в дорожно-строительном комплексе, в настоящее время являются малоэффективными. Сегодня организации, чтобы быть конкурентноспособной в условиях рынка, необходимо не только использовать современные технологии, оборудование и материалы, но и добиваться более высокого уровня качества и повышения эффективности работы. Для этого необходимо организовать деятельность предприятия и управлять ею с использованием передовых методов [1].

Известная в мире концепция управления «Бережливое производство», разработанная в Японии, является одним из направлений менеджмента качества. Основная сущность концепции состоит не в сокращении реальных расходов на выполнение работ, а в сокращении потерь, которые неизбежно присутствуют на каждом технологическом этапе. Идеи бережливого производства эффективно применяются во всем мире в автомобилестроении, IT-отрасли, нефтедобыче и других отраслях народного хозяйства. Концепция «Бережливое строительство» предусматривает применение различных инструментов для снижения стоимости объектов, сокращения сроков строительства и улучшения качества, повышения культуры и эффективности производства, роста рентабельности и заработной платы работников. К основным используемым направлениям можно отнести «Последний планировщик», «Кайдзен», «5S», «Точно вовремя», «Построение карт потока создания ценности» и др. [2, 3].

Организации дорожно-строительной отрасли рассматриваемый метод управления практически не применяют. Это обусловлено, прежде всего, непониманием руководителями принципов концепции и особенностей ее внедрения с учетом специфики производства дорожных работ, нежеланием изменения и перенастройки отлаженных способов управления.

В дорожно-строительном комплексе Могилевской области одной из ведущих организаций является РУП «Могилевавтодор». Его основная стратегия в области качества – поддержание и развитие сети республиканских автодорог Могилевской области на уровне лучших в республике путем освоения новых методов работы, методов управления, технологий, применения современных материалов. В данном направлении предприятие работает в соответствии с СТБ ISO 9001–2015.

Вместе с тем РУП «Могилевавтодор» силами своих работников создает интегрированную систему менеджмента качества. Особое внимание уделяется снижению потерь рабочего времени на всех этапах выполнения дорожно-

строительных работ, которые составляют иногда до 30 % продолжительности рабочей смены.

В 2018 г. переработан и внедрен стандарт предприятия СТП 7.2 *Процесс выполнения дорожных работ*, в который включены требования применения в структурных подразделениях (дорожно-эксплуатационных участках) двух инструментов концепции «Бережливое производство» – «Последний планировщик» и «Построение карт потока создания ценности» (КПСЦ).

Так, при построении КПСЦ и рассмотрении потерь для процесса ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий органоминеральными складуемыми смесями на автомобильных дорогах, обслуживаемых линейной дорожной дистанцией ЛДД 711, получен результат в виде увеличения производительности труда в 3 раза. Внедрение инструмента «Последний планировщик» показало увеличение производительности труда работников ЛДД на 120...130 % [4].

В результате детального анализа выполнения работ по лучшей КПСЦ с использованием видеоматериалов процесса принимаются меры по улучшению работы на всех ЛДД.

Для уменьшения потерь на рабочих местах начата работа по внедрению еще одного инструмента концепции – «5S», который направлен на рациональную организацию рабочего места каждого работника, что позволит повысить эффективность работ на захватке, улучшить культуру производства и сохранить время.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что очевидна реальная эффективность применения инновационной методики управления «Бережливое производство» в структурных подразделениях РУП «Могилевавтодор». Поэтому можно рекомендовать шире внедрять данную концепцию управления в дорожно-строительные организации. Вместе с тем необходимо отметить, что требуется тщательно подходить к подготовке и внедрению рассматриваемого метода с учетом особенностей предприятия и учитывать длительный срок внедрения для получения положительных результатов. Важным моментом является также необходимость обучения работников на всех уровнях с передачей отечественного и зарубежного опыта лучших предприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Черных, Е. А.** Организация строительного производства: бережливый подход / Е. А. Черных // Менеджмент качества. – 2010. – № 01 (09). – С. 44–55.
2. Профессионалы бережливого производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.leanforum.ru/>. – Дата доступа: 10.12.2019.
3. **Вейдер, М.** Инструменты бережливого производства. Мини-руководство по внедрению методик бережливого производства / М. Вейдер. – Москва : Альпина Паблишер, 2015. – 151 с.
4. **Тылец, С. А.** Применение концепции «Бережливое строительство» при ремонте и содержании автомобильных дорог РУП «Могилевавтодор» / С. А. Тылец // Автомобильные дороги: безопасность и надежность: сб. докл. Междунар. юбилейной науч.-техн. конф., Минск, 22–23 нояб. 2018 г.: в 2 ч. – Минск: БелдорНИИ, 2018. – Ч. 2. – С. 209–219.

УДК 691.32

ДЕФОРМАЦИИ УСАДКИ КЕРАМЗИТОБЕТОНА
НА ОСНОВЕ КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ

В. А. РЖЕВУЦКАЯ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Процесс твердения бетона сопровождается таким явлением, как усадка. Усадка бетона может быть вызвана нарушением гигрометрического равновесия между воздухом и влажным капиллярно-пористым бетоном, в том числе физическими и химическими процессами, наблюдающимися в гелевой структуре цементного камня [1]. Отличительной чертой при анализе деформаций усадки керамзитобетона является увеличение бетонного образца в объеме в течение первых суток (явление набухания), а в последующем – уменьшение объема образца (явление усадки).

Следует отметить взаимосвязь между деформациями усадки и всеми компонентами бетонной смеси. Автор [2] установил корреляционную связь между усадкой и упругостью бетона, которая существенно зависит от прочности и крупности используемого заполнителя.

Эмпирически установлено [3] снижение усадочных деформаций на 44 % при увеличении на 175 кг/м^3 объема цемента в бетонной смеси, но при увеличении значения водоцементного отношения усадка увеличивается (коэффициент детерминации равен 0,92).

Значительно влияние механических, производственных и технических факторов на усадку керамзитобетона. В [4] анализировали деформации усадки и ползучести керамзитобетона после пропарки и естественного твердения в течение 360 сут. Эмпирически было установлено, что деформации усадки пропаренных образцов в 1,27 раза меньше усадки образцов естественного твердения того же состава.

В [5] отмечено, что в условиях естественной влажности в ненагруженных бетонных образцах деформации усадки примерно равны суммарным деформациям усадки и ползучести нагруженных образцов.

Исследование процесса усадки осуществлялось на образцах-призмах ($150 \times 150 \times 600 \text{ мм}$) по методике, соответствующей ГОСТ 24544–81* [6] при хранении образцов в нормально-влажностном условии. Разопалубка бетонных образцов была произведена на 3 сут, а начало снятия показаний для определения усадочных деформаций – на 7 сут.

Для определения призмной, цилиндрической и кубиковой прочности было испытано по три образца соответственно.

Образцы изготавливали на основе следующих материалов: керамзитового гравия фракции 4...10 мм производства ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль»; портландцемента марки М500 производства ОАО «Белорусский цементный завод»; речного песка с насыпной плотностью 1670 кг/м³.

Состав бетонной смеси: К : П : Ц = 0,79 : 1,84 : 1, при водоцементном отношении (В/Ц) = 0,52.

В табл. 1 приведены результаты экспериментальных исследований деформаций усадки керамзитобетона.

Табл. 1. Результаты определения деформаций усадки керамзитобетона

Возраст образцов, сут	Относительные деформации усадки, $\times 10^{-5}$
7	0
14	1,37
21	5,12
28	7,19
60	15,94
90	21,43
120	26,73

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пирадов, А. Б.** Конструктивные свойства легкого бетона и железобетона / А. Б. Пирадов. – Москва: Стройиздат, 1973. – 133 с.
2. **Reichard, T. W.** Creep and drying shrinkage of lightweight and normal-weight concretes / T. W. Reichard. – Washington D. C.: US Government Printing Office, 1964. – 42 p.
3. **Bogas, J. A.** Influence of mineral additions and different compositional parameters on the shrinkage of structural expanded clay lightweight concrete / J. A. Bogas, R. Nogueira, N. G. Almeida // *Materials & Design*. – 2014. – Vol. 56 (4). – P. 1039–1048.
4. Усадка и ползучесть керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем / А. С. Столевич [и др.] // *Вісн. Одеської держ. акад. будівництва та архітектури*. – 2011. – № 44. – С. 1–4.
5. **Ахвердов, И. Н.** Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. – Москва: Стройиздат, 1981. – 464 с.
6. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести: ГОСТ 24544–81*. – Переиздание (ноябрь 1987 г.) с Изменением № 1 (введено в действие с 01.05.1985, утв. 24.04.1985); введ. 01.01.1982. – Москва : Госстандарт, 1980. – 26 с.

УДК 625.7:504.06

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ УСТОЙЧИВЫХ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

А. Ю. СКРИГАН, В. С. ЛУЖКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Устойчивые дренажные системы – это системы, основанные на процессах в естественных экосистемах при отводе поверхностных вод с городской территории. Роль естественных и квази-естественных систем в городе для поддержания экологического равновесия, сохранения качества окружающей среды, создания комфортных и эстетически привлекательных условий жизни чрезвычайно велика. При этом в современном городе в условиях плотной застройки и высокой цены на землю сложно создать или сохранить значительные по размеру зеленые территории. В этом случае устойчивые дренажные системы, являющиеся по сути квази-естественными экосистемами, могут компенсировать часть экологических функций природных экосистем.

Цель создания устойчивых дренажных систем состоит в сборе дождевых и талых вод, замедлении их движения по поверхности земли, переводе поверхностного стока в подземный и в предварительной очистке вод от загрязнений. Существуют различные типы устойчивых дренажных систем, каждый из которых имеет разные подходы к управлению водными потоками и качеством воды.

Целью данной работы является анализ устойчивых дренажных систем с точки зрения их способности к очистке поверхностных вод и возможности реализации таких решений в условиях существующей застройки. На основе изучения и обобщения статистических данных и научных публикаций были выделены критерии оценки: возможность контроля и управления водным стоком, возможность применения в районах с высокой плотностью застройки или при реализации проектов модернизации либо джентрификации городской территории, возможность использования на территориях с высоким уровнем загрязнения природных компонентов, способность к очищению и экологический потенциал, включая условия для создания комфортной и эстетически привлекательной среды обитания. Результаты качественной оценки устойчивых дренажных систем по перечисленным показателям представлены в табл. 1 (1 – низкое, 2 – среднее, 3 – высокое значение показателя).

Анализ табл. 1 позволяет сделать вывод, что в условиях существующей застройки с высокой плотностью и высоким уровнем загрязнения природной среды наибольшим экологическим потенциалом, техническими и экономическими возможностями для практической реализации обладают зеленые пар-

ковки и дождевые сады, применение которых возможно на плотно застроенных территориях, а их создание обеспечивает не только регулирование и очистку поверхностного стока, но и повышает озелененность территории и ее эстетическую привлекательность.

Табл. 1. Экологическая эффективность устойчивых дренажных систем на городских территориях

Тип устойчивой дренажной системы	Использование в			Уменьшение поверхностного стока	Способность к очистке	Экологический потенциал
	условиях плотной застройки	модернизации существующей застройки	условиях высокого уровня загрязнения			
Зеленые крыши	3	1	3	2	3	3
Зеленые парковки	3	3	3	3	3	1
Канавы	2	1	3	2	2	2
Кюветы и рвы	3	3	2	2	1	2
Фильтрационные системы (полосы, траншеи, биологическое удержание)	2	3	2	2	1	2
Дождевые сады	3	3	1	3	2	3
Инфильтрационные бассейны	1	1	1	2	3	3
Уловители	3	3	1	3	3	1
Накопительные пруды	1	1	2	2	3	3
Водно-болотные угодья	1	1	2	3	3	3

Средним потенциалом обладают зеленые крыши и уловители. В этом случае ограничивающим фактором выступает высокая стоимость таких систем и ограничения в проектах по модернизации и джентрификации старой городской застройки.

Все остальные технические решения обладают относительно небольшим потенциалом, что связано с тем, что все эти системы для своего строительства требуют значительных площадей (что практически невозможно в условиях плотной застройки) и предполагают наличие открытой водной поверхности, что сопряжено с эстетическими минусами – запахом, комарами и пр.

На основе выделенных критериев и полученных качественных оценок устойчивых дренажных систем планируется выполнение количественной оценки их потенциала в регулировании поверхностного стока.

УДК 665.775.4

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МОДИФИКАТОРОВ
НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПОЛИМЕРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

Ю. А. СТЕПАНОВИЧ, А. О. ШРУБОК, Е. А. ТВЕРДОВА
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

В настоящее время наблюдается ускоренный износ дорожных покрытий, что связано со значительно превышающими нормативными нагрузками и увеличивающимся трафиком автомобильного транспорта. Длительность бездефектного срока службы дорожного полотна зависит от многих факторов, но преимущественно она обусловлена качеством используемого вяжущего. Для увеличения срока службы дорожного полотна и улучшения его прочностных характеристик в качестве вяжущих рекомендуется применять многокомпонентные битумные материалы, состоящие из нефтяного битума и различных полимеров и других добавок.

Несмотря на то, что полимерно-битумные вяжущие (ПБВ) отличаются повышенной температурой размягчения, высокой эластичностью, тепло- и морозостойкостью, на данный момент в Республике Беларусь доля использования таких материалов значительно ниже, чем в других европейских странах. Это обусловлено значительным увеличением себестоимости готового вяжущего за счет использования дорогостоящего полимерного компонента, а также сложность получения однородного материала, способного длительное время сохранять свою стабильность.

Перспективным решением этой проблемы представляется использование в качестве добавок к битумным вяжущим комбинированных модификаторов с использованием полимерных отходов. В качестве добавки к битумным вяжущим может применяться низкомолекулярный полиэтилен (НМПЭ) – отходы производства полиэтилена высокого давления [1]. Ранее авторами [2] было установлено, что добавление НМПЭ к сырью окисления гудрона и диспергирование с уже готовым битумом положительно влияют на свойства готовых битумных смесей. Применение НМПЭ не требует использования дорогостоящих смесительных устройств ввиду его низкой температуры плавления и хорошей совместимости с нефтяным битумом. Однако использование полимерных отходов как компонентов полимер-полимерной смеси для модификации битума требует дополнительного изучения структурных особенностей дисперсной системы «нефтяной битум – полимер».

Цель данной работы состояла в разработке новых составов ПБВ с использованием комбинированного модификатора на основе отходов полимерных

производств – низкомолекулярного полиэтилена, и изучение влияния данного модификатора на эксплуатационные свойства полимерно-битумных вяжущих.

В качестве сырья для приготовления ПБВ использовали нефтяной битум марки БНД 70/100 производства унитарного предприятия «Нефтебитумный завод». Полимерный модификатор представлял собой хорошо совместимый с битумом термоэластопласт марки Kraton D-1101 AS (смесь сополимеров стирола и бутадиена) в смеси с НМПЭ, образующегося на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан». Для лучшего распределения полимерных добавок в объеме битума в качестве пластификатора использовали вакуумный дистиллят ВД-3 производства ОАО «Нафтан».

Полимерно-битумные вяжущие получали при температуре 160...180 °С и интенсивном механическом перемешивании в течение 2 ч. Предварительно приготовленные комбинированные модификаторы вводили в горячий битум в количестве 2...10 масс. %. Для всех полученных образцов определяли следующие показатели: температура размягчения по методу кольца и шара, пенетрация, температура хрупкости по Фраасу, структурно-групповой состав.

На основании экспериментальных данных был подобран оптимальный состав комбинированного модификатора: Kraton D-1101 AS : НМПЭ : ВД-3 в соотношении 2 : 2 : 1.

Установлено, что у полученных полимерно-битумных вяжущих с увеличением концентрации комбинированного модификатора возрастает температура размягчения, снижается температура хрупкости и пенетрация. При этом анализ данных ИК-спектроскопии и структурно-группового состава указывает на перестройку структуры полимерно-битумных вяжущих. На основании полученных зависимостей выбраны составы ПБВ, представляющие интерес для использования их в дорожном строительстве.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ в рамках научного проекта № Т19М-049 «Разработка принципов создания битумно-полимерных композиционных материалов повышенной стабильности».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булавка, Ю. А. Современные альтернативные направления промышленного использования низкомолекулярного полиэтилена / Ю. А. Булавка, Ю. С. Петровская, В. С. Ширабордина // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2017. – № 11. – С. 103–110.

2. Степанович, Ю. А. Комбинированные полимерные модификаторы для битумных вяжущих / Ю. А. Степанович, А. О. Шрубок // Технология органических веществ: тез. докл. 84 науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с междунар. участием), Минск, 3–14 февр. 2020 г. – Минск: БГТУ, 2020. – С. 135–136.

УДК 72.035 (476.4)

АРХИТЕКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ЗАЩИТА ДРЕВЕСИНЫ
ОТ ВЛАЖНОСТИ В ТРАДИЦИОННОЙ ЖИЛОЙ
ЗАСТРОЙКЕ БЕЛАРУСИ

Е. С. ХМЕЛЬНИЦКИЙ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Древесина является естественным природным сырьем и, соответственно, намного больше подвержена влиянию влажности, чем другие строительные материалы. Прежде всего это связано со строением: слоисто-волоконистая микроструктура древесины способствует интенсивному поглощению влаги из окружающей среды, а также впитыванию воды при прямом замачивании. Гигроскопичность древесины, изменение собственной влажности в зависимости от температуры и влажности окружающей среды является одним из основных её негативных свойств в качестве материала для строительных конструкций. При это влажность древесины и величина возможной абсорбции всегда будет зависеть не только от влажности воздуха окружающей среды, но и от температуры и внутреннего, поддерживаемого в сооружении, микроклимата. Вода может содержаться в древесине в двух основных разновидностях – связанная и свободная. Связанная вода расположена в стенках клеток, а свободная – в полостях клеток и в межклеточном пространстве. В обоих случаях влага оказывает существенное влияние на различные свойства дерева. Высокое содержание влаги отрицательно сказывается на теплопроводности, звукоизоляционных свойствах и плотности. Также это ведёт к уменьшению прочности на сжатие, смятие и статический изгиб и увеличению деформативности при снижении модуля упругости. Помимо этого, при значительном увлажнении древесины (более 20 %), на деревянных конструкциях могут развиваться процессы гниения.

Анизотропное строение древесины сформировало ряд факторов, которые влияют не только на механические и физические свойства, но и на скорость распространения влаги внутри деревянного элемента. Это связано с вытянутой формой клеток в стволе дерева. Их структура изначально сформирована таким образом, чтобы обеспечить передачу воды и питательных веществ от корней к кроне в процессе жизнедеятельности. Поэтому при защите конструкций от увлажнения прежде всего стоит обращать внимание на торцы элементов и на места, подвергнутые механической обработке (распиловка, устройства монтажных отверстий, обработка топором). Примером конструктивной защиты от атмосферного увлажнения может служить защита торцов балок между основным объемом здания и чердачным пространством на жилом доме в д. Коровчино Дрибинского района Могилевской области. Несмотря на то, что торцы круглых балок защищены свесом кровли от прямого увлажнения атмосфер-

ными осадками, на них закреплены дополнительные деревянные короба (рис. 1). Данные элементы также позволяют слегка сместить возможное место образования точки росы за пределы общего контура здания и, соответственно, сдвинуть вероятную линию разрушения при попеременном сезонном изменении влажности и температуры от мест соприкосновения основных несущих конструкций. Также данные короба вместе с декоративной обшивкой здания, выполненной из досок, формируют общий вид фасада, т. к. образуют общие с ним прямые контуры.

Примером конструктивной защиты конструкции стены от прямого увлажнения может служить устройство козырька на уровне края свеса кровли на главном фасаде жилого дома в д. Глуша Бобруйского района Могилевской области (рис. 2). Данный элемент позволяет продлить срок службы всего сооружения за счёт устройства дополнительной защиты от попадания косых атмосферных осадков на более открытый главный фасад. Это позволяет увеличить срок службы здания за счёт ремонта козырька, а не отдельных бревен сруба. Помимо этого, такой элемент формирует более выразительный внешний вид сооружения и создает светотеневую композицию.



Рис. 1. Фасад жилого дома в д. Коровчино Дрибинского района



Рис. 2. Жилой дом в д. Глуша Бобруйского района

Таким образом, практически любой конструктивный элемент, предназначенный для защиты древесины от увлажнения, при грамотном подходе может нести декоративную функцию и участвовать в формировании общего архитектурного облика здания, а также может служить для сокрытия уже имеющихся дефектов, вызванных неправильной эксплуатацией деревянных конструкций.

УДК 665.775.4

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СТАБИЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

А. О. ШРУБОК, Ю. А. СТЕПАНОВИЧ

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

Качественное вяжущее в составе асфальтобетонного покрытия позволяет существенно снизить затраты на эксплуатацию и ремонт дорожных покрытий за счет увеличения его интервала пластичности, долговечности и деформационной устойчивости. К материалам, обеспечивающим широкий температурный рабочий интервал, хорошую трещиностойкость и устойчивость к деформациям дорожных покрытий, можно отнести полимерно-битумные вяжущие. В методических рекомендациях по применению полимерно-битумных вяжущих в дорожном строительстве основными принципами их получения указаны хорошая совместимость и достаточная кинематическая устойчивость получаемых вяжущих. Однако на практике выполнение этих условий не является достаточным для получения стабильных при хранении и воздействии высоких температур полимерно-битумных материалов.

Анализ литературных и экспериментальных данных показал [1], что в технологии производства стабильных полимерно-битумных вяжущих необходимо учитывать строение и структуру полимера, возможность его переработки в условиях приготовления полимерно-битумных вяжущих; взаимодействие полимера с компонентами нефтяного битума; стабильность системы полимер-битум; комплекс эксплуатационных характеристик получаемых полимерно-битумных материалов; изменение структурно-группового состава и эксплуатационных свойств полимерно-битумных материалов в процессе хранения и воздействия высоких температур. Перечисленные принципы были приняты во внимание при разработке новых эффективных полимерных модификаторов для нефтяного битума.

Был выполнен ТГА- и ДСК-анализ широкого круга полимеров: блоксополимеров на основе стирола и бутадиена (СБС Р 30-00, ДСТ 30-01, Kraton D 0243Et, Kraton 1101-As), термоэластопластов (полиэтиленовый порошок, Evatane 18-150, Evatane 4e654-04, НМПЭ), каучуков (СКЭП, СКЭПТ), синтетических восков (Sasobit Wax, окисленный полиэтиленовый воск). Установлено, что в условиях приготовления полимерно-битумных вяжущих (160...180 °С) полимерные образцы устойчивы к действию температур, не наблюдается изменение их массы и химических превращений вещества.

На основе физико-механических и химических свойств полимеров были разработаны несколько полимер-полимерных смесей, пригодных для использования в производстве вяжущих. Например, в качестве модификаторов нефтяных битумов предложено использовать добавку на основе отхода производства – НМПЭ (завод «Полимир» ОАО «Нафтан») и синтетических восков для мо-

дификации окисленного битума. Количество синтетических восков в смеси не превышало 10 масс. %.

Полимерно-битумные вяжущие получали следующим образом: в нагретый до температуры 160...180 °С нефтяной битум марки БНД 70/100 при постоянном перемешивании на диспергаторе ИКА T18 Ultra Turrax вводили модификатор до получения однородных вяжущих. Количество вводимой добавки составляло 2...8 масс. %. Для полимерно-битумных вяжущих определяли эксплуатационные характеристики (температуру размягчения, пенетрацию, температуру хрупкости), структурно-групповой состав. Установлено, что с возрастанием количества введенного модификатора наблюдается увеличение температуры размягчения вяжущего на 3...21 °С, температуры хрупкости на 2...4 °С, интервала пластичности на 5,5...24 °С и снижение пенетрации на 6...11 × 0,1 мм по сравнению с исходным нефтяным битумом. По своим свойствам полимерно-битумные вяжущие, содержащие 4...8 масс. % модификатора, соответствуют марки модифицированного битума БМА 70/100.

Оценку стабильности полимерно-битумных вяжущих осуществляли в соответствии с разработанной ранее методикой оценки изменения структурно-группового состава в процессе хранения вяжущего по объему битума [2]. Данная методика позволяет спрогнозировать изменение эксплуатационных свойств полимерно-битумных материалов для любых полимер-битумных систем при хранении и воздействии высоких температур. При хранении в условиях повышенных температур полимерно-битумные вяжущие, полученные модификацией битума добавкой на основе НМПЭ и синтетических восков, незначительно изменяют свои качественные характеристики, состав вяжущего остается постоянным по всему объему материала, что свидетельствует о высокой стабильности полимерно-битумных материалов.

Таким образом, комплексный подход при разработке составов полимерно-битумных вяжущих позволяет создавать стабильные полимерно-битумные композиции, а предложенные принципы могут использоваться при разработке технологических приемов получения новых битумно-полимерных материалов для дорожных, строительных и гидроизоляционных работ.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ в рамках научного проекта № T19M-049 «Разработка принципов создания битумно-полимерных композиционных материалов повышенной стабильности».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Thermodynamics, phase diagrams, and stability of bitumen-polymer blends / J. F. Masson [et al.] // Energy&Fuels. – 2003. – № 17. – P. 714–724.
2. **Шрубок, А. О.** Анализ и совершенствование методов оценки стабильности полимерно-битумных вяжущих / А. О. Шрубок, Б. Ж. Хаппи Вако, Ю. А. Степанович // Тр. БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – Минск : БГТУ, 2020. – № 2 (235). – С. 69–75.

УДК 574.5+573.6

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ
ФИТОРЕМЕДИАЦИИ В ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

А. В. ЩУР, О. В. ВАЛЬКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Арктический регион имеет свои особенности: вечная мерзлота; короткий вегетационный период; особый режим освещенности («полярный» день и «полярная» ночь), который является стрессовым для растительности средней полосы, что затрудняет её интродукцию; гумусовый горизонт почв небольшой мощности или отсутствует, образуя карманы под растительными куртинами и исчезая под пятнами, лишенными растительности; органогенные почвенные горизонты большей мощности характерны для южных территорий региона. Важным лимитирующим фактором является суровый климат, определяющий низкое биоразнообразие. Глубокое промерзание почв снижает возможности развития почвенной биоты, включая микроценоз, видовое разнообразие и численность которого невысокая. Значительное влияние на автотонную флору и фауну оказывает изменение климата. Потепление негативно влияет на численность и жизнедеятельность живых организмов, приспособленных к условиям обитания в арктическом регионе.

Антропогенные нагрузки в Арктике и Субарктике выражаются в значительном загрязнении окружающей среды различными экотоксикантами – радионуклидами техногенного и природного происхождения, тяжелыми металлами, отходами производства и жизнедеятельности человека и рядом других, связанных с армейской активностью и передислокацией воинских подразделений в 90-е гг. XX в. из региона.

Существует достаточно значительное количество направлений и методов фитобиоремедиации техногенно нарушенных территорий [1–4]. Установлено, что из-за вышеуказанных особенностей арктического региона многие ранее разработанные и апробированные технологии восстановления нарушенных и загрязненных почв неэффективны.

Ведущиеся исследования позволяют предложить ряд наиболее перспективных направлений восстановления нарушенных почв. В частности, отбор наиболее перспективных деструкторов и иммобилизаторов, а также азотфиксаторов и нитрификаторов, фосфатмобилизаторов из местной микрофлоры, их селекцию и, при необходимости, геномодификацию.

С целью создания эффективного микробно-растительного сообщества целесообразно использовать аборигенные виды и сорта растений либо интродуцировать эврибионтные формы, приспособленные выживать в условиях Крайнего Севера.

Следует отметить, что в настоящее время осуществлен подбор эврибионтных растений, способных накапливать значительные концентрации ряда тяжелых металлов и радионуклидов в вегетативных органах, что позволит снижать почвенные концентрации поллютантов и активировать полезную микрофлору.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Щур, А. В.** Некоторые направления фиторемедиации техногенно поврежденных территорий в Республике Беларусь / А. В. Щур, В. П. Валько, Д. В. Виноградов // Вестн. Рязан. гос. агротехнол. ун-та им. П. А. Костычева. – 2015. – № 2 (26). – С. 14–20.
2. Создание микробно-растительной ассоциации для фиторемедиации почвы, загрязненной нефтью и продуктами ее переработки / А. А. Федоренчик [и др.] // Биотехнология и качество жизни: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 18–20 марта 2014 г. – Москва: Экспо-биохимтехнологии, 2014. – С. 426–427.
3. **Щур, А. В.** Технологии фиторемедиации техногенно поврежденных территорий / А. В. Щур, В. П. Валько, Д. В. Виноградов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2015. – С. 12–16.
4. **Щур, А. В.** Подходы к снижению содержания поллютантов в продукции растениеводства / А. В. Щур, В. П. Валько, О. В. Валько // Инновации в сельском хозяйстве и экологии: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Рязань, 10 сент. 2020 г. – Рязань: Жуков В. Ю., 2020. – С. 564–567.

УДК 534.16

ПРОХОЖДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ ОБЛАСТЬ КОНТАКТА ПОДЛОЖКИ С ТВЕРДЫМИ ТЕЛАМИ

А. Р. БАЕВ¹, М. В. АСАДЧАЯ¹, О. С. СЕРГЕЕВА², В. В. РАДЬКОВА¹

¹Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Представлены результаты исследований, направленные на развитие методов и средств ультразвуковой диагностики и временного контроля процессов соединения пары материалов сваркой, пайкой или склеиванием. Изучены особенности влияния состояния контактной среды на прохождение и трансформацию поверхностных и подповерхностных волн через локальную область акустического контакта подложки с твердыми телами различной геометрии и акустическим импедансом, а также приведены методика, схемы прозвучивания, позволяющие моделировать процессы прохождения и отражения преобразующихся на границах локальной области акустической нагрузки (АН) волн Рэлея (R) и возбуждаемых при первом критическом угле β_1 (амплитуда A_L) и втором – β_2 (A_T) волн, где фазовое состояние контактного слоя (КС) одновременно контролировалось сдвиговой модой и амплитудой A_C на частоте 1 МГц. Принципиальные схемы исследований поясняются рис. 1.

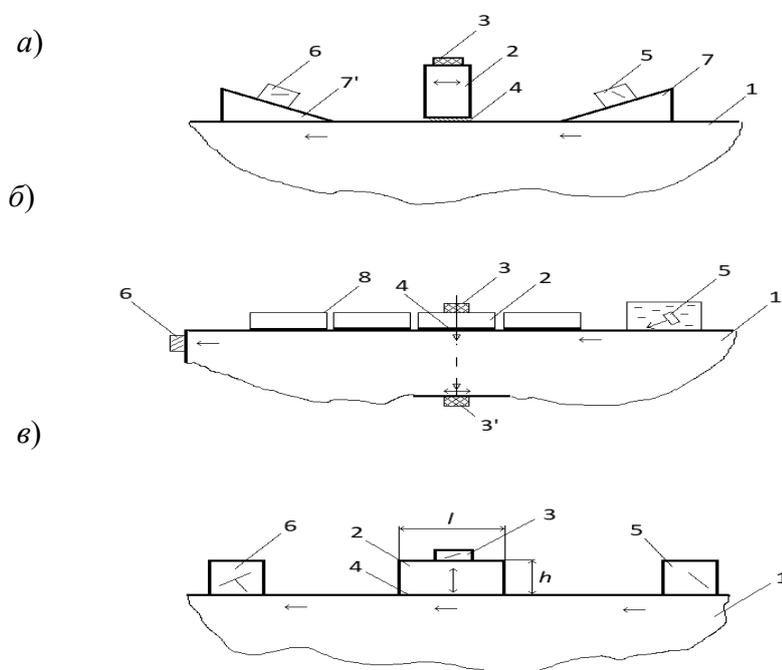


Рис. 1. Схемы эксперимента для исследования рассеяния поверхностных волн на акустической нагрузке при изменении фазового состояния контактного слоя, когда подложка металл (а) и полимер (б, в): 1 – подложка; 2 – нагружающее тело; 3, 3' – ПЭП сдвиговых волн; 4 – контактный слой; 5, 6 – излучающий и приемный ПЭП; 7, 7' – согласующие призмы; 8 – зазоры для установки малоапертурного ПЭП

На основе полученных впервые зависимостей безразмерных амплитуд упругих мод

$$\{A^*_{L}, A^*_{T}, A^*_{AR}\} = F(h^* = h/\lambda, l^* = l/\lambda),$$

где h и l – высота и длина тела АН соответственно; λ – длина моды, определены условия, включая выбор самой моды, частоты волны, способ прозвучивания (эхо или теневой), при которых дистанционное зондирование состояния КС или качества соединения материалов обеспечивает максимальную надежность диагностики соединения материалов. Так, при зондировании объектов волной Рэлея в качестве базового информативного параметра выбран коэффициент отражательной способности АН

$$K_{ref} = A_R^* = (K_R)_{23} (D_R)_{12} N (R_{12})^{-1},$$

реализуемой в режиме эхо, где (K_{R12}) $(K_R)_{23}$ – коэффициенты отражения поверхностной волны от ближайшей к источнику границы нагрузки, а $(D_R)_{12}$ и N – коэффициенты прохождения ПАВ через границу контакта передней грани тела с подложкой, а УЗК и ослабление амплитуды ПАВ в контактном слое.

В ряде ситуаций, характеризующихся определенным соотношением акустических свойств контактирующих сред [1], распространяющаяся в КС мода подобна слабо затухающей волне Стоунли [2].

Если же зондирование объекта производится неоднородными волнами, то в качестве информативных параметров, характеризующих технологический процесс соединения (жесткого) материалов, служат коэффициенты прохождения подповерхностных продольных волн D_L и D_T . Результаты исследований представляют интерес как для науки (для акустики слоистых сред), так и практики – для различных технологий соединения материалов.

Работа выполнена при частичной поддержке БРФФИ, проект T19-136 от 02.05.2019 г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баев, А. Р.** Особенности возбуждения и распространения продольных и поперечных подповерхностных волн в твердых телах. Часть 2. Влияние некоторых граничных условий на формирование акустического поля / А. Р. Баев, М. В. Асадчая // Дефектоскопия. – 2005. – № 9. – С. 32–43.
2. **Абакумов, К. Е.** Распространение акустических волн Стоунли в области границы твердых полупространств при нарушенном акустическом контакте / К. Е. Абакумов, Р. С. Коновалов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2003. – № 1. – С. 10–16.

УДК 534.86

АКУСТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
В ВИДЕ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК ТИПА ШАХМАТНОЙ ДОСКИ

В. И. БОРИСОВ, А. С. НИКИТИН, Е. Н. ПРОКОПЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП) в виде фазированных акустических решеток все больше применяются для решения задач неразрушающего ультразвукового контроля материалов и технических изделий, т. к. они позволяют расширить методические и метрологические характеристики контроля [1]. Это достигается благодаря возможности динамической перестройки акустического поля излучения–приема.

В предлагаемой работе приведены результаты теоретического анализа особенностей акустического поля излучения ПЭП в виде семидесятидвухэлементной фазированной решетки, состоящей из набора квадратных пьезопластин размерами 1×1 мм, расположенных как темные поля шахматной доски. В результате ПЭП представляет собой мозаичную квадратную пластинку размером 12×12 мм. В реальном преобразователе между отдельными элементами ПЭП необходимо реализовать электрическую изоляцию. Такая конструкция пьезопреобразователя позволяет уменьшить акустическую связь между отдельными элементарными пьезопластинами.

Расчет акустического поля проводился по методике [2] для пьезопластины, работающей в непрерывном режиме на частоте 4,55 МГц, нагруженной на воду.

К примеру, на рис. 1 приведено распределение акустического давления P вдоль акустической оси z ПЭП при выборе начальных фаз элементарных пьезопластин, чтобы реализовать режим фокусировки на оси на расстоянии 100 мм от плоскости пьезопластин.

Из рис. 1 видно, что максимальное давление акустических волн наблюдается на расстоянии 75 мм от пьезопластин, что не совпадает с рассчитываемым фокусным расстоянием 100 мм. Это обусловлено диаграммой направленности отдельных элементарных излучателей. Трехмерная картина акустического поля этого преобразователя, работающего в режиме фокусировки, приведена на рис. 2. На этом рисунке акустическая ось ПЭП совпадает с началом координат в плоскости xOy .

Из рис. 2 видно, что на акустической оси ПЭП наблюдается наиболее интенсивный акустический пучок. Кроме того, в акустическом поле излучения наблюдается ряд дополнительных максимумов. Анализ акустического поля наиболее интенсивного максимума показал, что диаметр акустического пучка по уровню половинной амплитуды составляет 2,35 мм вдоль оси x и 2,75 мм вдоль оси y .

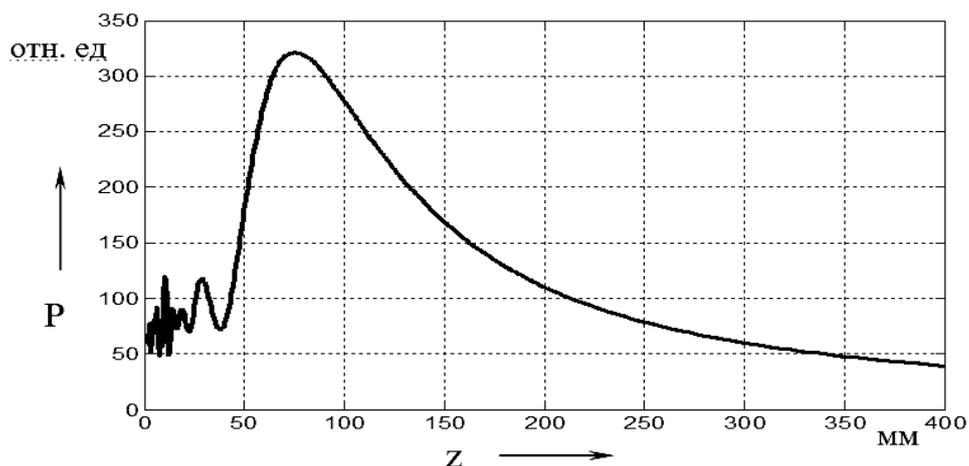


Рис. 1. Распределение давления акустических волн вдоль оси фокусирующего пьезопреобразователя

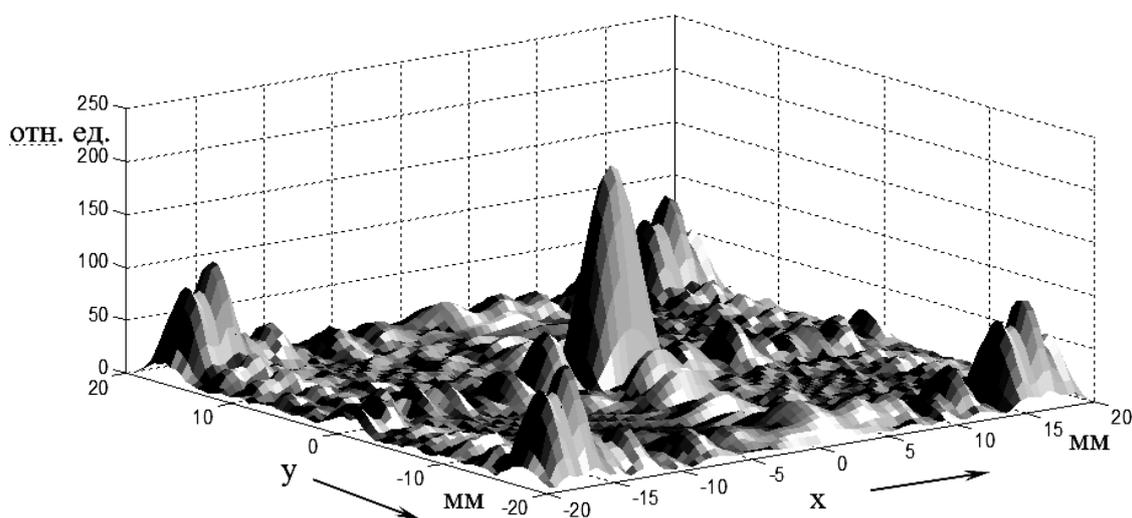


Рис. 2. Акустическое поле фазированной решетки, работающей в режиме фокусирующего ПЭП, настраиваемого на фокусное расстояние 100 мм

Предложенная в работе конструкция ПЭП позволяет подобрать начальные фазы элементарных пьезоизлучателей для фокусировки акустического излучения не только в направлении акустической оси, но в окружающих точках, что в принципе обеспечивает возможность использования таких пьезопреобразователей для динамической пространственной развертки акустического пучка в разных плоскостях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фалькевич, С. А.** Фазированные решетки в ультразвуковой дефектоскопии (обзор) / С. А. Фалькевич // Дефектоскопия. – 1984. – № 3. – С. 3–16.
2. **Борисов, В. И.** Тонкая структура акустического поля излучения прямоугольных пьезопластин / В. И. Борисов, С. С. Сергеев, А. С. Никитин // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2014. – № 2 (43). – С. 105–113.

УДК 620.179.142.6

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОЙ
ТОЛЩИНОМЕТРИИ НИКЕЛЕВОГО СЛОЯ В ХРОМОНИКЕЛЕВОМ
ПОКРЫТИИ, НАНЕСЕННОМ НА ДВУХСЛОЙНОЕ ОСНОВАНИЕ

О. В. БУЛАТОВ

Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Наиболее существенным из факторов, снижающих точность магнитодинимической толщинометрии слоя никеля хромоникелевого покрытия, является намагниченность M ферромагнитного слоя двухслойного основания, зависящая от толщин слоев основания и покрытия. Для устранения ее влияния на указанную точность выполняют настройку нуля прибора [1]. Так как эта операция не позволяет учесть слой хрома, возникает обусловленная им дополнительная погрешность δ_{Cr+M} , зависящая не только от его толщины d , но и от толщин b слоя никеля и s неферромагнитного слоя основания. Расчетные значения погрешности δ_{Cr+M} для различных сочетаний значений трех толщин содержатся в табл. 1 (столбцы 4, 8, 12).

Табл. 1. Влияние толщин d , b и s хромового, никелевого и неферромагнитного слоев соответственно на дополнительную погрешность δ_{Cr+M} , вычисленную без учета слоя хрома

d , мкм	b , мкм	s , мм	δ_{Cr+M} , %	d , мкм	b , мкм	s , мм	δ_{Cr+M} , %	d , мкм	b , мкм	s , мм	δ_{Cr+M} , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
50	200	3	-3,97	100	200	3	-7,84	150	200	3	-11,56
		6	-2,39			6	-4,76			6	-7,04
		9	-2,07			9	-4,13			9	-6,13
	400	3	-3,28		400	3	-6,47		400	3	-9,54
		6	-2,46			6	-4,87			6	-7,22
		9	-2,29			9	-4,54			9	-6,73
	700	3	-3,43		700	3	-6,73		700	3	-9,89
		6	-2,95			6	-5,82			6	-8,60
		9	-2,85			9	-5,63			9	-8,32

Из табличных данных следует, что погрешность δ_{Cr+M} по модулю возрастает почти втрое при трехкратном увеличении толщины d и примерно в 1,2–1,9 раза (в зависимости от b) при таком же уменьшении s . Последнее обстоятельство объясняется возрастанием влияния намагниченности M на δ_{Cr+M} , что обусловлено снижением эффективности настройки нуля прибора по мере увеличения d .

Ниже в аналогичных столбцах табл. 2 приведены значения δ_{Cr+M} , вычисленные по теоретической функции, эквивалентной скорректированной градуировочной зависимости, построенной при наложении неферромагнитной пленки толщиной 100 мкм на меры толщины никелевого покрытия.

Табл. 2. Дополнительная погрешность δ_{Cr+M} , вычисленная с учетом слоя хрома

d , мкм	b , мкм	s , мм	δ_{Cr+M} , %	d , мкм	b , мкм	s , мм	δ_{Cr+M} , %	d , мкм	b , мкм	s , мм	δ_{Cr+M} , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
50	200	3	-0,17	100	200	3	-4,22	150	200	3	-8,09
		6	+1,48			6	-0,99			6	-3,38
		9	+1,82			9	-0,34			9	-2,43
	400	3	+1,14		400	3	-2,23		400	3	-5,48
		6	+2,01			6	-0,55			6	-3,02
		9	+2,20			9	-0,19			9	-2,51
	700	3	+2,30		700	3	-1,32		700	3	-4,79
		6	+2,83			6	-0,33			6	-3,37
		9	+2,94			9	-0,12			9	-3,07

Отсутствие в столбце 8 табл. 2 нулевых значений погрешности δ_{Cr+M} подтверждает ее зависимость от намагниченности M , возрастающей при уменьшении толщины d , b или s . Видно, что градуировка прибора, выполненная с использованием 100-микрометровой пленки, почти всегда приводит к значительному уменьшению модуля погрешности δ_{Cr+M} . Существуют некоторые сочетания значений трех толщин, при которых данная погрешность практически отсутствует (например, при минимальных или очень близких к ним значениях). Чтобы обеспечить ее отсутствие в каждой контрольной точке изделия, необходимо проградуировать прибор с помощью множества пленок, толщина каждой из которых соответствует сочетанию, имеющему место в конкретной точке. Так как это условие практически невыполнимо, для градуировки прибора целесообразно использовать одну пленку оптимальной толщины.

Использование пленки толщиной 100 мкм позволяет:

- в среднем в несколько раз повысить точность магнитодинамической толщинометрии слоя никеля под слоем хрома толщиной от 50 до 150 мкм;
- указать для основной допускаемой погрешности прибора МТДП-1 [2] существенно меньшие паспортные пределы $\pm(1,5 \text{ мкм} + 5 \%)$, что в целом значительно улучшает его метрологические характеристики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лухвич, А. А. Контроль толстослойных никелевых покрытий на двухслойных (неферромагнетик-ферромагнетик) основаниях магнитодинамическим методом толщинометрии / А. А. Лухвич, О. В. Булатов, А. Л. Лукьянов // Дефектоскопия. – 2014. – № 4. – С. 3–12.

2. Прибор для измерения толщины покрытий МТДП-1 [Электронный ресурс] / Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси». – Режим доступа: <http://iaph.bas-net.by/mtdp-1>. – Дата доступа: 01.02.2021.

УДК 620.179.14/15

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕРМООБРАБОТКИ ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 09Г2С, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В. Н. БУСЬКО, А. П. КРЕНЬ, Е. В. ГНУТЕНКО

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Производство металлических изделий с помощью аддитивных технологий (АТ) в настоящее время относится к наиболее перспективным производственным процессам [1]. В настоящее время в различных отраслях промышленности (машиностроение, авиа- и ракетостроение, строительство, медицина и пр.) происходит постепенная замена изделий, изготовленных традиционными способами (прокат, литье, штамповка, ковка, фрезерование и т. п.), на полученные с применением АТ. К главным преимуществам АТ-изделий, в отличие от полученных классическими способами, относятся высокая скорость изготовления, возможность получения изделий с улучшенными физико-механическими свойствами (ФМС), например, по прочности. Поэтому исследование физических, механических и потребительских свойств АТ-изделий относится к приоритетным задачам.

Специфика изготовления изделий с помощью АТ такова, что при производстве они могут иметь неоднородность, шероховатость, анизотропию, остаточные напряжения, дефекты в виде трещин, пор, несплошностей, на которые влияют режимы последующих термических обработок, изменяющих микроструктуру и т. п. Цель работы – исследовать возможность оценки качества термической обработки полученных методом селективного лазерного сплавления (СЛС) образцов низколегированной стали 09Г2 с помощью магнитошумового и контактно-динамического метода измерения твёрдости.

При исследовании использовались четыре образца длиной 150 мм, шириной 15 и 30 мм (в средней и галтельной части) толщиной 2 и 10 мм, полученные методом СЛС, и два образца таких же размеров – с помощью литья [2]. После изготовления на 3D-принтере АТ-образцы подвергались низкотемпературному отжигу при $T = 350$ °С, а затем – нормализации при $T = 980$ °С с охлаждением на воздухе [2].

Как правило, качество прочностных параметров изделий, полученных из различных сталей и сплавов, после изготовления оценивается с помощью показателя твёрдости, в основном, по методу Бринелля. Для измерения твердости образцов использовался динамический твердомер типа ТПЦ-7 (включен в Госреестр средств измерений РБ), который относится к методам НК благодаря отсутствию деформации при воздействии индентора на образец [3].

На рис. 1 представлены результаты измерения твердости по Бринеллю образцов толщиной 2 мм (три образца) и 10 мм (3) низколегированной стали 09Г2С с двумя режимами термообработки, а также образцов с помощью литья. Из рис. 1 отчетливо видна разница значений твердости (НВ) между отожжёнными

и нормализованными образцами, однако различия между нормализованными и литыми образцами практически нет.

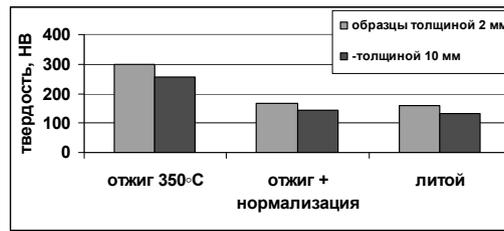


Рис. 1. Твёрдость НВ образцов, полученных с помощью АТ и литья

На рис. 2 показаны экспериментальные результаты зависимостей интенсивности $U_{эф}$ магнитного шума (МШ), измеренные прибором «ИМШ» от режимов термической обработки и способа изготовления образцов стали 09Г2С с помощью двух типов преобразователей Баркгаузена (ПБ1 и ПБ2, отличающихся типоразмерами и техническими параметрами), из которых видно их близкое совпадение.

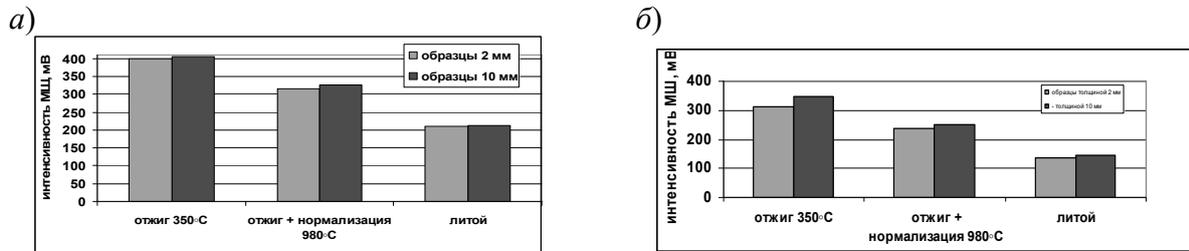


Рис. 2. Зависимость $U_{эф}$ магнитного шума от режимов термообработки АТ-образцов и литья: а – ПБ1; б – ПБ2 (с подмагничиванием образца)

При сравнении с рис. 1 видно, что вследствие тесной взаимосвязи с доменной структурой стали, а также высокой чувствительности к размеру зерна, остаточным напряжениям, пористости и другими дефектам, $U_{эф}$ также обладает высокой информативностью к изменению ФМС и фазово-структурным превращениям сталей, изготовленных методом СЛС и подвергнутых термообработке.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке совместного проекта между БРФФИ и РФ (гранты № Т20Р-119 и № 20-58-00015 Бел а).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение методов неразрушающего контроля для оценки качества готовых деталей аддитивного производства / Н. П. Алешин [и др.] // Дефектоскопия. – 2016. – № 10. – С. 63–75.
2. Портативный стенд для циклических испытаний на усталость образцов стали 09Г2С, полученных с помощью аддитивных технологий / В. Н. Бусько [и др.] // Приборостроение-2020: материалы 13 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18–20 нояб. 2020 г. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 26–28.
3. Rudnitsky, V. Determining yield strength of metals by microindentation with a spherical tip / V. Rudnitsky, A. Kren, G. T. Lantsman // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, № 2. – P. 162–168.

УДК 620.179.14

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НОРМАЛЬНОЙ АНИЗОТРОПИИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

В. Н. БУСЬКО, А. С. СЧАСТНЫЙ, А. А. ОСИПОВ

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Способность материала изменять свою форму при штамповке без образования полос сдвига и разрывов является важным исходным условием обеспечения качества выпускаемой продукции. Ранее была рассмотрена возможность использования этого неразрушающего импульсного магнитного метода [1]. Применялось направленное намагничивание, кроме того, измерения проводились не стандартным датчиком ИМА, а использовались градиентометры с несоосным расположением двух полузондов. Из рис. 1, *а* видно, что максимальный коэффициент корреляции равен 0,884 при намагничивании и измерении вдоль направления прокатки и существенно меньше (0,447) при намагничивании и измерении поперек прокатки.

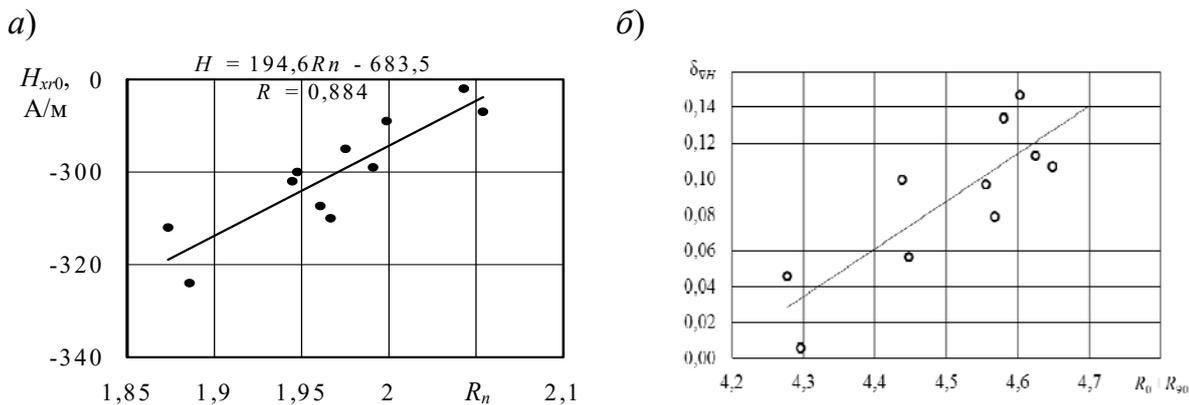


Рис. 1. Измерения магнитных параметров листов стали на отобранных 11 образцах: *а* – зависимости остаточного поля от коэффициента нормальной анизотропии R_n в области измерения вдоль направления прокатки; *б* – зависимость величины максимальной относительной разницы между величинами градиентов нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренных вдоль и поперек направления прокатки, от суммы коэффициентов анизотропии $R_0 + R_{90}$

Можно предположить, что высокая величина коэффициента корреляции связана с тем отбором образцов, который был предварительно проведен. Измерения проводились в четырех симметричных относительно центра и углов областях. В идеальном случае для каждого из листов низкоуглеродистой стали измерения должны давать одинаковые результаты. Поэтому были исключены из дальнейшего рассмотрения образцы, для которых измерения в этих четырёх областях отличались свыше заданного критерия. В результате такого отбора осталось 11 образцов, которые имеют меньшую неоднородность свойств. Наличие такого набора обеспечивает уменьшение случайных

погрешностей в изготовлении образцов, что позволяет более объективно судить о возможностях разрабатываемого метода неразрушающего контроля.

Аналогичные измерения [2] были проведены прибором ИМА-6, который использует симметричный намагничивающий датчик и стандартный градиентометр ИМА. Величина коэффициента корреляции (рис. 1, б) составляет 0,83, т. е. также можно говорить о наличии статистической связи между магнитными и механическими величинами. На 11 образцах проводилась оценка взаимосвязи интенсивности магнитного шума $U_{эф}$ с коэффициентом нормальной анизотропии R_n [3]. Результаты измерений представлены на рис. 2. Из рис. 2 видно, что коэффициент множественной корреляции несколько ниже, но в данном случае также можно говорить о наличии статистической связи между магнитными и механическими величинами, как и в предыдущих рассмотренных случаях.

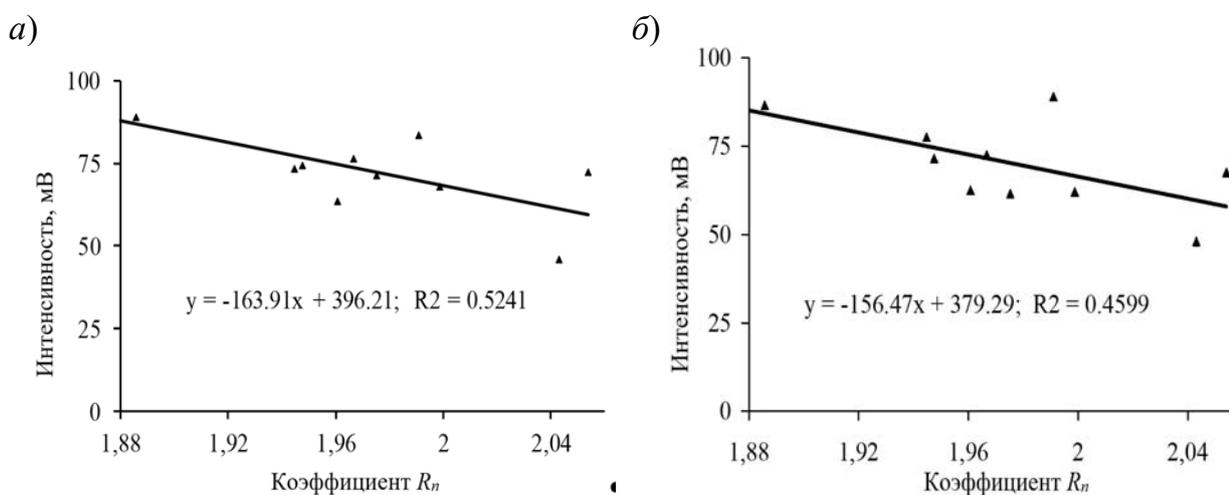


Рис. 2. Взаимосвязь интенсивности магнитного шума $U_{эф}$ с коэффициентом нормальной анизотропии R_n для образцов тонколистового проката из низколегированной стали при продольном (а) и поперечном (б) направлениях прокатки

Следовательно, рассмотренные магнитные методы контроля имеют в данном случае приблизительно одинаковую чувствительность к коэффициенту нормальной анизотропии R_n .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Счастный, А. С.** Исследование возможности контроля анизотропии листового проката / А. С. Счастный, А. А. Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2014. – № 3. – С. 20–33.
2. **Счастный, А. С.** Механическая и магнитная анизотропия листового проката сталей / А. С. Счастный, В. А. Бурак // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: сб. ст. 7 Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 24–25 сент. 2020 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 204–207.
3. **Бусько, В. Н.** Исследование и оценка механической анизотропии сталей и сплавов магнитошумовым методом / В. Н. Бусько, А. А. Осипов // В мире НК. – 2020. – Т. 23, № 3. – С. 50–57.

УДК 537.852.2

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ И МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ЭКРАНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА С ПЛОСКИМИ КАТУШКАМИ

Н. В. ГЕРАСИМЕНКО, И. А. ЧЕРКАСОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Беспроводные зарядные устройства для аккумуляторных батарей на основе резонансных контуров с трансформаторной связью, активно использующиеся для зарядки носимой электроники, в последнее время также переносятся в область электромобилей, где необходимо обеспечить высокую эффективность передачи энергии и большую мощность. Это накладывает дополнительные требования на конфигурацию передающей и приемной катушек.

Рассмотрим плоские круглые катушки в составе связанных резонансных контуров с параметрами, представленными в табл. 1.

Табл. 1. Параметры катушек

Параметры	Значение
Внешний диаметр, мм	250
Расстояние между катушками, мм	100
Число витков	10
Собственная индуктивность, мкГн	118,7
Взаимная индуктивность, мкГн	26,5
Резонансная ёмкость, нФ	21,4

Моделирование магнитного поля выполнено в среде Ansys EM, модель представлена на рис. 1, а.

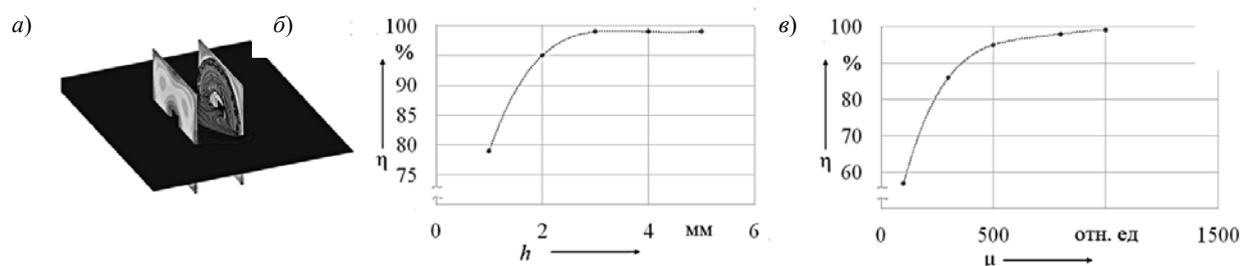


Рис. 1. Модель в среде Ansys EM и полученные зависимости

Анализ полученных зависимостей КПД устройства от толщины ферритового экрана (рис. 1, б) и магнитной проницаемости экрана (рис. 1, в) позволяет установить, что оптимальной являются толщина от 4 до 5 мм, оптимальная магнитная проницаемость ферритовых пластин 1000.

Полученные параметры будут использованы в дальнейших теоретических и экспериментальных исследованиях.

УДК 681.7

**БЕСКОНТАКТНЫЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ РАЗМЕРНОГО КОНТРОЛЯ
ПРОТЯЖЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

В. Ф. ГОГОЛИНСКИЙ, А. А. АФАНАСЬЕВ,
В. В. ИВАНОВ, В. В. ПИСАРИК
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Оптико-электронные измерительные преобразователи с волоконно-оптическими элементами (ВОЭ) находят широкое применение в устройствах размерного контроля благодаря их высокой помехозащищенности и стабильности характеристик [1].

В разработанном оптико-электронном преобразователе используется принцип экранирования части потока излучения объектом контроля и формирования границ свет–тень на приемной стороне. Положение границ свет–тень воспринимается оригинально скомпонованными входными торцами дискретных волоконно-оптических элементов и по количеству засвеченных (затененных) входных торцов получают измерительную информацию в цифровом или аналоговом формате в зависимости от конструкции фотоэлектронного преобразователя (ФЭП) и его оптической связи с выходными торцами ВОЭ. Выходные сигналы с ФЭП поступают на микроконтроллер и обрабатываются в соответствии с алгоритмом решаемой задачи.

Носителем измерительной информации является ток на выходе фотоприемника, величина которого

$$I_{\phi} = K_{\phi} \cdot \Phi_{\Pi}, \quad (1)$$

где K_{ϕ} – коэффициент чувствительности фотоприемника; Φ_{Π} – световой поток, поступающий на фотоприемник.

Из выражения (1) следует, что на величину тока и, соответственно, на достоверность измерительной информации оказывают влияние характеристики фотоприемника, параметры источника излучения, форма и размеры ВОЭ. Конструкция и дифференциальная схема преобразователя обеспечивают бесконтактный способ размерного контроля и устраняют влияние вертикальных колебаний изделия на результат измерения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кульчин, Ю. Н.** Распределенные волоконно-оптические измерительные системы / Ю. Н. Кульчин. – Москва: Физматлит, 2001. – 272 с.

УДК 620.179

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАКЛОННЫХ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СО СМЕННЫМИ ПРОТЕКТОРАМИ

А. С. ГОРДЕЕВА¹, А. В. СЕРГЕЕВ², С. С. СЕРГЕЕВ¹¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²ООО «ИНТРАТЕСТ»

Минск, Беларусь

Ультразвуковой контроль материалов и изделий обеспечивает на сегодняшний день наиболее высокую достоверность, производительность и информативность при выявлении дефектов или оценке физико-механических свойств. Традиционными объектами контроля в энергетике, нефтехимической отрасли и в машиностроении являются металлические прутки и трубы различного типоразмера по диаметру и толщине стенок. Все эти объекты отличаются кривизной поверхности и требуют применения специальных приемов обеспечения качественного акустического контакта с ультразвуковыми преобразователями (ПЭП).

В соответствии с нормативными документами на ультразвуковой контроль объектов типа труб или прутков (ГОСТ Р 55724–2013, ГОСТ Р ИСО 16811–2016, ГОСТ Р ИСО 17640–2016 и др.) в практике необходима притирка призмы наклонных ПЭП до кривизны объекта. Данное требование распространяется на объекты с кривизной поверхности до 225 мм, а иногда до 400 мм. При этом благодаря притертой поверхности достигается стабильный акустический контакт при минимальной толщине смазки.

Опыт дефектоскопистов показывает, что для эффективной работы в лаборатории необходимо иметь на каждый диаметр объекта отдельный ПЭП. Однако, если учесть, с одной стороны, большое разнообразие типоразмеров технологических трубопроводов и, с другой стороны, существенную стоимость отдельных ПЭП, то указанное требование очень дорого обходится для лабораторий неразрушающего контроля. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование сменных насадок-протекторов и стандартных ПЭП с плоской контактной поверхностью.

В данной работе проведены исследования эффективности применения сменных протекторов различной кривизны контактной поверхности для стандартных наклонных ультразвуковых ПЭП. Для изготовления протекторов использовался Anycubic Photon Mono X 3D-принтер, обладающий высокой точностью воспроизведения объектов и высокой скоростью печати. В качестве фотополимерного материала применяли смолу FunToDo Ash Grey NXT GEN, которая после полимеризации обладает достаточно высокой жесткостью и близка по ощущению и свойствам к изделию из литого пластика. Форма

протектора выбиралась такой, чтобы обеспечивалось хорошее крепление на преобразователе с минимальными зазорами (рис. 1). Под контактную поверхность преобразователя в рамку протектора наносили тонкий слой контактного геля. При проведении экспериментов использовали наклонные преобразователи с рабочей частотой 2,5 и 5 МГц, с углами ввода 65 и 70°. В качестве рабочего прибора использовали ультразвуковой дефектоскоп USM GO. Протекторы изготавливали для контроля труб с внешним диаметром 68 и 102 мм, с толщиной стенок 6 и 10 мм соответственно.

Цель исследований – выбор вариантов настройки чувствительности по различным образцам и введение поправок при проведении контроля реальных объектов.

В работе проведено сравнение эффективности настройки чувствительности контроля по следующим методикам:

- на стандартном образце СО-2 преобразователем без протектора с последующей корректировкой чувствительности;
- на стандартном образце СО-2 преобразователем с плоским настроечным протектором;
- на контрольном плоском образце с отражателем в виде зарубки преобразователем с плоским настроечным протектором;
- на контрольном трубном образце с отражателем в виде зарубки преобразователем с рабочим протектором (рис. 2).



Рис. 1. Стандартный наклонный ПЭП и рамочный протектор



Рис. 2. Настройка ПЭП на трубном образце с зарубкой

Исследование указанных методик показали, что все они могут быть использованы для различных ситуаций в зависимости от наличия контрольных образцов (плоских и с кривизной объекта). Поправки по чувствительности в различных методиках не превышали 2...3,5 дБ. Следует учитывать, что при использовании протектора увеличивается протяженность задержки и смещается точка выхода центрального луча. В докладе даются рекомендации по проведению настройки и введению коррекций для установления уровней чувствительности контроля при переходе на реальные объекты.

УДК 621.3.042:534.642

**ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ
ПРИ ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИИ СИЛОВЫХ
МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Ник. Вас. ГРУНТОВИЧ, Над. Вл. ГРУНТОВИЧ, Е. А. ЖУК
Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого
Гомель, Беларусь

Во время работы силовых маслонеполненных трансформаторов контролируются следующие параметры: физико-химические параметры масла, хроматографический контроль растворенных газов в масле, вибрация бака трансформатора, частичные разряды в баке, термография. Этот комплекс диагностических параметров позволяет с высокой достоверностью выявлять дефекты на ранней стадии их развития [1]. Проведенные исследования показали, что причины, вызывающие вибрацию бака трансформаторов могут быть: магнитострикционная вибрация (100...700 Гц); ослабление пресовки обмоток и магнитопровода (100...5000 Гц); повреждение шинок отвода 6...10 кВ в трансформаторах (800...1500 Гц); резонансные частоты при слабом закреплении внутренних шин (2000...4000 Гц); образование пузырьков при локальных перегревах (700...1500 Гц). Исследования показали, что вероятность локальных перегревов в трансформаторах – 0,26.

В табл. 1 представлены дефекты трансформаторов, выявленные по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле за 1989–2014 гг. в Белорусской энергосистеме.

Табл. 1. Дефекты трансформаторов

Вид дефекта	Процент отказов от общего их количества, %
1. Электрические дефекты РПН	38,7
2. Механические повреждения РПН	5,37
3. Электрические частичные разряды	11,82
4. Возгорание шинных отводов	8,6
5. Дефекты термического характера	7,52
6. Дефекты масляной системы охлаждения	5,38
7. Повреждение стяжных шпилек	4,35
8. Переток масла из бака РПН в бак трансформатора	4,3
9. Обрыв и возгорание шинки заземления	3,23
10. Витковое замыкание в обмотках	3,22
11. Деформация обмотки	2,16
12. Образование короткозамкнутых контуров	2,15

Повреждение шинок отвода сопровождается повышенной вибрацией бака в верхней части, повышением температуры в этой области до 80 °С, а уровень частичных разрядов может достигать 200 пКл. Во время экспе-

риментов было установлено, что уже при температуре 140 °С начинается образование пузырьков. Этот процесс вызывает вибрацию бака трансформатора и хорошо регистрируется современными приборами. Точки измерения вибрации: днище бака, нижняя часть бака, средняя часть бака. Общее количество точек около 20. Принятая практика в Беларуси и России оценки динамической стойкости обмоток и магнитопровода по общему уровню в диапазоне 10...1000 Гц является недостоверной. Проведенные многочисленные измерения вибрации бака трансформаторов показали, что при минимальной вибрации в диапазоне до 1000 Гц амплитуда вибрации может быть критической в диапазоне 1200...5000 Гц [2]. В качестве иллюстрации приведены спектры вибрации автотрансформатора с наработкой 24 года (рис. 1, а) и вибрация новых автотрансформаторов китайского производства (рис. 1, б). Максимальная магнитоэстрикционная вибрация до 1000 Гц, как правило, составляет порядка 90 дБ (при $a_0 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$). В данном случае вибрация не превышает 75 дБ. Однако в частотном диапазоне свыше 2000 Гц уровень вибрации достигает на отдельных частотах 56 дБ при предельном значении 60 дБ. Режим загрузки автотрансформаторов переменный, в течение 1 ч он может изменяться несколько раз. В китайских автотрансформаторах, кроме повышенной вибрации, выделялся водород. Поэтому по спектру вибрации баков и уровню частичных разрядов была выявлена область слабого крепления шин внутри бака.

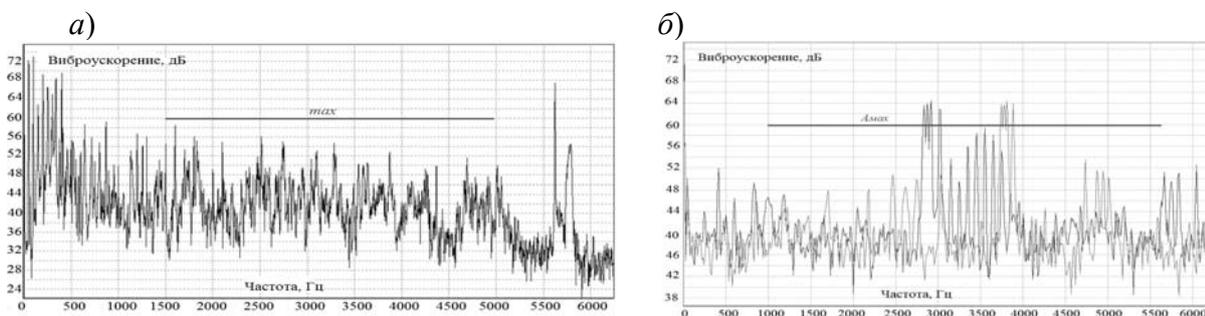


Рис. 1. Спектры вибрации автотрансформаторов: а – спектр вибрации АТ-1, середина, в зоне РПН фазы «В» (110 кВ); б – спектры вибрации днища баков двух новых китайских автотрансформаторов 110 кВ

Следовательно, для повышения достоверности выявления дефектов по спектру вибрации бака трансформатора частотный диапазон при измерении должен быть до 5000 Гц и больше.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Грунтович, Н. В.** Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учебное пособие / Н. В. Грунтович. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2019. – 271 с.: ил.
2. Vibration Diagnostics Of Power Equipment Before Commissioning / M. Hruntovich [et al.] // E3S Web of Conferences 178, 01031. – 2020. – Mode of access: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017801031> HSTED-2020.

УДК 621.3.042:534.642

ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Ник. Вас. ГРУНТОВИЧ, Над. Вл. ГРУНТОВИЧ, А. М. ПАНФИЛОВ

Гомельский государственный технический университет

имени П. О. Сухого

Гомель, Беларусь

За время длительной эксплуатации центробежных насосов изнашиваются поверхность рабочего насоса и подшипники качения. Рабочее колесо центробежного насоса, представляющее два соединенных диска, имеет целый ряд собственных частот колебаний (вибрации). Как правило, это 4–6 собственных частот в диапазоне от 800 до 10000 Гц с разным уровнем вибрации на этих частотах (рис. 1).

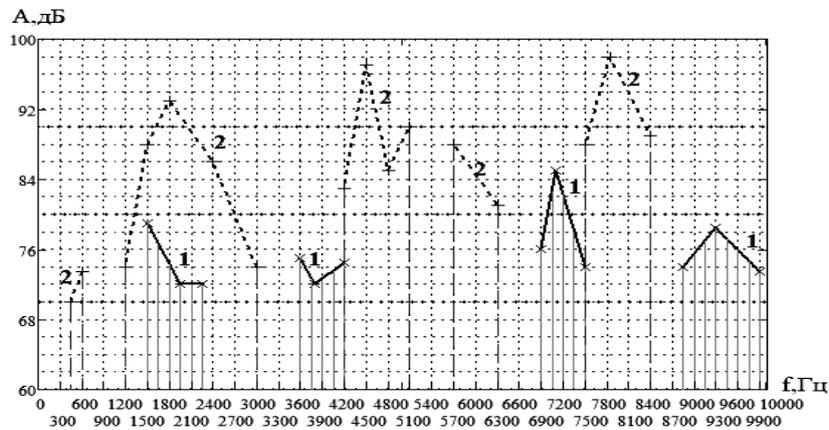


Рис. 1. Изменение собственных частот колебаний и уровней вибрации рабочих колес центробежных насосов: 1 – новое колесо; 2 – изношенное колесо

За время работы центробежных насосов толщина дисков неравномерно уменьшается, соответственно, уровень вибрации на этих частотах увеличивается. Из-за уменьшения спектра вибрации собственных частот максимальный уровень вибрации на улитке насоса с 3000 Гц сдвигается в область низких частот 500...1000 Гц. Вследствие неравномерного износа дисков рабочего колеса центробежного насоса дисбаланс ротора значительно увеличивается. Это приводит к увеличению вибрации насоса на частоте вращения ротора (рис. 2).

Если тела качения подшипника имеют значительную разноразмерность, то на частоте 152 Гц (подшипник качения № 310) происходит опрокидывание вала насоса в подшипнике качения. Частота опрокидывания вала (рис. 3) рассчитывается по формуле

$$f_0 = f_p \cdot R_{вн} \cdot Z_{ш} / 2 \cdot (R_{вн} + r_{ш}),$$

где f_p – частота вращения ротора, для обследуемого насоса $f_p = 49,7$ Гц; $Z_{ш}$ – количество тел качения подшипника, для ПК № 310 $Z_{ш} = 8$ ед.;

$r_{и}$ – радиус тел качения, для ПК № 310 $r_{и} = 9,52$ мм; $R_{вн}$ – радиус поверхности внутреннего кольца, по которой перекачиваются тела качения, $R_{вн} = 30,47$ мм.

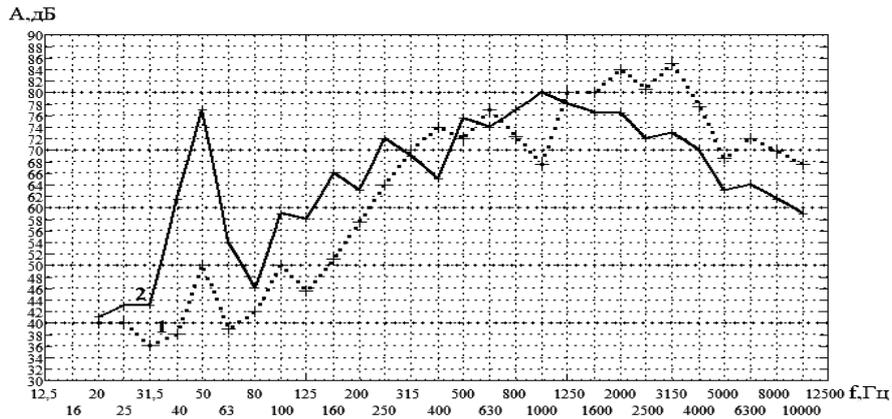


Рис. 2. Увеличение вибрации насоса на частоте вращения ротора

Радиус поверхности внутреннего кольца рассчитывается в соответствии с формулой

$$R_{вн} = (d + D)/4 - r_{и},$$

где d – диаметр внутреннего кольца, мм; D – диаметр наружного кольца, мм.

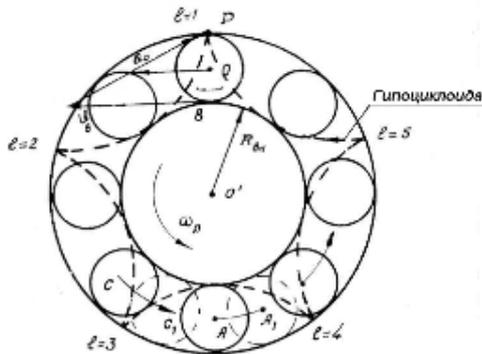


Рис. 3. К иллюстрации вычисления частоты вращения сепаратора и опрокидывания вала в подшипнике в неустойчивом состоянии

Когда центр вала O' совпадает с центром тела качения A , положение вала является неустойчивым. Если диаметр тела качения C меньше диаметра тела качения A , то при вращении вала против часовой стрелки происходит его опрокидывание на тело качения C [1].

Если случайным образом или по незнанию при установке подшипника наружное кольцо поставлено с натягом, то на наружном кольце образуется выбоина и подшипник качения быстро изнашивается.

Следовательно, по спектру вибрации насоса можно определить степень износа рабочего колеса без разборки и выявить наиболее опасные дефекты в подшипниках качения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Грунтович, Н. В.** Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учебное пособие / Н. В. Грунтович. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2019. – 271 с.: ил.

УДК 620.179.14

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕРМООБРАБОТКИ
БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5
ПО ПОЛЕВЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

З. М. КОРОТКЕВИЧ, В. А. БУРАК

Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Быстрорежущие стали нашли широкое применение для изготовления резцов, сверл, фрез и других инструментов. Для быстрорежущих сталей характерна относительно высокая цена, но сталь Р6М5 получила широкое распространение за счет уменьшения ее стоимости путем частичной замены вольфрама более дешевым молибденом.

Измерение полевых магнитных характеристик, к которым относится и широко используемая в приборах неразрушающего контроля коэрцитивная сила H_c , положены в основу многих методов импульсной магнитной структуроскопии. В ходе исследований были рассмотрены особенности закономерностей изменения полевых магнитных характеристик, взятых по симметричной петле магнитного гистерезиса, полученной в процессе квазистатического намагничивания–перемагничивания.

Исследования проводились на кольцевых образцах из стали Р6М5 толщиной 10 мм с внешним диаметром 17 мм и внутренним диаметром 13 мм, подвергнутых следующей термической обработке: закалке от различных температур в интервале 1000...1260 °С с выдержкой при заданной температуре в течение 30 с и последующему отпуску при 560 °С в течение 3 ч, а также подвергнутых отпуску при разных температурах в интервале 300...700 °С в течение 3 ч после предварительной закалки от 1225 °С.

Измерения полевых магнитных характеристик быстрорежущей стали Р6М5 в квазистатическом режиме осуществлялись на автоматизированной установке УИМХ [1], а напряженность магнитного поля изменялась от нуля до 40 кА/м. Были рассмотрены следующие полевые магнитные характеристики: коэрцитивная сила H_c ; релаксационная коэрцитивная сила H_r ; напряженности магнитного поля $H_{\mu m}$ и $H_{\mu dm}$, при которых достигаются максимальное значение магнитной проницаемости μ_m по начальной кривой намагничивания и максимальное значение дифференциальной магнитной проницаемости μ_{dm} по петле гистерезиса соответственно.

На рис. 1 представлены зависимости полевых магнитных характеристик от температуры закалки и отпуска для термообработанной быстрорежущей стали Р6М5. Как видно из представленных зависимостей, полевые магнитные характеристики с ростом температуры нагрева под закалку изменяются неоднозначно: при росте температуры закалки до 1150 °С их величины

возрастают, в интервале температур закалки 1150...1200 °С наблюдается резкий рост и затем спад (см. рис. 1, а). Величины полевых магнитных характеристик (см. рис. 1, б) уменьшаются практически линейно с повышением температуры нагрева при отпуске и имеют хорошую чувствительность порядка 1000 А/(м·°С). Такое поведение магнитных характеристик определяется структурно-фазовыми изменениями в сталях и значительную роль в них играют аустенитно-мартенситные превращения [2].

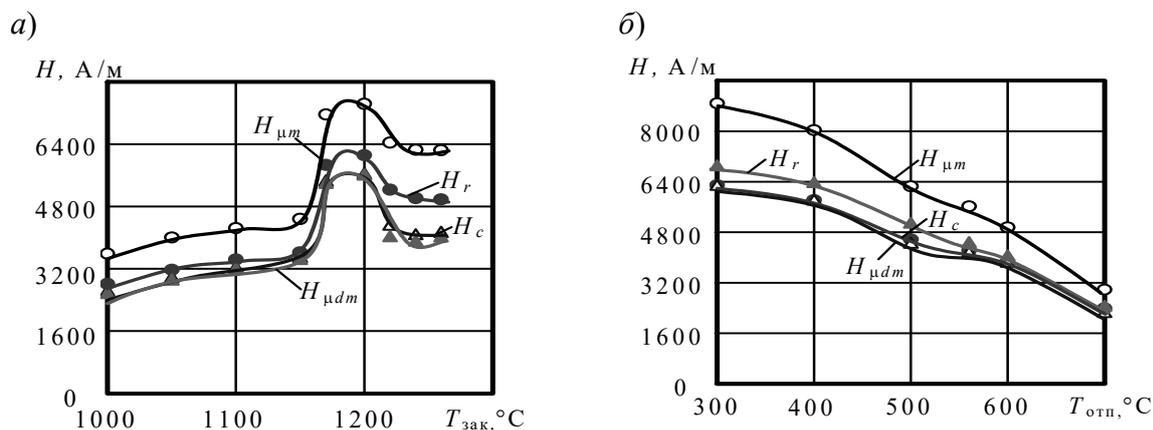


Рис. 1. Зависимости полевых магнитных характеристик H_c , H_r , $H_{\mu m}$ и $H_{\mu dm}$ быстрорежущей стали Р6М5 от температуры нагрева под закалку (а) и температуры нагрева при отпуске (б)

Проведенные исследования показали, что контроль температуры нагрева при отпуске быстрорежущей стали Р6М5 во всем диапазоне изменения температур можно осуществлять по любой из полевых магнитных величин: коэрцитивной силе H_c ; релаксационной коэрцитивной силе H_r ; напряжениях магнитного поля $H_{\mu m}$ и $H_{\mu dm}$, при которых достигаются максимальное значение магнитной проницаемости μ_m по основной кривой намагничивания и максимальное значение дифференциальной магнитной проницаемости μ_{dm} по петле гистерезиса соответственно; по величинам магнитных проницаемостей, измеренных в квазистатическом режиме перемагничивания, а контроль температуры нагрева под закалку по рассмотренным магнитным характеристикам для стали Р6М5 невозможен.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матюк, В. Ф. Установка УИМХ для измерения магнитных характеристик материалов и изделий / В. Ф. Матюк, А. А. Осипов. – Дефектоскопия. – 2007. – № 3. – С. 12–25.
2. Матюк, В. Ф. Влияние температуры закалки и отпуска на структурное состояние и магнитные свойства инструментальных быстрорежущих сталей / В. Ф. Матюк [и др.] // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2013. – № 1. – С. 28–41.

УДК 620.179.14

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТОВ С НЕМАГНИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Я. И. МИРЕНКОВА, В. А. НОВИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Магнитографический метод контроля отличается высокой производительностью и экономичностью, практически не требует предварительной механической подготовки поверхности контролируемого объекта. Наиболее высокая чувствительность и разрешающая способность метода достигаются, когда магнитная лента находится непосредственно на поверхности изделия.

Однако существуют ферромагнитные объекты, которые нужно контролировать без удаления нанесенных на их поверхность защитных покрытий или покрытий, образовавшихся в процессе эксплуатации объекта. Это детали и металлоконструкции с нанесенным слоем краски, стальные трубы с полимерным покрытием, участок цистерны, расположенный возле ее горловины, покрытый слоем битума, буксы колес вагонов, которые нужно оперативно проконтролировать при кратковременной остановке поезда, и т. д. В этом случае при намагничивании объекта магнитная лента и полюсы электромагнита будут находиться на некотором удалении от поверхности контролируемого металла, зависящем от толщины нанесенного на него немагнитного покрытия. Условия контроля будут отличаться от случая, когда лента и полюсы электромагнита соприкасаются с поверхностью ферромагнитного объекта без покрытия. Проблема еще и в том, что требуемый режим намагничивания нужно определять с учетом толщины покрытия, наличие которого сильно влияет на величину индукции в металле. Если же намагничивание объекта и ленты производят путем перемещения постоянного магнита над лентой, уложенной на контролируемую поверхность, то зависимость амплитуды сигнала, обусловленного дефектом, от толщины покрытия может оказаться немонотонной, а характерный сигнал на экране дефектоскопа даже сменить полярность полуволн вследствие гистерезисных явлений в магнитной ленте. То есть результаты контроля в определенном диапазоне толщин покрытий будут неоднозначными.

Вместе с тем задача обнаружения несплошностей и определения их параметров в таких объектах упрощается, т. к. в настоящее время существует большое количество различных толщиномеров, позволяющих с высокой точностью определить толщину немагнитного покрытия на магнитном основании. Поэтому при наличии номограмм для определения величины дефекта, находящегося на наружной или внутренней поверхности объекта, построенных с учетом различной толщины покрытия, можно легко выбрать нужную зависимость, предварительно измерив толщину покрытия.

УДК 791.7

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ НАГРУЗКИ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ ИГРОВОГО НАДУВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В. Ф. ПОЗДНЯКОВ, Е. В. ПОЗДНЯКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

На открытых детских площадках широко используются надувные детские развлекательные комплексы. Требования безопасности к такому игровому оборудованию определяется стандартом СТБ EN 14960–2011 *Оборудование игровое надувное. Требования безопасности и методы испытания*. Кроме данного стандарта, в Республике Беларусь действуют Правила технической безопасности «Требования к эксплуатации оборудования игрового надувного», утвержденные Постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 30.07.2015 № 35.

Данными нормативными документами устанавливаются основные требования безопасности к конструкции, расположению, эксплуатации развлекательных комплексов для обеспечения безопасности их использования.

Кроме того, нормативные документы однозначно определяют методы испытаний отдельных конструктивных элементов надувного игрового оборудования.

Для надувного оборудования, расположенного на открытой местности, одним из основных критериев безопасности является способность противостоять ветровым нагрузкам. Данный параметр обеспечивается элементами крепления оборудования к грунту, которые выполнены в виде анкеров. Диаметр и длина элемента крепления зависят от состояния и состава грунта, в который они забиваются. В любом случае каждый элемент должен выдержать нагрузку не менее 160 кг при направлении приложения нагрузки от 30 до 45° по отношению к уровню поверхности грунта.

Перед вводом в эксплуатацию каждый надувной аттракцион должен пройти техническое освидетельствование. В программу технического освидетельствования входит и испытание надежности крепления надувного аттракциона к грунту, что осуществляется специальным измерительным устройством, позволяющим создавать и измерять усилие воздействия на крепежный элемент.

Измерительное устройство представляет собой шкив определенного диаметра с закрепленным на нем канатом. Второй конец каната крепится к верхнему концу забитого в грунт анкера. Шкив закреплен на опорах на высоте, обеспечивающей угол воздействия на анкер в диапазоне от 35 до 40°. Необходимое усилие воздействия обеспечивается поворотом шкива через рычаг динамометрического ключа. Отсчет величины необходимого усилия производится по шкале динамометрического ключа с последующим пересчетом в усилие воздействия.

Испытание проводится для каждого элемента крепления в отдельности.

УДК 620.179.17

ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕЙСКАНИЯ НА ТРУБОПРОВОДАХ
АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫМ МЕТОДОМ

А. Н. ПРУДНИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При эксплуатации трубопроводных систем нередко возникает необходимость нахождения мест сквозного повреждения трубопровода и мест образования течей рабочей среды. Для трубопроводов подземной прокладки, трубопроводов с обогреваемой рубашкой визуальное определение источников истекания газа или жидкости весьма затруднено и может выражаться лишь в дедуктивном выявлении поврежденного участка. Диагностическое инструментальное обнаружение течей в настоящее время осуществляется специализированными акустическими или корреляционными течеискателями. При этом применение акустико-эмиссионного (АЭ) метода для этих целей показывает более высокую чувствительность для ранних стадий развития сквозного дефекта.

В настоящей работе на базе лабораторного стенда для акустико-эмиссионного контроля проводилось исследование возможностей применения в целях течеискания системы A-Line 32 DDM. Локация места течи (источника непрерывной стохастической АЭ) осуществлялась по амплитудному методу в одномерной модели трубопровода. Течь имитировалась отверстием с изменяемым размером, располагаемым на различных участках трубопровода. Предметом исследования послужили амплитудные, спектральные характеристики сигналов АЭ, статистические параметры потока событий АЭ для различной интенсивности истекания газообразной и жидкой среды.

Результаты исследования показывают, что на характеристики АЭ-сигналов течи и точность ее обнаружения влияют не только геометрические параметры течи, свойства среды, условия истекания, но и конструктивные особенности трубопровода. Так, с увеличением расстояния между течью и датчиком наряду с уменьшением амплитуды АЭ-сигнала изменяется и спектр АЭ-сигнала, смещаясь экстремумом интенсивности в более низкочастотную область, а также большее влияние оказывает вариация затухания от длины объекта и наличия в нем геометрических неоднородностей (сварных соединений, штуцеров и т. п.).

Таким образом, стандартное оборудование для АЭ-контроля показывает высокую чувствительность к течи рабочей среды под давлением и возможность последующей локации по затуханию. Несмотря на вариабельность амплитудных и спектральных характеристик сигнала от параметров течи АЭ-метод показывает высокую точность локации, зависящую в большей мере от геометрических неоднородностей трубопровода и принятого коэффициента затухания.

УДК 620.179.14

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ СТАЛЕЙ
В МАГНИТНОМ СТРУКТУРНОМ АНАЛИЗЕ

С. Г. САНДОМИРСКИЙ

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

В [1] показано, что все «специфические» изменения магнитных проницаемостей и релаксационных магнитных параметров сталей, связанные с изменениями их структурного состояния и фазового состава, обусловлены только происходящими при этом изменениями коэрцитивной силы H_c , остаточной намагниченности M_r и намагниченности M_s технического насыщения этих сталей. На основании этого для повышения достоверности магнитной структуроскопии предложено формировать ее информационные параметры из результатов измерения H_c , M_r и M_s сталей.

Цель доклада – развить и обосновать разработанный подход к формированию из остаточной намагниченности M_r сталей информационного параметра, обладающего более высокой чувствительностью к изменениям структуры среднеуглеродистых сталей, происходящих при их термических обработках в практически важном интервале температур, простотой и точностью измерения.

Одной из причин ограниченного использования M_r сталей в магнитном структурном анализе, по мнению автора, является наблюдающаяся на практике зависимость M_r сталей не только от параметров структуры сталей, но и от их фазового состава. В обоснование этого воспользовались [2] результатами выполненных по стандартным методикам измерений M_r и M_s сталей 30, 45, 27СГ, 10ХСНД, 15ХН5МФ, 25Х1МФ, 30ХГСА, 30ХГСНА, 30ХМА, 38ХГН, 38ХМЮА, 38ХС, 40Х, 45Х, 40Х1НВА, 50ХНМ, 50ХН1М, 40Х10С2М(ЭИ107), ЭИ992(ХВ), ЭИ928, 12Х2Н4А, 12Х2Н4А цементированной, 18Х2Н4ВА, 18Х2Н4ВА цементированной, 18ХГТ, 30ХН3А, 30ХМА, 60С2, 65Г, У7А, У10А, 95Х18 и 9ХГВ после разных режимов отпуска и закалки, а также отожженных углеродистых сталей. Всего для анализа использованы результаты измерения M_r и M_s 195 магнитотвердых сталей ($4 \text{ кА/м} \leq H_c \leq 7,79 \text{ кА/м}$) и 794 магнитомягких сталей ($0,071 \text{ кА/м} \leq H_c < 4 \text{ кА/м}$), в том числе 88 сталей с $0,071 \text{ кА/м} \leq H_c \leq 1 \text{ кА/м}$. По диапазону изменения свойств: $200 \text{ кА/м} \leq M_r \leq 1400 \text{ кА/м}$, $500 \text{ кА/м} \leq M_s \leq 1707 \text{ кА/м}$ и $71 \text{ А/м} \leq H_c \leq 7,43 \text{ кА/м}$ использованные для анализа материалы охватывают практически весь диапазон изменения магнитных свойств конструкционных сталей.

На рис. 1, а представлено корреляционное поле связи между M_r и M_s исследованных сталей. Его статистический анализ показал, что коэффициент корреляции R между M_r и фазочувствительным параметром M_s исследованных сталей равен 0,85 (теснота связи между параметрами считается высокой, если $R \geq 0,7$).

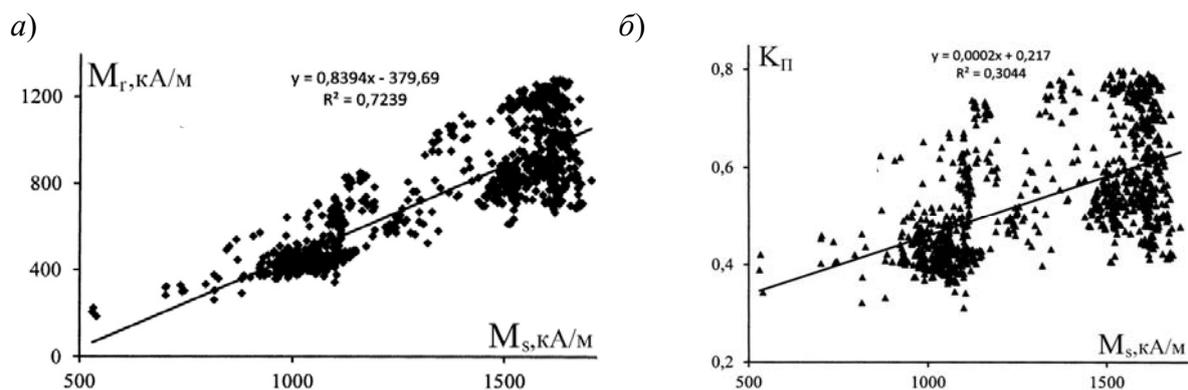


Рис. 1

На рис. 1, б) приведено корреляционное поле связи между K_{II} и M_s исследованных сталей. Его статистический анализ показал, что коэффициент корреляции R между параметрами K_{II} и M_s исследованных сталей равен 0,55. Это свидетельствует о существенно меньшей по сравнению с параметром M_r чувствительностью параметра K_{II} к изменениям фазового состава сталей. Значит параметр K_{II} более, чем параметр M_r , селективен к изменениям структуры сталей.

Преимуществом использования параметра K_{II} является и то, что если по стандартным методикам параметр M_r может быть измерен с относительной погрешностью $\delta_{M_r} \approx 3\%$, то отношение $K_{II} = M_r/M_s$ при измерении M_r и M_s на одной и той же аппаратуре – с $\delta_{K_s} \approx 1\%$.

Обоснование эффективности использования параметра K_{II} для магнитной структуроскопии в докладе проведено сопоставлением результатов контроля твердости HRC стали 40X в практически важном диапазоне $350^\circ\text{C} \leq T_o \leq 550^\circ\text{C}$ изменения температуры T_o ее отпуска после закалки с использованием K_{II} и M_r . Получено, что параметры M_r и K_{II} однозначно зависят от твердости HRC стали 40X в диапазоне ее изменения $37 \leq \text{HRC} \leq 48$. При этом параметр M_r изменяется в 5 раз больше диапазона максимально возможных отклонений его значений, связанных с погрешностью его измерения, а параметр K_{II} – в 15,2 раза больше.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Клюев, В. В.** Анализ и синтез структурочувствительных магнитных параметров сталей / В. В. Клюев, С. Г. Сандомирский. – Москва: СПЕКТР, 2017. – 248 с.
2. About the Possibilities of Construction and Application of the Generalized Magnetic Parameters of Steel Hardometry after Hardening and Release / S. G. Sandomirski [et al.] // The VII International Young Researchers' Conference – Physics, Technology, Innovations (PTI–2020) AIP Conf. Proc. 2313, 030030-1–030030-6. – Mode of access: <https://doi.org/10.1063/5.0032978>.

УДК 535.51

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ ОКИСЛЕНИИ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИНЛ. И. СОТСКАЯ¹, А. А. ОМЕЛЬЧЕНКО², Н. И. СТАСЬКОВ³¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²ГЦ «Белмикроанализ» ОАО «Интеграл»

Минск, Беларусь

³Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова

Могилев, Беларусь

В данном сообщении обсуждаются результаты расчётов оптических характеристик слоя оксид-нитрид-оксид (ОНО), который образуется при высокотемпературном окислении в атмосфере газов N_2 , H_2 , O_2 , SiH_2Cl_2 и NH_3 кристаллической кремниевой подложки, очищенной быстрым термическим отжигом. Для проведения расчётов были измерены эллипсометрические углы ψ и Δ окисленных пластин с использованием спектрального эллипсометра UVISEL2 при углах падения от 60 до 75° ($\Delta\theta = 5^\circ$) и монохроматического эллипсометра ЛЭФЗМ ($\lambda = 632,8$ нм) при углах падения от 60 до 77° ($\Delta\theta = 1^\circ$). Вещественный состав этих же образцов исследовался с помощью сканирующего рентгеновского фотоэлектронного спектрометра (XPS). Спектры XPS позволили исследовать распределение концентрации атомов Si, Si_3N_4 , SiO_2 и связей Si-O по толщине слоя ОНО. При обработке эллипсометрических измерений использовали трёхслойную и семислойную электродинамические модели. В трёхслойной модели слоя ОНО не учитывались поверхностные и переходные слои. Семислойная модель включала: бруггемановский поверхностный слой толщиной d_1 (50 % воздуха и 50 % SiO_2); пленку SiO_2 толщиной d_2 ; бруггемановский переходный слой толщиной d_3 (50 % SiO_2 и 50 % Si_3N_4); пленку Si_3N_4 толщиной d_4 ; бруггемановский переходный слой толщиной d_5 (50 % Si_3N_4 и 50 % SiO_2); пленку SiO_2 толщиной d_6 ; бруггемановский переходный слой толщиной d_7 (50 % SiO_2 и 50 % cSi) с Si-подложкой. В [1] показано, что комплексную диэлектрическую проницаемость неоднородного слоя, который появляется при физико-химической обработке кремниевых пластин, можно описать суммой функций Ферми:

$$\varepsilon(y) = \varepsilon_1 + \sum_{i=1}^m (\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i) [1 + \exp(-\alpha_i(y - y_i))]^{-1}, \quad (1)$$

где $\varepsilon = (n - ik)^2$; ε_1 – диэлектрическая проницаемость подложки, $\varepsilon_1 = \varepsilon_s$; ε_i – диэлектрическая проницаемость материала, из которого состоит i -й неоднородный слой; y_i – условные границы слоёв.

Для расчета углов ψ и Δ использовали метод стратификации, в котором слой l разбивается на большое число однородных слоев. Зависимости показателей преломления $n(y)$ 1–3 и поглощения $k(y)$ 4 для трёхслойной модели 1, семислойной модели 2 и модели Ферми 3, 4 слоя ОНО приведены на рис. 1.

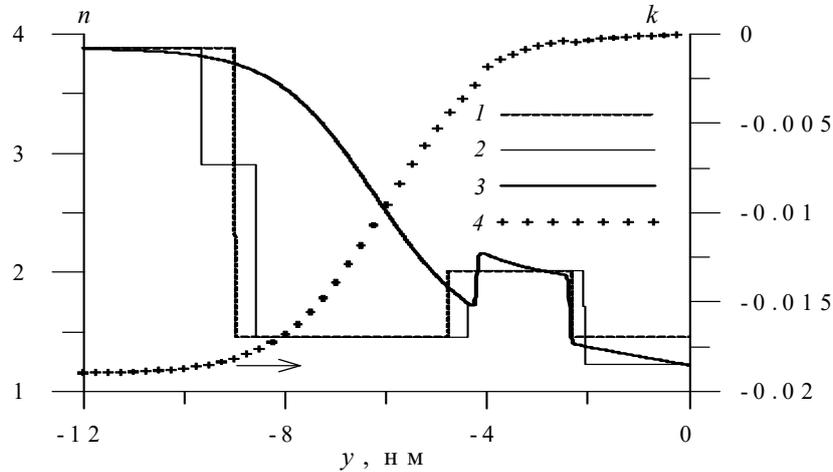


Рис. 1. Показатели преломления слоя ОНО

Кривые 3 и 4 на этом рисунке получены при решении обратной задачи монохроматической эллипсометрии ($\lambda = 632,8$ нм) для неоднородного слоя l . Невязка χ^2 рассчитанных и измеренных эллипсометрических параметров в этом случае на порядок меньше такой же величины при определении параметров ОНО структуры методом спектральной эллипсометрии для моделей 1 и 2. На наличие трех неоднородных областей в слое ОНО указывает кривая 3. Функция $n(y)$ приповерхностного слоя ($d_1 = 2,4$ нм) увеличивается от 1,22 до величины показателя преломления SiO_2 , а затем достигает показателя преломления Si_3N_4 . В средней области ($d_2 = 1,8$ нм) слоя ОНО $n(y)$ увеличивается до 2,136 и резко уменьшается до 1,736. На протяжении третьей области слоя ОНО ($d_3 = 6,6$ нм) $n(y)$ увеличивается до величины показателя преломления кристаллического кремния 3,881. Толщина всего слоя ОНО, рассчитанная с использованием всех электродинамических моделей и спектров XPS, около 10 нм.

Таким образом, на начальной стадии получения слоя ОНО на кремниевой подложке образуется неоднородный недоокисленный слой оксида кремния, толщина которого больше толщины слоя нитрида кремния. На заключительной стадии поверхность слоя нитрида кремния оказывается также не полностью окисленной.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптические характеристики естественного поверхностного слоя на кремниевой подложке / Н. И. Стаськов [и др.] // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2006. – №. 6-2. – С. 60–62.

УДК 621.658.011

НЕЛИНЕЙНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА В МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ

А. В. ХОМЧЕНКО, И. У. ПРИМАК
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При исследовании спектров поглощения многослойных планарных структур было замечено, что поглощение излучения зависит от интенсивности зондирующего света, т. е. эти структуры проявляли нелинейность оптических свойств, и при этом зависимость интенсивности отраженного от поверхности пленки света $I_R(I)$ имеет вид, характерный для нелинейных материалов (рис. 1). Одной из вероятных причин наличия оптической нелинейности в них может быть эффект влияния поверхности на физические свойства такой структуры.

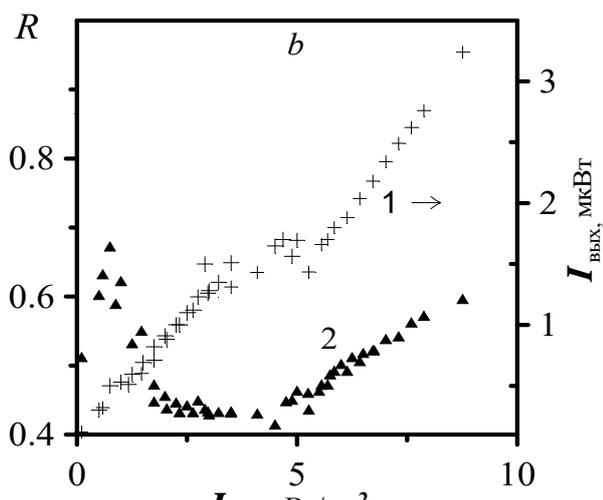


Рис. 1. Зависимость выходной интенсивности I и коэффициента отражения 2 от интенсивности падающего света в диапазоне ее изменения от 0,05 до 10 мВт/см²

С этой точки зрения определенный интерес представляет создание нелинейной среды, содержащей большое число границ раздела, в виде многослойной структуры, поэтому были изготовлены структуры, полученные послойным осаждением полупроводниковых и диэлектрических материалов. Изготовленные структуры проявляют ярко выраженные нелинейные оптические свойства и по сути представляют собой одномерные метаматериалы, хотя для того чтобы явно выделить эффект влияния границ раздела, была создана многослойная структура на основе линейных оптических материалов: проводящей двуокиси олова и кварцевого стекла. Зависимость изменения постоян-

ной распространения возбуждаемой волноводной моды h'_n при вариациях интенсивности света I для структур, содержащих три слоя оксида олова, разделенных слоями диоксида кремния, представлена на рис. 2. При этом сложный вид зависимости $h'_n(I)$ определялся количеством слоев в исследуемом образце. В многослойной структуре толщины проводящих слоев составляли 12, 24 и 36 нм. На кривой $\Delta h'(I)$ также отчетливо прослеживаются три минимума различной ширины. Немонотонный характер зависимости параметров пленки от интенсивности света обычно объясняют конкуренцией механизмов оптической нелинейности. Для рассмотренных тонкопленочных структур с учетом наличия границ раздела была исследована временная зависимость

интенсивности отраженного лазерного излучения при возбуждении волноводной моды в многослойной структуре, при различных интенсивностях падающего света: мощность падающего излучения равна 6, 10 и 16 мкВт для кривых 1, 2 и 3 соответственно. При этом если интенсивность зондирующего света такова, что мы находимся, например, в точке А (см. рис. 2, кривая 2), то колебания $I_R(I)$ не регистрируются. При увеличении интенсивности до значения, при котором на кривой зависимости $h'(I)$ фиксируется минимум, регистрируется модуляция интенсивности отраженного пучка. При дальнейшем увеличении интенсивности света зависимость $I_R(I)$ имеет вид, представленный кривой 2, при этом частота колебаний уменьшается. В ходе последующего увеличения интенсивности падающего света модуляция отраженного света исчезает, а затем появляется снова (кривая 3), однако здесь регистрируется еще больший период колебаний.

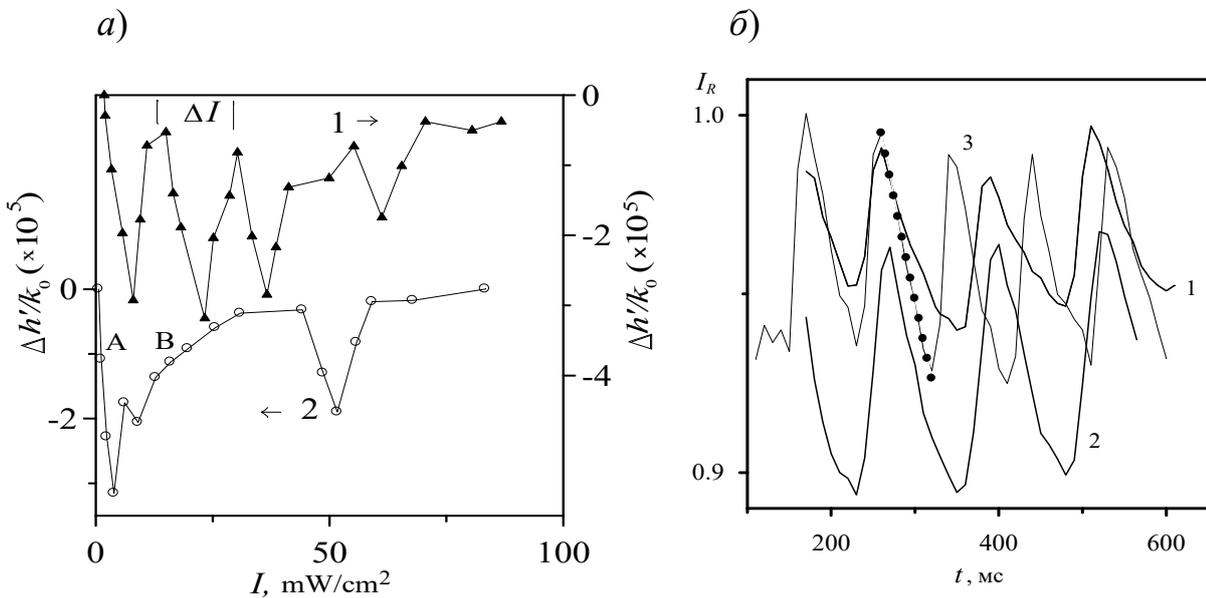


Рис. 2. Изменение h' при вариациях I_0 для многослойной структуры, содержащей третий и первый слой SnO_2 (кривые 1 и 2 (а) и временная зависимость интенсивности отраженного лазерного излучения при стационарном возбуждении волноводной моды в многослойной структуре (б))

Таким образом, приведенные результаты иллюстрируют возможности метода волноводной спектроскопии для исследования особенностей оптических свойств многослойных структур. Показано, что наблюдаемый эффект связан с оптической нелинейностью, природа которой обусловлена электронными процессами, протекающими на границах раздела многослойной структуры при низкой интенсивности света.

УДК 621.658.011

АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В АВТОМОБИЛЬНЫХ ЗАКАЛЕННЫХ СТЕКЛАХ

А. В. ХОМЧЕНКО, И. У. ПРИМАК, А. Г. СТАРОВОЙТОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Измерение величины двулучепреломления представляет определенный в случае использования неоднородной анизотропной среды, примером которой могут служить градиентно-легированные лазерные материалы или закаленное стекло. На основе анализа рассеяния света на неоднородностях распределения показателя преломления исследовано закаленное стекло, имеющее неоднородное по толщине распределение двулучепреломления. Схема измерений приведена на рис. 1. Линейно поляризованный пучок лазерного излучения с длиной волны 0,533 или 0,633 мкм, имеющий диаметр 180 мкм, от лазера 1, пройдя поляризатор 2 и фокусирующую линзу 3, нормально падает на боковую поверхность стекла 6 и распространяется в нем. Рассеянный свет регистрируется в плоскости, перпендикулярной направлению его распространения матрицей фотоприемников 5, направление наблюдения рассеянного света 4 перпендикулярно направлению поляризации δ падающего света.

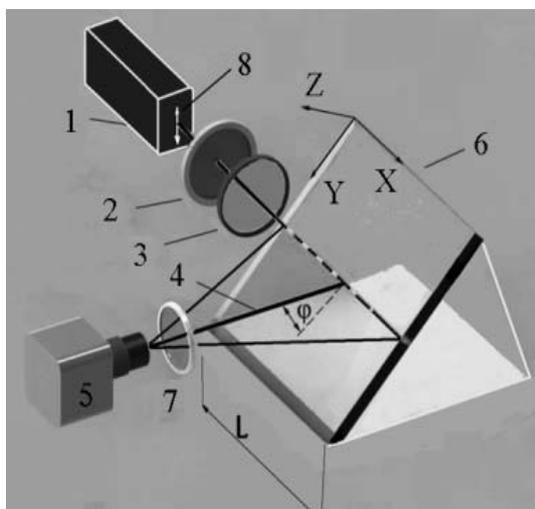
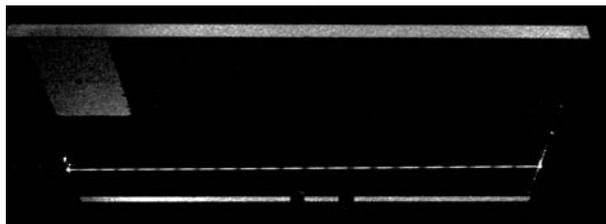


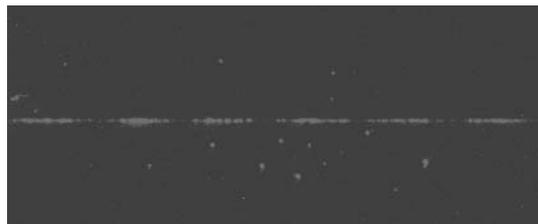
Рис. 1. Схема установки и изменение распределения интенсивности рассеянного света при сканировании образца в направлении оси OZ

При распространении света в анизотропной среде обыкновенная и необыкновенная волны имеют различные фазовые скорости, а их интерференция изменяет состояние поляризации светового пучка при его распространении вдоль образца. Это обуславливает пространственную модуляцию интенсивности зондирующего излучения вдоль оси OX и, соответственно, модуляцию рассеянного света, которую можно зарегистрировать (рис. 2) при выбранных определенным образом условиях эксперимента. При этом регистрируемые зависимости устойчивы к шумам измерений.

а)



б)



в)



Рис 2. Пространственная модуляция рассеянного света (в направлении оси OZ) в стеклах разной степени закалки (а), (б) и в исходном стекле (в)

Установлено, что фазовая задержка $\delta = \pi$ для таких волн возникает на длине x , равной периоду регулярного распределения интенсивности рассеянного света. Используя известную модель рассеяния света в неоднородной среде [1], интенсивность рассеянного света можно описать как

$$I(z, x) = I_0 \cos^2(0,5k_0 C \sigma(z)x),$$

где I_0 – некоторая постоянная; k_0 – волновое число вакуума; C – константа фотоупругая постоянная; $\sigma(z)$ – функция, описывающая распределение напряжений в поперечном сечении стекла.

Тогда анализ регистрируемых зависимостей $I(z, x)$ позволяет определить механические напряжения $\sigma(z)$. Используя такой подход и анализируя рассеяние света с длиной волны 0,533 мкм при его распространении вдоль оси образца (при $z = 0$) для стекла толщиной 6 мм, ширина и длина которого равны 100 и 140 мм соответственно (см. рис. 2, а), получено значение периода регулярного распределения интенсивности рассеянного света T и вычислено максимальное напряжение растяжения с использованием выражения $\sigma_u = 2\pi/(k_0 C T)$, которое составило 40,2 МПа.

Таким образом, анализируя характер модуляции интенсивности рассеянного света, можно определить пространственное распределение механических напряжений в поперечном сечении образца, при этом разброс значений механических напряжений вдоль траектории распространения зондирующего излучения не превышал 10 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gradient scattered light method for non-destructive stress profile determination in chemically strengthened glass / S. Hödemann [et al.] // Journal Mater Scientific. – 2016. – Vol. 51. – P. 5962–5978.

УДК 620.179.14

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОЦЕССА ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТАЛИ 12Х18Н10Т

А. В. ЧЕРНЫШЕВ, В. И. ШАРАНДО, Н. В. КРЕМЕНЬКОВА

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Во многих отраслях машиностроения находят применение высоколегированные нержавеющие аустенитные стали. В исходном состоянии они имеют преимущественно парамагнитную γ -структуру. Механическая обработка таких сталей может приводить к формированию в структуре ферромагнитной α -фазы – мартенсита деформации. При этом могут существенно изменяться эксплуатационные характеристики выполненных из этих материалов изделий – коррозионная стойкость, механические свойства. Это вызывает необходимость неразрушающего контроля содержания ферромагнитной фазы в изделиях из таких сталей. Нами выполнены исследования по оценке структурно-фазовых свойств поверхностного слоя образцов из стали 12Х18Н10Т с помощью вихретокового метода.

Из стального листа толщиной 10 мм, находившегося в состоянии поставки, были вырезаны квадратные образцы 21×21 мм. Затем путем многократной прокатки при комнатной температуре во взаимно перпендикулярных направлениях были обеспечены различные величины степени их пластической деформации. Следствием прокатки было изменение от 10 до 5 мм толщины образцов (при сохранении их объёма). Соответственно, степень пластической деформации ε образцов определена нами как изменение (в процентах) толщины образца после деформирования относительно начальной.

Вихретоковый накладной преобразователь состоит из трех соосных катушек – поля возбуждения, измерительной и компенсационной. Две последние катушки расположены у торцов катушки поля возбуждения и включены дифференциально между собой. Компенсация выходного напряжения до некоторого минимального значения (на практике оно отлично от нулевого) проводилась при расположении преобразователя вдали от проводящих тел. По катушке поля возбуждения пропускался ток синусоидальной формы частотой 2,5 кГц. Измерялась амплитуда U_{am} выходного напряжения преобразователя, а также его третья гармоническая составляющая. Она отсутствует при расположении преобразователя на неферромагнитном образце, хотя при этом амплитуда U_{am} отличается от той, которая имеет место при расположении преобразователя в воздухе.

На рис. 1 приведены зависимости от ε величины U_{am} (в условных единицах) и твёрдости по Роквеллу (в единицах HRC).

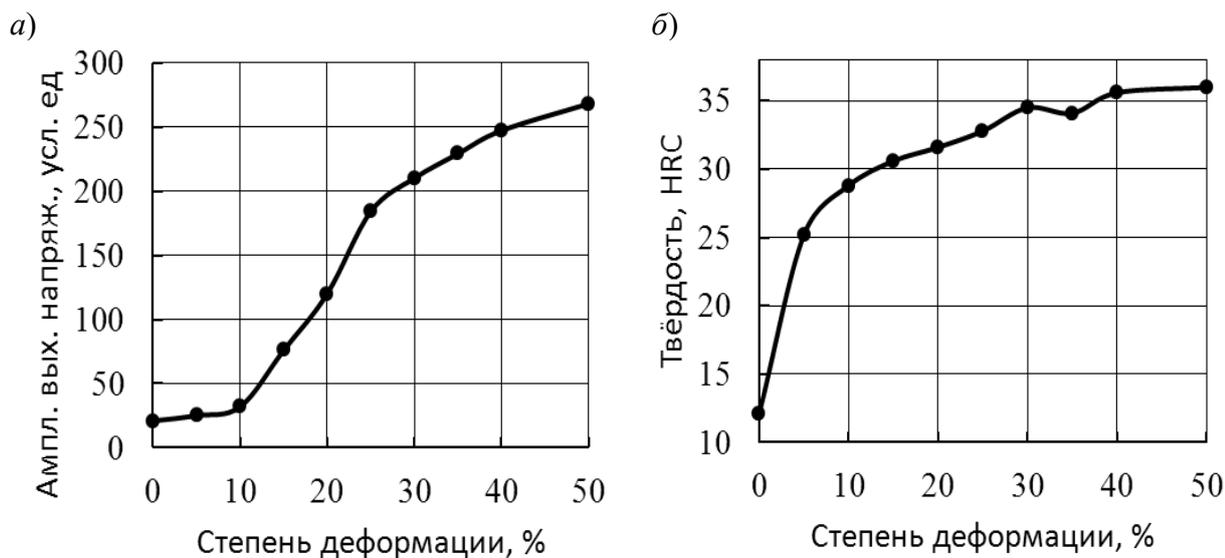


Рис. 1. Зависимость U_{am} (а) и твёрдости (б) от степени деформации ε

Амплитуда U_{am} зависит от начальной магнитной восприимчивости проницаемости образца χ_{in} . Рост U_{am} на начальном этапе увеличения ε объясняется возрастанием χ_{in} за счет роста при этом процентного содержания в образцах ферромагнитной α -фазы [1]. Уменьшение чувствительности U_{am} к изменениям ε при ее значениях, превышающих 30 %, объясняется возрастанием при этом плотности дислокаций n , т. к. при этом уменьшается χ_{in} . Это следует из известного соотношения [2]

$$\chi_{in} = \frac{\text{constant}}{\sqrt{n}}.$$

Основное изменение твёрдости происходит на начальных этапах деформирования, после 10 % деформации чувствительность этого метода понижается.

Из полученных результатов следует, что контроль степени деформации поверхностного слоя изделий из стали 12X18H10T можно производить на основе измерения амплитуды выходного напряжения накладного преобразователя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние деформации прокаткой и одноосным растяжением на структуру, магнитные и механические свойства армко-железа, стали 12X18H10T и составного материала «сталь 12X18H10T – армко-железо – сталь 12X18H10T» / Э. С. Горкунов [и др.] // Дефектоскопия. – 2011. – № 6. – С. 16–30.
2. Jiles, D. Magnetism and Magnetic Materials / D. Jiles. – London; New York: CRC Press, 2016. – 576 p.

УДК 621.372.8:535

ПЛАЗМОННЫЕ МОДЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК
ПРИ АНОМАЛЬНОМ СКИН-ЭФФЕКТЕЕ. А. ЧУДАКОВ¹, А. Б. СОТСКИЙ¹, С. О. ПАРАШКОВ²¹Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При контроле параметров сред и иммуноанализе широко применяются оптические сенсоры, использующие в качестве рабочих плазмонные моды, направляемые поверхностями металлических пленок. Для решения соответствующих обратных оптических задач необходимо иметь корректное математическое описание данных мод. В настоящее время обычно используется модель, в которой металл рассматривается как сплошная среда с комплексной диэлектрической проницаемостью ϵ_m . Однако такой подход, известный как приближение нормального скин-эффекта, нельзя считать бездефектным. Он основан на классической теории Друде, в которой принимается допущение о пространственно-локальной связи между плотностью тока свободных электронов j и напряженностью электрического поля E . Но такое допущение может быть корректным при условии, что средняя длина свободного пробега электрона много больше толщины скин-слоя. Это условие может нарушаться в видимом и ультрафиолетовом диапазонах длин волн. Кроме того, практически используемые металлические пленки часто имеют толщины меньшие, чем длина свободного пробега электрона. В этом случае допущение о локальной связи между векторами j и E в пределах пленки также выглядит проблематичным. Более корректное описание взаимодействия света с металлом возможно в рамках теории аномального скин-эффекта, основанной на совместном рассмотрении уравнений Максвелла и кинетического уравнения Больцмана и сводящей дело к решению интегро-дифференциальных уравнений относительно напряженности электрического поля в области металла. Но в замкнутом виде такое решение опубликовано только для случая нормального падения плоской волны на поверхность полуограниченного металла. При расчете плазмонных мод, распространяющихся вдоль металлических пленок, теория аномального скин-эффекта существенно усложняется и до настоящего времени практически не разработана. Такой расчет выполнен в данном сообщении. Результат достигнут за счет сведения интегро-дифференциальных уравнений теории аномального скин-эффекта к интегральным уравнениям Фредгольма второго рода. Уравнения сформулированы для случая диффузного рассеяния свободных электронов на границах металла. Их численное решение получено методом квадратур.

В табл. 1 и на рис. 1 представлены результаты расчета характеристик плазмонных мод, направляемых алюминиевыми пленками различной толщины d . Длина световой волны $\lambda = 800$ нм. Пленки контактируют с воздухом и находятся на кремниевой подложке с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_s = (3,695 - i0,0066)^2$. Константы пленок: диэлектрическая проницаемость $\epsilon_m = (2,767 - i8,354)^2$, концентрация свободных электронов $n = 1,807 \cdot 10^{29}$ 1/м³, время свободного пробега электрона $\tau = 7,2$ фс.

Табл. 1. Постоянные распространения плазмонных мод

d , нм	β	β_n
10	$1,00119 - i8,167E-3$	$1,00151 - i8,458E-3$
60	$1,00534 - i4,034E-3$	$1,00550 - i3,912E-3$

Примечание – β – теория аномального скин-эффекта; β_n – приближение нормального скин-эффекта

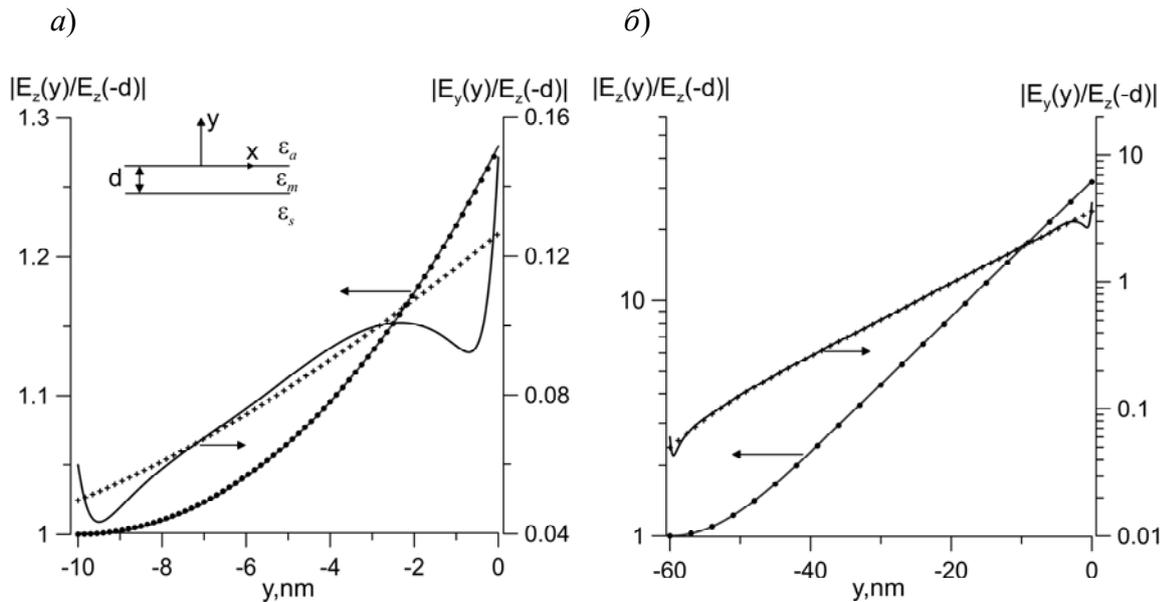


Рис. 1. Электрические поля плазмонных мод в алюминиевых пленках толщиной 10 нм (а) и 60 нм (б). Сплошные кривые – теория аномального скин-эффекта, дискретные значки (\bullet – E_z компонента, $+$ – E_y компонента) – приближение нормального скин-эффекта

Согласно представленным данным, аномальный скин-эффект сказывается главным образом на компоненте электрического поля, нормальной границам пленки, приводя к ее усилению в окрестности данных границ.

Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Фотоника, опто- и микроэлектроника».

УДК 535.42; 004.94

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА ПРОЗРАЧНЫХ ФАЗОВЫХ ОБЪЕКТАХ

П. Я. ЧУДАКОВСКИЙ, И. А. КОРНЕЕВА, Е. В. ПИВОВАРОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В данной работе проводится анализ распределения электромагнитного излучения при дифракции света на двумерной оптически-прозрачной фазовой ступеньке круговой симметрии. Показана возможность использования оптической дифрактометрии в режиме реального времени для исследования процессов, имеющих место при взаимодействии сред с разными термодинамическими фазами, что вносит вклад в развитие данного метода.

Возвращаясь к фазовым ступенькам, заметим, что в их качестве могут выступать, например, тонкие оптические пленки, дефектные включения в физических объектах и т. д. В частности, мы рассматривали капли воды, образовавшиеся на стекле из парообразной фазы. На рис. 1 представлено распределение интенсивности лазерного излучения (с длиной волны $\lambda = 0,6328$ мкм, размер пучка не более 1 мм) при его дифракции на каплях.

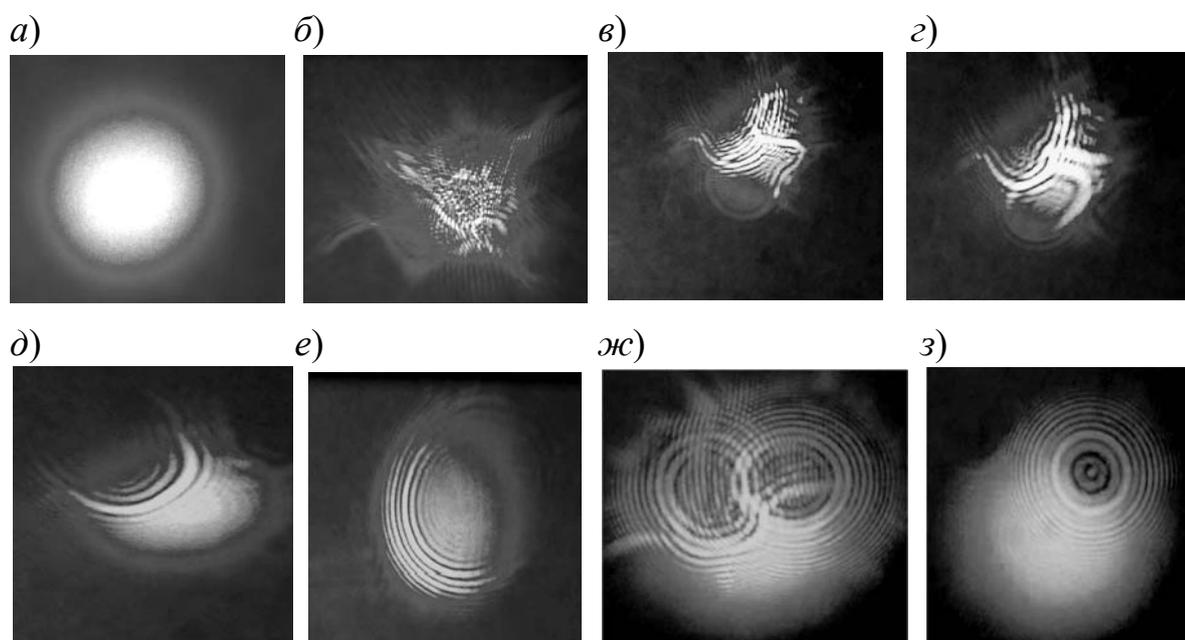


Рис. 1. Распределение интенсивности светового излучения в проходящем свете в отсутствии стекла с каплями (а) и в присутствии конденсата на предметном стекле микроскопа (б–е), автомобильном стекле (ж, з): б – в начальный момент времени; в – через 1 мин 42 с; г – через 1 мин 57 с; д – через 2 мин 10 с; е – дифракционная картина от одной капли; ж – через 3 мин 45 с; з – дифракционная картина от одной капли (4 мин 7 с)

Как видно из рис. 1, после образования конденсата идут процессы объединения капель и их дальнейшее испарение. При этом интенсивность

диффузно-рассеянного света (см. рис. 1, б) меняется на упорядоченное распределение (см. рис. 1, в–е) в виде «колец», с ярко выраженными максимумами интенсивности света. Тип стекла также видоизменяет распределение интенсивности. Так, в случае автомобильного стекла, распределение характеризуется более симметричными «кольцами» (см. рис. 1, ж, з), а процессы преобразования капель более длительны во времени.

На рис. 2 приведены результаты компьютерного моделирования дифракционной картины, наблюдаемой в проходящем свете.

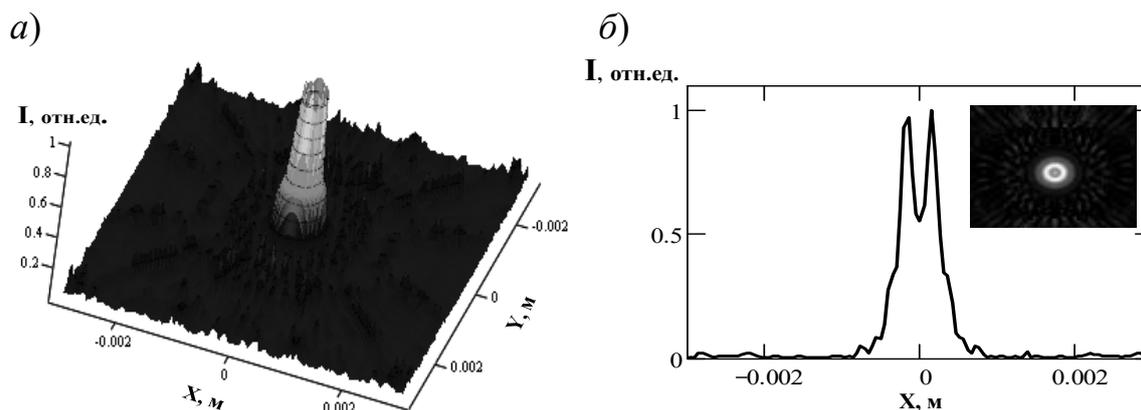


Рис. 2. Компьютерное моделирование дифракционной картины в проходящем свете от одной капли: а – трехмерное распределение интенсивности; б – одномерное распределение интенсивности (на вставке дифракционная картина на виртуальном экране)

При моделировании мы исходили из того, что капля на поверхности растекается до некоторого тонкого слоя (тонкопленочного пятна), а границы такого слоя близки к симметричному распределению. Форма капли, выполняющей роль фазовой ступеньки, выбиралась в виде тонкого диска. Расчет представленных картин осуществлялся с использованием дифракционного интеграла Френеля – Кирхгофа [1] для ступеньки (диска) высотой 0,3 мм, радиусом 0,5 мм и показателем преломления 1,33 и может быть использован для решения прямой оптической задачи дифрактометрии.

Таким образом, представленные результаты указывают на чувствительность оптической дифрактометрии к изменениям в фазовых объектах, что, возможно, позволит использовать его в экспресс-диагностике материалов в режиме реального времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чудаковский, П. Я. Компьютерная визуализация оптических дифракционных картин / П. Я. Чудаковский, И. А. Корнеева, Д. С. Игнатова // Энергетика, Информатика, Инновации – 2018 (математическое моделирование и информационные технологии в производстве): сб. тр. VIII Междунар. науч.-техн. конф. – Смоленск, 2018. – Т. 1. – С. 309–314.

УДК 620.179.14 +537.3222.11

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОГО
И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ
ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОЦЕССА ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ
СТАЛИ 12Х18Н10Т

В. И. ШАРАНДО, А. В. ЧЕРНЫШЕВ, Н. В. КРЕМЕНЬКОВА
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Механико-термическая обработка высоколегированных аустенитных сталей, а также технологические процессы изготовления из них изделий могут приводить к формированию в их структуре отличающейся по физическим свойствам ферромагнитной α -фазы [1]. Существует потребность в портативных приборах для определения её наличия и количества. В работе рассмотрена возможность применения для оценки структурных изменений при пластической деформации таких сталей магнитодинамического и термоэлектрического методов контроля. Исследования проводились на коррозионно-стойкой аустенитной стали 12Х18Н10Т.

Из листа толщиной 10 мм, находившегося в состоянии поставки (закалка от высоких температур), были вырезаны квадратные образцы 21×21 мм. Затем путём многократной прокатки при комнатной температуре во взаимно перпендикулярных направлениях обеспечены различные величины степени их пластической деформации. Степень пластической деформации образцов определялась как изменение (в процентах) толщины образца после деформирования относительно начальной.

В исследованиях использован магнитодинамический толщиномер МТЦ-3 [2], основанный на регистрации изменения магнитного потока в индукционной катушке, охватывающей стержневой магнит, при его контакте и затем удалении от ферромагнетика. Величина измеряемого сигнала зависит только от значений потока в конечных положениях преобразователя и является функцией намагниченности контролируемого материала в информативной области. Энергия магнита, выполненного из высококоэрцитивного материала $NdFeB$, составляла 45 мДж. ТермоЭДС является физической характеристикой, чувствительной к электронному строению металла и механизмам рассеяния электронов, а следовательно, к химическому составу и структуре материала изделия. Она измерялась прибором ПИТ-2 [3, 4] с преобразователем, содержащим два электрода из стали 45, один из которых имел температуру окружающей среды, а второй нагревался с поддержанием разности температур 50 °С.

На рис. 1 приведены в условных единицах зависимости показаний магнитодинамического прибора МТЦ-3 и термоэлектрического прибора ПИТ-2 от степени деформации образцов из стали 12Х18Н10Т.

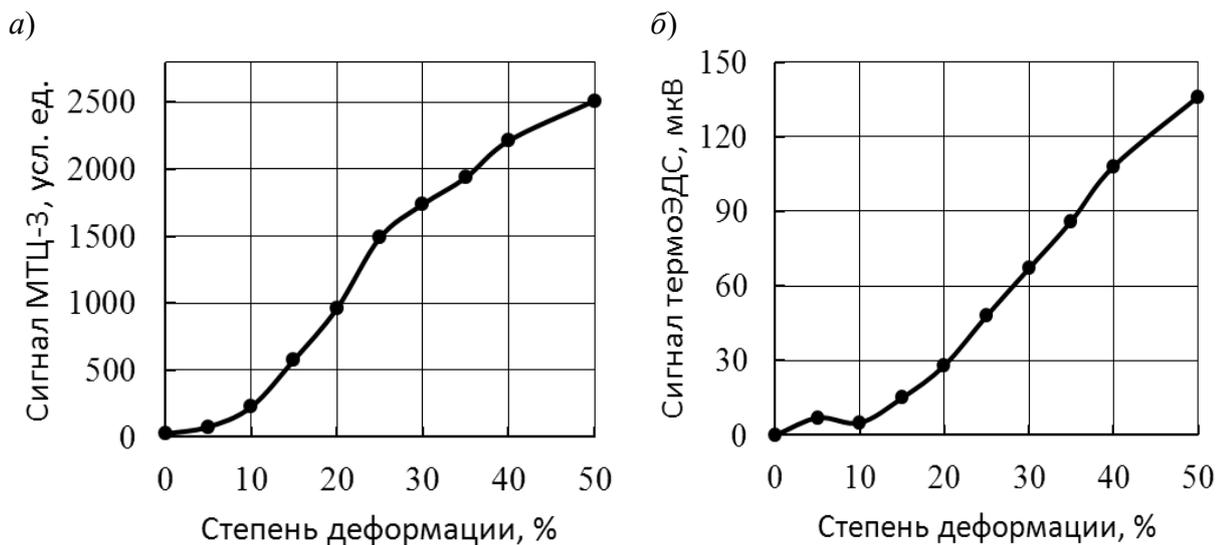


Рис. 1. Зависимость сигналов магнетодинамического прибора МТЦ-3 (а) и термоэлектрического прибора ПИТ-2 (б) от степени деформации образцов

Изменение сигнала МТЦ-3 указывает на непрерывный рост магнитного потока с увеличением степени деформации, что связано с интенсивным образованием в исследуемых образцах магнитной фазы. Изменение термоэлектрического сигнала также указывает на появление и возрастание количества новой фазы, отличающейся по электронной структуре от материала матрицы.

Из полученных результатов следует, что контроль степени механической обработки количества создаваемой ею ферромагнитной фазы может осуществляться с помощью рассмотренных методов и приборов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние деформации прокаткой и одноосным растяжением на структуру, магнитные и механические свойства армко-железа, стали 12Х18Н10Т и составного материала «сталь 12Х18Н10Т – армко-железо – сталь 12Х18Н10Т» / Э. С. Горкунов [и др.] // Дефектоскопия. – 2011. – № 6. – С. 16–30.
2. Лухвич, А. А. Магнитные толщиномеры нового поколения / А. А. Лухвич // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2010. – № 4. – С. 3–15.
3. Лухвич, А. А. Структурная зависимость термоэлектрических свойств и неразрушающий контроль / А. А. Лухвич, А. С. Каролик, В. И. Шарандо. – Минск: Навука і тэхніка, 1990. – 192 с.
4. Шарандо, В. И. Перспективы термоэлектрического метода в исследовании свойств металлов и поверхностных слоёв / В. И. Шарандо // Достижения физики неразрушающего контроля: сб. науч. тр., посвящ. 40-летию ИПФ НАН Беларуси. – Минск, 2003. – С. 99–118.

УДК 621.3:658.34

ПРОБЛЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ СРЕД

В. Н. АБАБУРКО¹, П. Ф. НИКИТИН¹, Е. М. КАЗАК²

¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Департамент по надзору за безопасным ведением работ
в промышленности (Госпромнадзор)

Минск, Беларусь

После внесения изменений в перечень стандартов к Техническому регламенту ТР ТС 012/2011 *О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах* возникла необходимость соблюдения требований сертификации и квалифицированного обслуживания не только электрической, но и механической части оборудования, включающие следующие технологические установки: компрессоры, насосы, вентиляторы, запорную арматуру, конвейеры, горнопроходческие комбайны и т. д. Это требует решения следующих задач:

1) обучение и аттестация персонала, обслуживающего механическую часть оборудования для взрывоопасных сред, для выполнения квалифицированного технического обслуживания и ремонта указанного оборудования в соответствии с требованиями обновленного технического регламента и межгосударственных стандартов ГОСТ 31441.1–2011 (EN 13463-1:2001), ГОСТ 31441.2–2011 (EN 13463-2:2004) *Защита оболочкой с ограниченным пропуском газов «fr»*, ГОСТ 31441.3–2011 (EN 13463-3:2005) *Защита взрывонепроницаемой оболочкой «d»*, ГОСТ 31441.6–2011 (EN 13463-6:2005) *Защита контролем источника воспламенения «b»*, ГОСТ 31441.8–2011 (EN 13463-8:2003) *Защита жидкостным погружением «k»*, ГОСТ ISO/DIS 80079-37–2013 *Неэлектрическое оборудование с видами взрывозащиты «конструкционная безопасность «с»*, *контроль источника воспламенения «b»*, *погружение в жидкость «k»*, ГОСТ 32407–2013 *Неэлектрическое оборудование для взрывоопасных сред. Общие требования и методы испытаний*;

2) разработка новой редакции эксплуатационной документации на механическую часть оборудования для взрывоопасных зон, выпущенных до введения изменений технического регламента;

3) формирование комплекса требований к сертификации механической части технологического оборудования для взрывоопасных сред, информа-

ционное обеспечение ими всех заинтересованных сторон в зависимости от его вида и действующих межгосударственных и национальных стандартов;

4) разработка методики проведения капитального ремонта механической части оборудования для взрывоопасных сред в соответствии с его технологическим назначением и требованиями изменений Технического регламента ТР ТС 012/2011;

5) ревизия состояния состава механической части ранее смонтированного оборудования для взрывоопасных зон для оценки его безопасности и необходимости выполнения дополнительных мероприятий в целях гармонизации его дальнейшей эксплуатации с новыми требованиями редакции регламента;

6) формирование типовых бланков и заполнение паспортов индивидуальной эксплуатации для механической части оборудования технологических установок, расположенных во взрывоопасных средах;

7) разработка или редактирование локальных технических нормативно-правовых актов предприятий (правил технической эксплуатации и ремонта механической части определенного класса технологического оборудования предприятий и организаций) и ремонтной документации для выполнения капитального ремонта механической части технологического оборудования, расположенного во взрывоопасных средах;

8) разработка, редактирование и рецензирование комплекта межгосударственных нормативных документов для механической части оборудования на основе публикаций международных организаций: международной электротехнической комиссии (IEC) и международной организации по стандартизации (ISO).

Все указанные выше задачи для промышленных предприятий нефтехимического комплекса решаются сотрудниками научно-исследовательской лаборатории «Взрывозащищенное электрооборудование» совместно с сотрудниками Департамента по надзору за безопасным ведением работ в промышленности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госпромнадзора) в рамках договора о сотрудничестве. Решение задач, указанных в пункте 8, выполняются во взаимодействии с Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь (Госстандартом), Автономной некоммерческой национальной организацией «ЕХ-стандарт» (АННО «ЕХ-стандарт», Российская Федерация), в том числе и в рамках функционирования Межгосударственного технического комитета МТК 42 «Взрывозащищенное и рудничное оборудование» Межгосударственного совета по стандартизации.

УДК 621.3:658.34

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОН

В. Н. АБАБУРКО¹, П. Ф. НИКИТИН¹, В. Ч. КАНТОР²

¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Департамент по надзору за безопасным ведением работ
в промышленности (Госпромнадзор)

Минск, Беларусь

Важной проблемой снижения уровня энергопотребления стационарных систем освещения современных взрывоопасных производств является применение энергосберегающих светильников. Эта современная тенденция требует в смонтированных осветительных сетях использования современных технологий освещения на основе светодиодных элементов или компактных люминесцентных ламп. Поэтому для многих промышленных предприятий возникла необходимость в проведении модернизации существующих стационарных систем освещения производств со взрывоопасными средами. При модернизации систем стационарного освещения со взрывобезопасными светильниками возникают следующие решения:

1) полное перепроектирование устаревших цепей освещения с демонтажом старой системы освещения, классификация и расчет размеров взрывоопасных зон в соответствии с ГОСТ IEC 60079-10-1–2013 *Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды* с последующим использованием современных энергоэффективных светильников с улучшенными светотехническими характеристиками и измененной маркировкой взрывозащиты. Этот вариант является наиболее эффективным для снижения затрат на освещение при эксплуатации, но наиболее затратным вариантом модернизации на первоначальном этапе, требующем переобучение обслуживающего персонала;

2) замена при использовании взрывобезопасных светильников устаревших конструкций новыми энергоэффективными светодиодами или компактными люминесцентными лампами, изначально не предназначенных для использования во взрывозащищенных устаревших светильниках и не имеющих соответствующих сертификационных или разрешительных документов. Этот вариант является одним из дешевых, с точки зрения экономических затрат, но и одновременно достаточно опасным с точки зрения взрывобезопасности и эргономики, т. к. не учитывает изменения факторов теплового излучения ламп

и старой конструкции охлаждения, что может привести к повышению температуры нагрева одной из поверхностей или внутренней части светильника. Поэтому такая замена допустима только при наличии специального разрешения после проведения дополнительных исследований аккредитованной лабораторией конкретной модели взрывозащищенного светильника с конкретной моделью ламп;

3) самостоятельная разработка и изготовление светодиодных панелей для применения в смонтированных ранее устаревших взрывозащищенных светильниках на основе общепромышленных образцов. Указанный случай модернизации характерен для крупных предприятий с собственной производственной базой или развитым электроремонтным подразделением. При этом ошибочно считается, что так светильник модернизируется для собственных нужд, то можно упростить процедуру оформления разрешения. Этот вариант модернизации требует обязательного проведения сертификационных процедур, т. к. упрощенная процедура проектирования и технология изготовления таких светотехнических изделий должна соответствовать требованиям безопасности ГОСТ 31610.0–2014 *Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования*. При этом следует не только заново сертифицировать модернизированный светильник, но и разработать технологический процесс изготовления светоизлучающих панелей (ламп), что довольно затратно для одного даже очень крупного предприятия;

4) наиболее простым решением может показаться замена устаревших светильников новыми сертифицированными энергоэффективными моделями с аналогичной маркировкой взрывозащиты, которая в большинстве случаев включает вид взрывозащиты «d» для зон класса В-I по ПУЭ, 6-е изд. Этот вариант является наиболее быстрым с точки зрения времени реализации, но как правило не учитывает затрат на техническое обслуживание.

Указанная выше схема выбора отражает тенденции развития мирового проектирования и позволяет оптимизировать процесс выбора стационарных светильников для нефтегазовой отрасли, предприятий химической промышленности и топливно-энергетического комплекса.

Для оказания помощи промышленным предприятиям в повышении эффективности освещения взрывоопасных производств в научно-исследовательской лаборатории «Взрывозащищенное электрооборудование» Белорусско-Российского университета в сотрудничестве с департаментом Госпромнадзор МЧС Республики Беларусь разработаны методики оценки безопасности и сертификации вариантов модернизации систем промышленного освещения и обучения им сотрудников проектных и эксплуатационных служб предприятий.

УДК 681.5

ПРИБОРЫ «МЕТАКОН-5Х2» В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

О. Л. АХРЕМЧИК

Тверской государственной технической университет

Тверь, Россия

Полимерное многомодовое оптическое волокно (ПОВ) находит широкое применение в системах управления и передачи данных при небольших длинах линий связи (до нескольких км) и невысоких скоростях передачи (до 200 Мбит/с) в силу простоты сопряжения с источником излучения [1]. Наибольшее распространение в РФ, Беларуси, Казахстане получило волокно с диаметром сердцевины (оболочки) 980 (1000) мкм и ступенчатым показателем преломления, отвечающее требованиям стандарта IEC-60793-2-40. Анализ технологического процесса производства ПОВ как объекта управления позволяет в качестве основных параметров состояния выделить температуру и скорость вытяжки при постоянных размерах фильерного комплекта [2]. Технологически производство ПОВ в ООО «ТЦ ПОВ» (г. Тверь) осуществляется в установке периодического действия. Производительность установки до 400 кг/год. Поддержание требуемых температур является одной из основных задач автоматизации установки.

Производственный цикл предусматривает несколько стадий термообработки сырья: сушка при температуре (70 ± 5) °С в течение 3 ч; нагрев фильерного комплекта до температуры 210...230 °С; расплавление и вытяжка полимера после загрузки при температуре расплава 170...230 °С; отжиг и сушка фильерного комплекта после окончания процесса вытяжки.

Измерение и поддержание температуры при расплаве полимера осуществляется в трех зонах: области предварительного нагрева гранул полимера; перед фильерным комплектом; в зоне фильерного комплекта.

Прибор для управления температурой обеспечивает: измерение температуры (с учетом преобладания решений по автоматизации на базе подключения термометров сопротивления) с точностью $\pm 0,1$ %; формирование управляющего сигнала с гистерезисом не менее 1 °С на исполнительные устройств для коммутации цепей с мощными ТЭНами; индикацию текущего значения и аварийного отклонения температуры в выделенных зонах; регистрацию и хранение данных об изменении температуры; передачу данных в систему верхнего уровня.

При модернизации системы управления температурными режимами по согласованию специалистами ООО «ТЦ ПОВ» предложено для управления температурой по зонам установки использовать общепромышленные регуляторы типа «Метакон-5х2-х-х-х» (НПФ «КонтрАвт», г. Н. Новгород, РФ),

реализующие все выделенные функции.

Инерционность фильерного комплекта и сложности с настройкой ПИД-регуляторов в системе автоматизации действующей установки предопределили выбор позиционного закона управления, реализуемого на базе компараторов «Метакон-5х2-х-х-х». Регулятор имеет два параметра настройки – температура рабочей точки и гистерезис. Второй компаратор в канале прибора предлагается использовать для сигнализации отклонения температуры в зоне. На этапе разработки функциональной схемы автоматизации проектная группа столкнулась с задачей выбора модификации «Метакон-5х2-х-х-х» в двух пространствах.

Первое пространство определяется значением «х» в сочетании «5х2» и задает число каналов. Вариативность выбора включает: шесть одноканальных приборов с отдельной организацией каналов управления и сигнализации на базе компараторов разных каналов; три одноканальных прибора с реализацией функций управления и сигнализации на базе компараторов одного канала; шестиканальный прибор с отдельной организацией каналов управления и сигнализации, трехканальный прибор с организацией управления и сигнализации на базе компараторов одного канала. В качестве критерия принятия решения при выборе в данном пространстве рассматривается число линий связи в схемной реализации системы автоматизации. Исходя из минимизации критерия, выбран трехканальный прибор ($x = 3$).

Второе пространство задается модификациями прибора, зависящими от типов применяемых измерительных и исполнительных устройств и схем их подключения. Здесь зачастую при выборе действует субъективная оценка, определяемая предпочтениями проектировщика. Предложено $x = P$ и $x = TC100$ (ориентированы на подключение термометра сопротивления и блока реле). В качестве критерия принятия решения автором рассматривается стоимостной показатель, определяющий затраты на комплектацию системы при выборе схем подключения соединяемых с регулятором устройств. При реализации выделенных функций выбор прибора «Метакон5х3-х-х-1» безальтернативен в силу необходимости цифровой передачи данных.

Таким образом, предложенное проектное решение для системы управления температурой при производстве ПОВ в установке периодического действия небольшой производительности реализуется с использованием регулятора «Метакон-532-Р-ТС100-1».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дианов, Е. М.** Лазеры и волоконная оптика / Е. М. Дианов, А. И. Прохоров // Фотон-экспресс. – 2016. – № 1 (129). – С. 8–17.
2. **Коган, В. Е.** Способ получения оптического волокна / В. Е. Коган, Т. С. Шахпаронова // Междунар. науч.-исслед. журн. – 2014. – № 3-1 (22). – С. 35–36.

УДК 621.3: 629.791

РАЗРАБОТКА БЛОКА ДАТЧИКОВ СВАРОЧНОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ НА ДУГЕ

С. В. БОЛОТОВ, А. В. ЯНКОВИЧ, Н. К. БОБКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Блок датчиков входит в состав регистратора сварочных процессов РСП-БРУ-01, разрабатываемого в Белорусско-Российском университете. Выбор датчиков сварочного тока и напряжения на дуге осуществляли по следующим критериям: измерение постоянного, переменного и импульсного токов и напряжения, диапазон измерения сварочного тока – от 0 и не менее 500 А, диапазон измерения напряжения на дуге – от 0 до 100 В, погрешность измерения тока и напряжения – до 1,5 %, нелинейность – менее 0,5 %, частота опроса датчиков – не менее 10 кГц, диапазон рабочих температур – от –40 до +50 °С, гальваническая развязка со сварочной цепью. Данным критериям удовлетворяют компенсационные датчики на эффекте Холла LF 505-F (датчик тока) и LV 25-P/SP5 (датчик напряжения).

Для питания датчиков и согласования сигналов со входами аналого цифрового преобразователя одноплатного компьютера SBC1788 разработана печатная плата. Входное напряжение регистратора +12 В с помощью микросхемы AM15E-1215DZ преобразуется в двухполярное ± 15 В для питания датчиков. Выходные токовые сигналы датчика тока и датчика напряжения посредством резисторов преобразуются в пропорциональные им напряжения с уровнем, не превышающим +3 В, и поступают на входы инвертирующих усилителей LM358, работающих в режиме повторителей. Для возможности измерения двухполярных значений тока и напряжения средняя точка усилителей смещается на +1,5 В. Для устранения влияния высших гармоник на форму выходных сигналов использовали RC-фильтры высших частот.

Блок датчиков выполнен в виде отдельного корпуса со степенью защиты IP68 и соединён кабелем ПВС 4x1,5 с основным блоком регистратора. Считывание регистратором мгновенных значений сварочного тока и напряжения на дуге производится с частотой 10 кГц. В результате обработки данных определяются параметры переноса электродного металла: частота коротких замыканий капель в сварочную ванну, длительность горения дуги, амплитудное и среднее значение сварочного тока и скорость его нарастания. Запись в память и передача на сервер усреднённых значений сварочного тока и напряжения на дуге осуществляется с частотой 10 Гц.

Калибровка регистратора сварочных процессов РСП-БРУ-01, проведенная в Могилёвском центре стандартизации и метрологии, указывает на обеспечение заданных метрологических характеристик.

УДК 681.586.72

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТЕЛЕЖКИ ПАСТЕРИЗАТОРА МОЛОКА

Г. В. БОЧКАРЕВ, В. Н. ШАРКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Одним из важнейших параметров, характеризующих эффективность эксплуатации электротележек, в частности электротележек пастеризаторов молока (молочное такси), является пробег, соответствующий полной зарядке аккумуляторной батареи. Данный параметр, при прочих равных условиях (емкости аккумуляторной батареи, рабочей массе тележки), зависит от энергоэффективности электропривода.

Энергоэффективность электропривода может быть обеспечена оптимизацией кинематических параметров трансмиссии и частоты широтно-импульсного преобразователя, а также реализацией рекуперативного торможения.

В соответствии с предлагаемой методикой, первым этапом является оптимизация таких параметров, как диаметр и скорость вращения ведущих колес, передаточное число редуктора, скорость вращения вала электродвигателя, с целью обеспечения минимальной потребляемой мощности от источника питания.

При выполнении оптимизации диаметра и скорости вращения ведущих колес согласно [1] необходимо рассматривать ведущий, свободный и тормозной режимы качения колеса в зависимости от значения и направления продольной реакции силы и момента на колесе. Для указанных режимов качения рассматриваются различные значения статического, динамического и кинематического радиусов колеса с целью определения оптимального значения для заданных условий эксплуатации тележки. В соответствии с принятыми параметрами для ведущих колес выполняется определение оптимального соотношения между скоростью вращения вала электродвигателя и передаточным числом редуктора.

На втором этапе, согласно предлагаемой методики, выполняется расчет оптимальной частоты широтно-импульсного преобразователя для выбранного электродвигателя в соответствии с методикой, приведенной в [2].

Данная методика позволяет определить частоты, при которых обеспечиваются минимальные потери мощности в электродвигателе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвинов, А. С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – Москва : Машиностроение, 1989. – 237 с.
2. Глазенко, Т. А. Полупроводниковые преобразователи в электроприводах постоянного тока / Т. А. Глазенко. – Ленинград: Энергия, 1973. – 304 с.: ил.

УДК 621.3

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИВОДОВ МЕХАНИЗМОВ ДОЗАТОРА МАШИН ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Л. В. ЖЕСТКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Машина для литья под давлением включает в себя комплекс отдельных агрегатов, объединённых технологическим циклом изготовления отливок методом литья под давлением. Автоматизированная литьевая машина функционирует в комплекте с механическим дозатором. Перемещение ковша от плавильной печи к машине осуществляется рычажным механизмом. Механический дозатор обеспечивает подачу расплавленного алюминиевого сплава из плавильной печи в камеру прессования, где по заданному циклу он запрессовывается в форму.

Рычажный механизм дозатора в исходном варианте приводился в движение от двигателя переменного тока через редуктор. Опрокидывание ковша производилось посредством цепной передачи от электродвигателя постоянного тока через редуктор. Новым техническим решением является использование регулируемых приводов механического дозатора: сервопривод ASDA-B2 фирмы Delta Electronics для рычажного механизма дозатора и шаговый двигатель производства фирмы Purelogic R&D для механизма поворота ковша. Блок-схема автоматизированного электропривода (АЭП) машины для литья под давлением представлена на рис. 1.

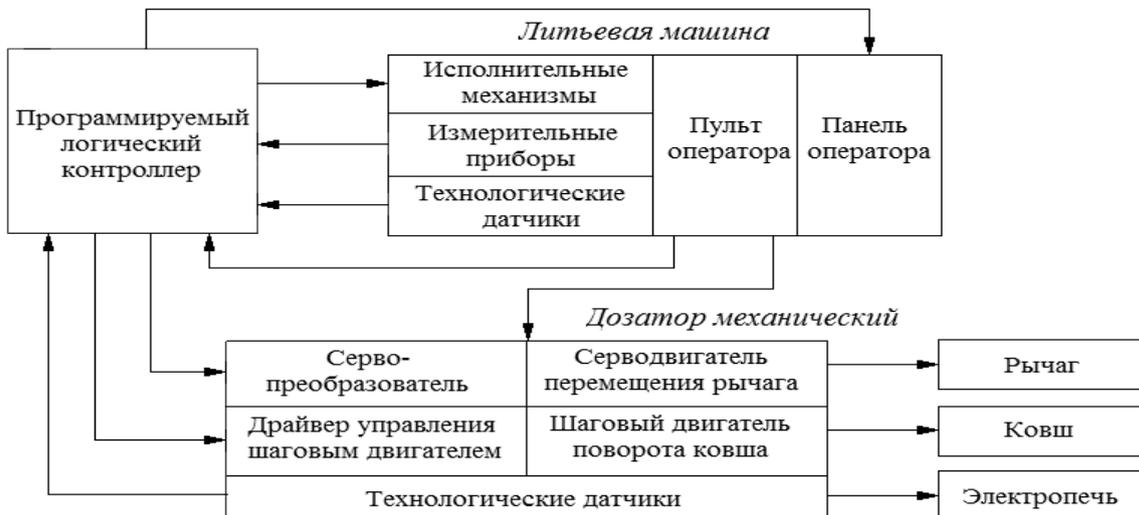


Рис. 1. Блок-схема АЭП машины для литья под давлением

Схема управления выполнена на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) фирмы Delta Electronics серии DVP.

Отклонение рычага ковша и его поворот на необходимый угол определяют сигналы управления, поступающие с ПЛК на сервопреобразователь и драйвер

управления шаговым двигателем. Контроль крайних положений дозатора обеспечивается бесконтактными датчиками положения, что позволяет отключить устройство при аварийной ситуации.

Сервопривод рычажного механизма состоит из синхронного двигателя с постоянными магнитами и тормозом, сервопреобразователя в модульном исполнении и датчика положения (резольвера).

На рис. 2 представлена блок-схема сервопривода. Трехконтурная система подчиненного регулирования по положению, скорости и току обеспечивает высокую точность позиционирования рычага дозатора.

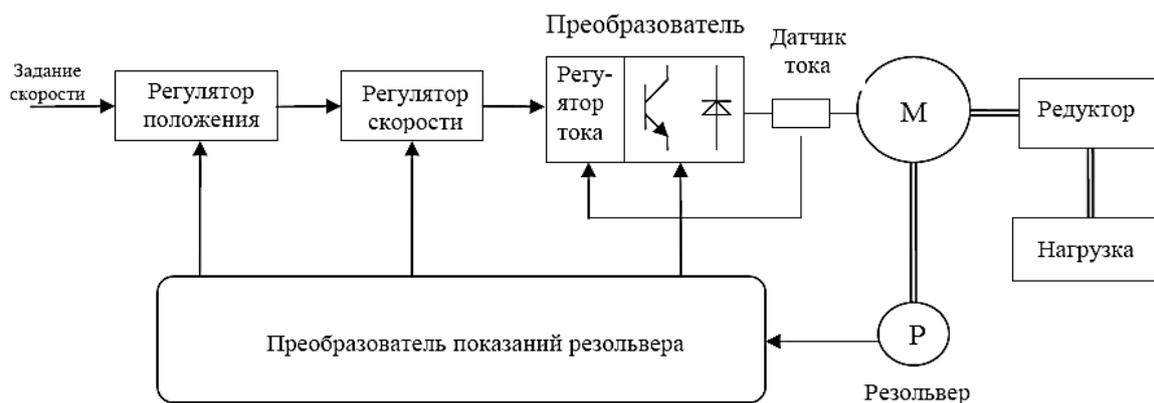


Рис. 2. Блок-схема сервопривода перемещения рычага дозатора

На рис. 2 приняты обозначения: М – двигатель; Р – резольвер.

С резольвера в цифровой преобразователь поступает информация о положении ротора двигателя в каждый момент времени. Производная от положения даёт информацию о скорости двигателя.

Внешним контуром является контур положения ротора двигателя. Разница между заданным и фактическим значениями скорости подаётся на пропорционально-интегральный регулятор положения.

В регуляторе скорости сравниваются заданное значение с регулятора положения и фактическое значение скорости. Отклонение корректируется пропорционально-интегральным регулятором скорости.

Сигнал с датчика скорости подаётся в цепь ограничителя тока, который обеспечивает защиту двигателя и инвертора от скачков тока. Выходной сигнал из цепи ограничителя служит заданным током для внутреннего контура тока.

Разница между заданным и фактическим токами поступает на преобразователь, выдавая управляющие импульсы на транзисторы инвертора.

Регулятор тока можно реализовать как пропорционально-интегральный регулятор.

Использование регулируемых приводов для рычажного механизма и механизма поворота ковша дозатора обеспечивает высокую точность позиционирования и при работе в комплексе снижает энергопотребление, повышает производительность и надёжность работы литьевых машин.

УДК 621.3

МЕТОДИКИ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

О. А. КАПИТОНОВ, А. С. ТРЕТЬЯКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Система управления электроприводом, как правило, находится рядом либо в одном корпусе с мощным силовым преобразователем электрической энергии, вследствие чего возникает проблема влияния создаваемых преобразователем помех на сигналы датчиков тока и напряжения. В таких тяжелых условиях работы помехи, проникающие в каналы обратной связи системы управления, могут иметь значительную величину. Наличие помех приводит к дополнительным ошибкам в контурах обратных связей, ошибкам в определении момента перехода напряжения или тока через нулевое значение.

Наличие помех создает наибольшие проблемы при необходимости косвенного измерения величин при помощи интегрирования либо наблюдателей состояния, содержащих в своей структуре интегрирование. Такая необходимость часто возникает в системах векторного управления асинхронными электродвигателями, где необходимо косвенное измерение величины магнитного потока путем вычисления интеграла напряжения, приложенного к цепи намагничивания электродвигателя. Наличие помех в сигналах датчиков тока и напряжения в данном случае приводит к значительному дрейфу среднего значения вычисленной величины магнитного потока, что приводит к невозможности корректной работы системы векторного управления.

Для решения данных проблем нами была поставлена задача разработки методик фильтрации сигналов датчиков тока и напряжения. Поскольку современные системы управления являются цифровыми и микропроцессорными, значительно более эффективным является применение цифровых фильтров, реализованных в виде микропрограммы для того же микропроцессора, на котором реализована система управления. Для проведения исследований нами был разработан экспериментальный стенд, включающий в себя асинхронный электродвигатель, преобразователь частоты, лабораторный автотрансформатор, датчики тока и напряжения в каждой из фаз статора электродвигателя и блок ввода аналоговых сигналов, осуществляющий оцифровку и передачу в ПК сигналов датчиков. Для проведения сравнительного анализа различных алгоритмов фильтрации было разработано приложение для ПК, реализующее наблюдатель состояния скорости вращения ротора электродвигателя.

На экспериментальном стенде были проверены следующие методики фильтрации и коррекции сигналов.

1. Вычисление среднего значения сигнала за заданный период и вычитание полученного среднего значения из сигнала. Известно, что в идеальном случае (в отсутствие помех и погрешностей измерения) среднее значение тока и

напряжения, рассчитанное за целое число периодов, равно нулю, поэтому вычитание ненулевого среднего значения является компенсацией влияния помех. Данная методика в результате экспериментальной проверки показала низкую эффективность и сложность в реализации, поскольку среднее значение необходимо рассчитывать за целое число периодов сигнала, а частота сигналов тока и напряжения изменяется в очень широких пределах в частотно-регулируемом электроприводе.

2. Вычисление полиномиального тренда сигнала на заданном временном интервале и вычитание тренда из сигнала. При исследовании предыдущей методики было выявлено, что вносимый помехами сдвиг среднего значения является не постоянным, а изменяющимся случайным образом, что обуславливает низкую эффективность предыдущей методики. Вычисление полиномиального тренда вместо постоянного среднего значения увеличивает точность коррекции. Однако эта методика также является сложной в реализации, т. к. алгоритм вычисления полиномиального тренда требует больших вычислительных ресурсов. Экспериментальная проверка данного метода показала, что он также имеет недостаточную эффективность коррекции для задачи косвенного вычисления значения магнитного потока путем интегрирования сигналов тока и напряжения.

3. Для повышения эффективности и снижения вычислительных затрат была предложена структура фильтра, включающая в себя интегратор, охваченный отрицательной обратной связью через апериодическое звено первого порядка. Таким образом осуществляется вычисление среднего значения интеграла входного сигнала (вместо среднего значения самого сигнала) на интервале, определяемом постоянной времени апериодического звена, и вычитание этого значения из сигнала. Экспериментальная проверка показала достаточную эффективность данной методики в задаче косвенного вычисления значения магнитного потока.

При питании асинхронного электродвигателя от импульсного силового преобразователя (автономного инвертора с широтно-импульсной модуляцией, матричного преобразователя частоты, импульсного регулятора напряжения) напряжение на двигателе имеет сложный гармонический состав и содержит, помимо низкочастотной гармоники с частотой 0...400 Гц, широкий спектр высокочастотных составляющих в интервале 2...20 кГц и выше. В цифровой системе управления такой широкий спектр сигнала напряжения на двигателе может приводить к дополнительным погрешностям вычислений либо к необходимости завышения частоты дискретизации. Известно, что для системы векторного управления имеет значение только первая гармоника токов и напряжений. Для устранения этой проблемы было предложено применение фильтров низких частот Баттерворта пятого порядка. Частота среза фильтра была выбрана в промежутке между максимальной частотой первой гармоники (400 Гц) и минимальной частотой широтно-импульсной модуляции (2000 Гц). Экспериментальная проверка показала достаточно высокую эффективность работы такого фильтра.

УДК 62-83:621

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАССОВЫХ ЛИФТОВ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

А. С. КОВАЛЬ, А. Г. КОНДРАТЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время в связи с постоянным увеличением требований по экономической эффективности электрооборудования, используемого в жилищно-коммунальных хозяйствах городов, основным типом применяемого электропривода в массовых лифтах является частотно-регулируемый редукторный электропривод. Следующим шагом в повышении энергоэффективности лифтов является внедрение безредукторного привода лифтов в зданиях жилого и коммерческого использования, что требует применения специальных низкоскоростных высокомоментных двигателей. Особенность этих двигателей – невысокий КПД на уровне 0,6...0,7. Для привода лифтов также характерна работа с меняющейся загрузкой кабины лифта, что обеспечивает работу привода как в двигательных, так и в генераторных режимах. Вопросы дальнейшего повышения энергоэффективности массовых лифтов с регулируемым электроприводом переменного тока таким образом связаны с уменьшением потерь как в применяемых двигателях, так и с более эффективным использованием возможных рекуперативных режимов работы привода. В докладе рассматривается возможность повышения энергоэффективности использования генераторных режимов в безредукторном электроприводе лифтов за счет увеличения скорости кабины при загрузке кабины лифта, отличающейся от номинальной [1]. Реализуется эта возможность повышением энергоэффективности использования генераторных режимов в регулируемом безредукторном электроприводе лифтов переменного тока на базе высокомоментного асинхронного двигателя либо синхронного двигателя с постоянными магнитами и встроенными в ротор магнитами за счет реализации двухзонного регулирования скорости, обеспечивающего увеличение скорости движения кабины лифта выше номинальной при соответствующей загрузке кабины лифта. Моделирование безредукторного привода лифта при увеличении скорости перемещения кабины в рекуперативном режиме на 20 % при нагрузке, например, характерной для подъема незагруженной кабины лифта в средне-статистической поездке на три этажа, показывает увеличение энергии,

передаваемой на вал двигателя неуравновешенным грузом в рекуперативном режиме на 40 %. Еще одно направление повышения энергоэффективности в рассматриваемых системах привода лифта связано с минимизацией переменных потерь в самом двигателе при работе его в установившемся двигательном режиме [2]. Методы, минимизирующие ток статора в установившихся режимах:

- методы управления, делающие максимальным отношение момент–ток (*maximum torque per ampere*) двигателя;

- методы на основе модели мощности потерь, использующие выражение оптимального тока намагничивания как функцию от параметров и состояния двигателя;

- методы, базирующиеся на подходе к минимизации потребляемой мощности как к задаче численной оптимизации, где целевой функцией выступает измеряемое значение потребляемой мощности, минимум которой ищется в реальном времени над объектом управления без использования его модели (безмодельное экстремальное регулирование).

Установившийся двигательный режим работы лифта определяется загрузкой кабины и направлением её движения. Эти условия для электропривода сохраняются в течение всей поездки и могут быть определены до начала движения. Оптимизация энергопотребления в этом случае связана с минимизацией потребляемого тока электродвигателем привода лифта за счет поддержания оптимального тока намагничивания в зависимости от заранее известной загрузки кабины лифта. Практическое решение задачи оптимизации энергопотребления приводом лифта заключается в переключении в алгоритме работы системы автоматического управления электроприводом лифта от стандартного режима движения кабины лифта с формированием управляемого пуска и торможения к установившемуся режиму, в котором при движении кабины лифта с постоянной скоростью обеспечивается, в зависимости от загрузки кабины, минимизация мощности переменных потерь в двигателе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваль, А. С. К вопросу энергосбережения в электроприводе пассажирских лифтов с регулируемой номинальной скоростью движения кабины лифта / А. С. Коваль, А. И. Артеменко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2018. – № 4. – С. 49–55.
2. Борисевич, А. В. Энергосберегающее векторное управление асинхронными электродвигателями / А. В. Борисевич. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 102 с.: ил.

УДК 004.02:621:628.9

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПО ДОЗЕ ФЛИКЕРА

В. М. КОВАЛЬЧУК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Под электромагнитной совместимостью (ЭМС) понимается [1] возможность нормальной работы электроприемников в электрических сетях без нарушения показателей качества электрической энергии.

Известно [1, 2], что электроприемники с резкопеременной нагрузкой (дуговые сталеплавильные печи, электросварочное оборудование, прокатные станы и т. п.) вызывают в электрических сетях колебания напряжения (КН) и фликер (мерцание) светового потока электрических источников света, что приводит к нежелательным физиологическим и психическим реакциям работающих в условиях электрического освещения.

Именно поэтому в отечественных и зарубежных стандартах [3–6] на качество электрической энергии всегда присутствуют показатели допустимых КН на зажимах осветительных приборов. Если в стандарте на качество электроэнергии [3] присутствовал один показатель в виде графика кривой допустимых размахов (КДР) КН типа меандр от частоты их появления, то в стандарте [4] был введен показатель доза фликера (ДФ), который является более универсальным, поскольку применим для оценки как периодических, так и случайных КН. Под ДФ согласно [6] понимается мера ощущения неустойчивого зрительного восприятия, вызванного световым источником, яркость которого изменяется во времени и измеряется специальным прибором – фликерметром.

Основу фликерметра [6] составляет взвешивающий фильтр (ВФ), который по существу является моделью восприятия КН системой «источник света – зрительный анализатор» человека. Передаточная функция ВФ фликерметра обеспечивает на выходе прибора одинаковые значения допустимой ДФ при подаче на вход КН с размахом и частотой типа меандр соответствующим точкам КДР. Структура и параметры ВФ фликерметра, как и КДР, обоснованы на основе экспериментальных исследования воздействия на человека периодических КН на зажимах ламп накаливания 60 Вт / 220 В, как наиболее распространённых и восприимчивых к КН источников света.

Появление новых энергоэффективных источников света, таких как светодиодных и энергосберегающих, вызвало проблему достоверности методов и средств оценки ДФ [7] по существующим стандартам. Эта проблема, по мнению автора, обусловлена «эмпирическим подходом» к обоснованию структуры фликерметра, навязанную IEC ТК77 и некоторыми отечественными учеными, в противовес предложению [8]. В этом документе предложен аналитический подход к синтезу блок-схемы фликерметра [1], который обеспечивает достоверную оценку ДФ с любым источником света и, в отличие от подхода [7], не противоречит опытным данным [9] с люминесцентными лампами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электромагнитная совместимость электроприемников промышленных предприятий / А. К. Шидловский [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1992. – 236 с.
2. Электромагнитная совместимость потребителей / И. В. Жежеленко [и др.]. – Москва: Машиностроение, 2012. – 351 с.
3. **ГОСТ 13109–67.** Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии у её приёмников, присоединённых к электрическим сетям общего назначения. – Введ. 01.01.1968. – Москва: Изд-во стандартов, 1969. – 10 с.
4. **ГОСТ 13109–87.** Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. – Введ. 01.01.1989. – Москва: Изд-во стандартов, 1988. – 22 с.
5. **ГОСТ 13109–97.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 01.01.1999. – Москва: Изд-во стандартов, 1998. – 32 с.
6. **ГОСТ 51317.4.15–2012 (МЭК 61000.4.15:2010).** Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Функциональные и конструктивные требования. – Москва: Стандартинформ, 2014.
7. **Лисицкий, К. Е.** Совершенствование метода и средств оценки фликера при использовании источников света с разной чувствительностью к колебаниям напряжения в электрической сети / К. Е. Лисицкий // Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 5–6. – С. 55–66.
8. **Kurenyy, E. G.** Assessment of flicker's action on the basis of synthesis of flickermeter block – scheme / E. G. Kurenyy, E. N. Dmitrieva, V. M. Kovalchuk // IEC ТК77 WG4 (NIKIFOROVA) 99. – Paris, 1982. – 19 p.
9. Влияние качества питающего напряжения на параметры искусственного освещения рабочего места / Г. Я. Вагин [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 3–2. – С. 247–252.

УДК 621.3

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ БЛОКОВ ПИТАНИЯ

В. А. ЛАПИЦКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Область применения импульсных блоков питания растет постоянно как в промышленном производстве, так и в быту.

Импульсные блоки питания применяются в приемниках, телевизорах, усилителях, источниках бесперебойного питания, зарядных устройствах, низковольтных осветительных установках, компьютерах, медицинской технике и других различных устройствах широкого назначения.

Они имеют небольшие габариты, обладают большим КПД, а также невысокую стоимость. В настоящее время импульсные блоки питания используются в устройствах мощностью от долей ватта до нескольких единиц киловатт.

Работа импульсного блока питания основана на преобразовании сетевого напряжения в постоянное, а затем дальнейшее преобразование постоянного напряжения в последовательность импульсов высокой частоты.

Построение схем импульсных блоков питания можно подразделить на несколько типов:

- бестрансформаторные;
- трансформаторные.

В бестрансформаторных схемах последовательность импульсов высокой частоты непосредственно поступает на выходной выпрямитель, а затем на сглаживающий фильтр устройства. Эти схемы представляют опасность поражения электрическим током, т. к. не имеют гальванической развязки с питающей сетью. Обычно они выдают только одно значение выходного напряжения и имеют небольшую мощность.

Трансформаторные импульсные блоки питания более распространены. В них высокочастотная последовательность импульсов поступает на первичную обмотку трансформатора. Вторичные обмотки позволяют формировать несколько выходных напряжений, и каждая вторичная обмотка нагружена на собственный выпрямитель и сглаживающий фильтр.

Использование в качестве материала сердечника (магнитопровода) трансформатора не электротехнического железа, а ферромагнитных материалов с высокой коэрцитивной силой позволяет многократно снизить их габариты и массу, т. к. преобразование напряжения идет на высокой частоте (десятки килогерц вместо 50 Гц).

УДК 621.3

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ С ОБОРУДОВАНИЕМ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ «ОВЕН»

А. С. ТРЕТЬЯКОВ, О. А. КАПИТОНОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время на кафедре «Электропривод и АПУ» для организации учебного процесса и для проведения научных исследований используется широкий спектр оборудования российского производителя «ОВЕН». Это и программируемые логические контроллеры, и преобразователи напряжения, и датчики, разнообразнейшее периферийное оборудование. Используя данную продукцию, был создан ряд лабораторных работ, призванных привить студентам ряд навыков и знаний по работе с современным оборудованием для программирования, настройки, управления и обслуживания электроприводов постоянного и переменного токов.

На базе лаборатории «Теория электропривода» уже сделаны успешные попытки создания лабораторных комплексов для исследования электроприводов, на базе которых реализованы цифровые системы автоматизированного управления, программирования и сбора информации контролируемых величин электроприводов. В основе таких систем лежит архиватор МСД-200 – прибор, являющийся промежуточным звеном между персональным компьютером (программируемым логическим контроллером) и самим комплексом. Данный прибор осуществляет функцию мастера сети RS-485, подключение к ведомым приборам с целью приема / передачи информации. Архиватор имеет свое программное обеспечение «Конфигуратор», написанное под операционную систему Windows. Конечно, обладая рядом преимуществ, данный программно-аппаратный комплекс имеет ряд ограничений, или нереализованных функций. Для обхода данных ограничений было разработано собственное программное обеспечение, скриншот которого представлен на рис. 1.

Данное программное обеспечение написано на кроссплатформенном фреймворке QT5 под платформу Linux и является свободно-распространяемым. При необходимости оно может быть легко портировано как на платформу Windows, так и Mac Os.

В основе данного приложения для хранения служебной информации используется база данных SQLITE v3. Сделаны все необходимые настройки для корректной работы базы, ее копирования, создания резервной копии, восстановления и т. д. Предусмотрена возможность внешней работы с базой данных, используя стороннее программное обеспечение (например, DB Browser for SQLite).

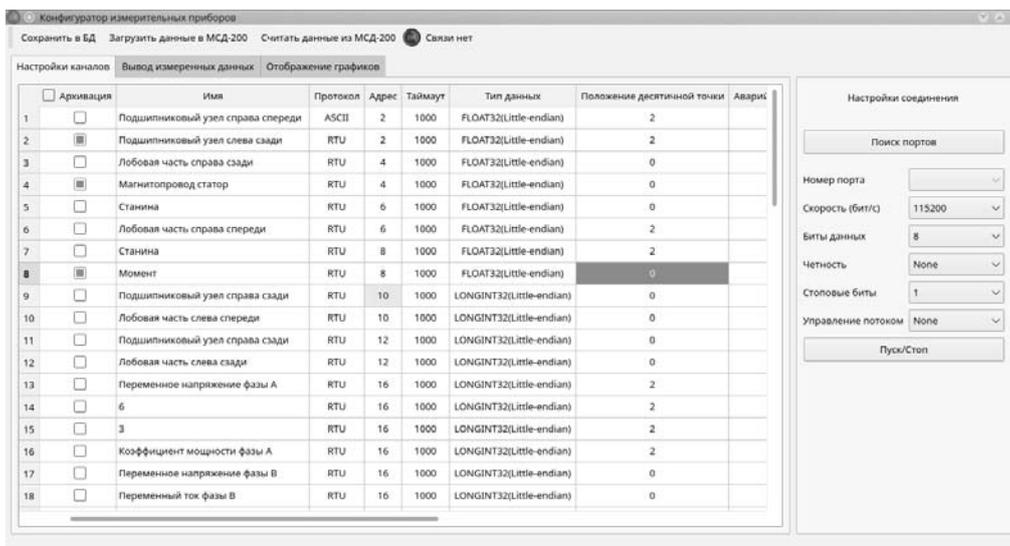


Рис. 1. Скриншот программного обеспечения

В данной базе каждая строка представляет собой отдельный канал, по которому идут опрос, считывание и архивирование отдельной величины.

Этот канал имеет целый набор настроек для корректного считывания аналоговых и цифровых сигналов.

Подключение к прибору МСД-200 происходит через требуемый COM-port, чьи свойства настраиваются здесь же.

Данное приложение позволяет в режиме on-line строить графики с их последующей настройкой и обработкой.

При необходимости контролируемые величины могут архивироваться. Для этого создается отдельный файл с расширением .csv, в котором содержится подробная информация об условиях архивации, и формируются массивы архивируемых данных, привязанных ко времени выборки данных.

Разработанное программное обеспечение позволит выполнять следующие операции:

- 1) запись и чтение информации с прибора МСД-200;
- 2) чтение регистров, вывод измеренных параметров контролируемых величин в графическом или текстовом виде;
- 3) архивирование данных каналов в файл .csv;
- 4) первичная обработка данных в зависимости от условий эксперимента.

Данное программное обеспечение может выступать как самостоятельное приложение, так и как отдельный модуль для приложений, где необходимо непрерывно измерять и архивировать данные для заданного технологического процесса [1].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Третьяков, А. С.** Разработка программного обеспечения IM View для исследования тепловентиляционных режимов работы асинхронных электродвигателей / А. С. Третьяков // Информационные технологии и системы 2020 (ИТС 2020): материалы Междунар. науч. конф., Минск, 18 нояб. 2020 г. – Минск: БГУИР, 2020. – С. 57–58.

УДК 621.3:658.34

КЛАССИФИКАЦИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОН КАК ФАКТОР
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИЛ. Г. ЧЕРНАЯ¹, А. Е. САЗОНКО², А. В. КОХАН²¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Департамент по надзору за безопасным ведением работ
в промышленности (Госпромнадзор)

Минск, Беларусь

Промышленные процессы добычи, получения, переработки, использования или хранения газоздушных и пылевоздушных смесей характеризуются повышенной опасностью образования взрывоопасных сред, что связано с необходимостью применения специального, взрывозащищённого оборудования, для которого приняты особые меры, устраняющие, предотвращающие или затрудняющие возможность воспламенения таких сред при его эксплуатации.

Поскольку воспламенение является результатом взаимодействия двух факторов – образования взрывоопасной среды и возникновения источника зажигания в оборудовании, то взрывозащита оборудования сводится к ограничению рабочей температуры, снижению частоты появления искр, дуг или ограничению их мощности, что всегда требует дополнительного расхода энергии, либо материальных средств, либо того и другого вместе.

Характерным для взрывозащищённого оборудования является повышенное потребление энергоресурсов в процессе эксплуатации.

Так для электрооборудования взрывозащиты вида «i» с искробезопасной электрической цепью требуются дополнительные токоограничивающие элементы и схемы, потребляющие дополнительную электроэнергию. Еще больше энергоресурсов потребляет электрооборудование с видом взрывозащиты «r», защищаемое путём заполнения или продувки оболочки под избыточным давлением. Для обеспечения условий работы электрооборудования с взрывозащитой вида «e» повышенная надёжность против взрыва обеспечивается путём уменьшения удельной плотности тока, что требует значительного увеличения расходов дорогостоящей электротехнической стали, меди, алюминия.

Чтобы обеспечить соответствие электродвигателей с видом взрывозащиты «d» (взрывонепроницаемая оболочка) требуемому температурному классу, приходится значительно усиливать их обдув или самовентиляцию.

Общая потребность во взрывозащищенном оборудовании, в большей части закупаемого по импорту, всецело определяется размерами производственных

пространств или зон, признанных взрывоопасными. Для этого следует сначала определить класс взрывоопасной зоны, а затем рассчитать её размеры.

В настоящий момент в Республике действуют два варианта классификации взрывоопасных зон: первый – в соответствии с гл. 7.3 Правил устройств электроустановок, 6-е изд. 1986 г. (Правила); второй (альтернативный) – в соответствии с комплексом межгосударственных стандартов (Стандарты), действующих в странах СНГ с 2005 г.

Согласно Правил, классификация взрывоопасных зон сводится к простому назначению того или иного класса соответственно определению, а взрывоопасным считается либо полный свободный объём производственного помещения, либо нормированная часть пространства вокруг наружной установки, причём без учёта свойств конкретных горючих веществ и возможных объёмов их утечек. В результате, для больших групп веществ размеры взрывоопасных зон оказываются существенно (на 1–2 порядка) завышенными, а большую часть дорогого и сложного в эксплуатации и ремонте взрывозащищенного оборудования приходится покупать по импорту и устанавливать в фактически взрывобезопасных пространствах.

При оценке размеров взрывоопасных зон Стандарты исходят из вполне реальных представлений о том, что из-за выработки уплотнений, неплотностей и т. п. на практике возникает немало локальных утечек горючих веществ и соответственно локальных взрывоопасных зон. Если обеспечить надлежащую взрывобезопасность каждой единицы оборудования, установленного в таких локальных зонах, то общее требование взрывобезопасности в помещении любых размеров или вблизи наружной установки также будет соблюдено. Выбор взрывозащищенного оборудования основывается на локальных взрывоопасных зонах определенного размера, а не всего объема производственного помещения.

Сотрудники НИЛ «Взрывозащищенное электрооборудование» при поддержке Госпромнадзора разработали методику и выполнили требуемую классификацию взрывоопасных зон по альтернативному варианту для одного из отделений ТЭЦ на попутном газе, что позволило использовать взрывозащищенное оборудование самого низкого уровня взрывозащиты, а для невзрывоопасных зон – применить оборудование общего назначения.

Переход на альтернативную систему классификации взрывоопасных зон связан как с энерго-, так и с валютосбережением, а в целом – с энерговалютосбережением. Как показывают расчёты, только потребность в валютной закупке снижается, минимум, вдвое, не говоря уж об эффекте энергосбережения.

УДК 621.3:658.34

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Л. Г. ЧЕРНАЯ¹, А. Е. САЗОНКО², Ю. И. МАКАРЕВИЧ²

¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Департамент по надзору за безопасным ведением работ
в промышленности (Госпромнадзор)

Минск, Беларусь

На предприятиях горнодобывающей, газовой, нефтяной, нефтехимической, химической, пищевой, деревообрабатывающей и других отраслях промышленности эксплуатируется оборудование во взрывозащищенном исполнении: I группы – предназначенное для применения в подземных выработках шахт и их наземных строениях, опасных по рудничному газу и (или) горючей пыли; II группы – предназначенное в местах (кроме подземных выработок шахт и их наземных строений), опасных по взрывоопасным газовым средам; III группы – предназначенное для применения в местах (кроме подземных выработок шахт и их наземных строений), опасных по взрывоопасным газовым средам.

Обеспечение безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах осуществляется по направлениям, представленным на рис. 1.

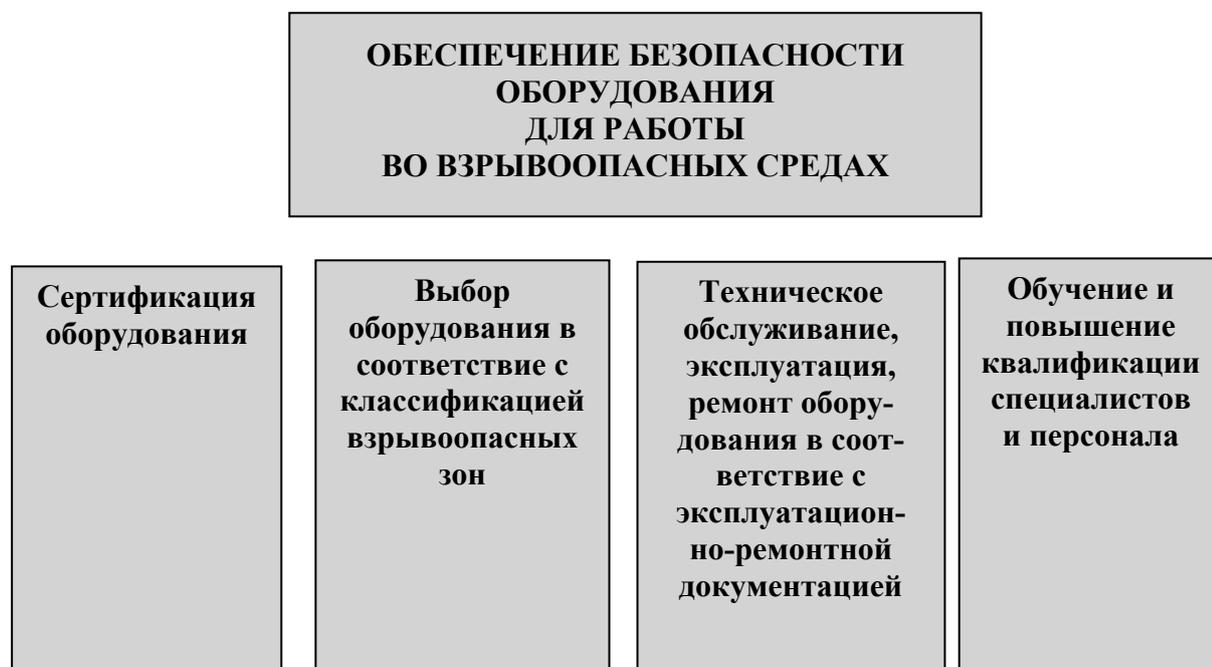


Рис. 1. Обеспечение безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах

В рамках договора о сотрудничестве НИЛ «Взрывозащищенное электрооборудование» Белорусско-Российского университета тесно сотрудничает с Госпромнадзором по основным направлениям обеспечения безопасности:

- сертификация оборудования (Белорусско-Российский университет является органом по сертификации, аттестат аккредитации № ВУ/112 056.01 от 10.10.2003 г.);

- разработка научно-методических материалов по расчету размеров и классификации взрывоопасных зон;

- исследование технических параметров электрооборудования во взрывозащищенном исполнении (электродвигателей, КИПиА) на возможность их эксплуатации, восстановления, разработки и согласования методик (руководств) по эксплуатации, ремонту и ремонтной документации на электрооборудование во взрывозащищенном исполнении;

- разработка методик применения энергосберегающих частотно-регулируемых электроприводов во взрывоопасных зонах;

- обеспечение надежности и безопасной эксплуатации электроустановок во взрывоопасных зонах, систем автоматизации и противоаварийной защиты взрывоопасных производств;

- в сотрудничестве с представителями Госпромнадзора при взаимодействии с Госстандартом Республики Беларусь регулярное участие в деятельности рабочей группы по вопросам технического регламента ТР ТС 012/2011 *О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах* с целью совершенствования нормативной базы и межгосударственных стандартов, регламентирующих вопросы проектирования, производства, сертификации и эксплуатации оборудования для взрывоопасных сред;

- повышение квалификации по программам, скорректированным Госпромнадзором с учетом специфики предприятий, для специалистов и персонала, занятых: эксплуатацией, ремонтом, монтажом, наладкой, обслуживанием, проектированием систем автоматического (автоматизированного) управления и противоаварийной защиты для взрывоопасных сред, включая оборудование во взрывозащищенном исполнении – с применением информационно-коммуникационных технологий, а также выездом сотрудников университета на ведущие предприятия Республики Беларусь (ОАО «Мозырский НПЗ», ОАО «Нафтан»).

Разработанные методики, ремонтно-эксплуатационная документация на взрывозащищенные электродвигатели, КИПиА внедрены на предприятиях Республики Беларусь: ОАО «Беларуськалий», г. Солигорск; ЗАО «Вольна», г. Минск; Завод «Полимир» ОАО «Нафтан», г. Новополоцк; ОАО «Мозырский НПЗ», г. Мозырь; Белорусский газоперерабатывающий завод, г. Речица; ОАО «Гродно Азот», г. Гродно.

УДК 338

ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ ДЛЯ ПАРКИНГА

В. С. АТАМАНЦЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рынок автомобильного транспорта очень динамичен, на него оказывают влияние как положительные, так и отрицательные факторы. С каждым годом число автомобилей увеличивается, а количество мест для парковки и стоянки сокращается. Ещё одним минусом для автовладельцев стало появление системы платной парковки. Как правило, на платных парковках введена почасовая оплата, которая зависит от месторасположения, а для многих автовладельцев – это еще одна серьезная статья расходов. В последнее время бесплатные парковки становятся редкостью для жителей крупных городов.

Многоуровневый паркинг – самый верный способ решить задачу размещения максимального числа автомобилей на минимальной площади. Расчет рентабельности и площади паркинга исходит из количества мест на 100 м², а ещё учитывается множество факторов и особенностей. Эти факторы в будущем оказывают большое значение для инвесторов. Поэтому при проектировании паркинга нужно учесть юридические и технические аспекты, чтобы строительство объекта прошло успешно. Итогом является выход создания многоуровневых парковок на лидирующие позиции.

Изучая проблему паркинга, было выявлено, что автолюбителям важно заранее удостовериться в том, что на парковке будет для них свободное место или возможность забронировать такое место. Исходя из того, что сейчас почти у каждого человека есть смартфон, мы предлагаем приложение для продвижения инновационного продукта с функциями бронирования места онлайн.

Для удобного и быстрого бронирования места автолюбителями было создано приложение на языке программирования Java. Язык Java простой и эффективный в употреблении. Известно, что каждая загрузка обычной программы сопряжена с риском, поскольку загружаемый код может содержать вирус, «тройанский конь» или вредоносный код. Java обеспечивает такую защиту, ограничивая действие апплета исполняющей средой Java и не предоставляя ему доступ к другим частям операционной системы компьютера. Исполняющая система содержит изящное, но вместе с тем сложное решение задачи синхронизации многих процессов, которое позволяет строить устойчиво работающие интерактивные системы. Главным фактором для использования послужила кроссплатформенность данного языка. Она заключается в том, что все главные операционные системы, такие как Windows, Android, Mac OS, Linux, поддерживают Java Virtual Machine.

Приложение ориентированно на любых пользователей и не требует никаких специальных знаний. Навигация в приложении находится на интуитивном уровне. Главное меню представлено на рис. 1.



Рис. 1. Главное меню

Для бронирования места пользователю сначала понадобится ввести номер автомобиля. Он будет использоваться как логин.

После этого – переход в окно выбора места на парковке (представлено на рис. 2). Свободные места обозначены серыми прямоугольниками с цифрой, а уже забронированные – иконкой автомобиля.

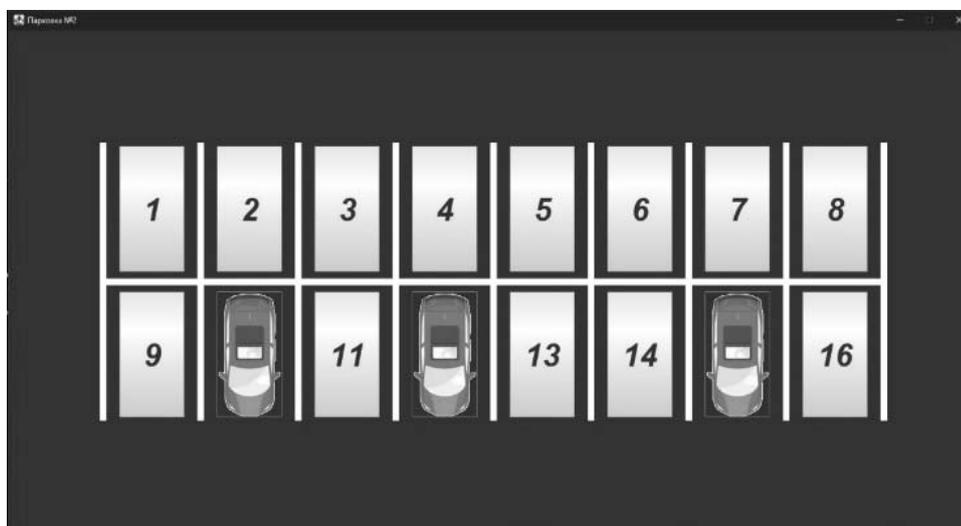


Рис. 2. Выбор места на парковке

Выбрав место, в обязательном порядке необходимо ввести пароль, чтобы снять бронь или забрать автомобиль с парковки.

С помощью данного приложения удобно бронировать место на парковке, а программный продукт станет востребованным как навигационное приложение для поиска свободного парковочного места.

УДК 681.5:0019

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМОПРОФИЛЕМ ИНФРАКРАСНОЙ ПАЙКИ

К. А. БАНАХ, В. Л. ЛАНИН

Белорусский государственный университет радиоэлектроники
и информатики
Минск, Беларусь

Задачи микроконтроллерной системы управления – поддержание заданного пользователем термопрофиля инфракрасной пайки, компенсация влияния внешней среды и инерционности процесса [1].

Для решения данной задачи система включает в себя системы нагрева и охлаждения, датчики температуры, интерфейс для взаимодействия с пользователем и блок управления процессом. Структурная схема системы представлена на рис. 1.

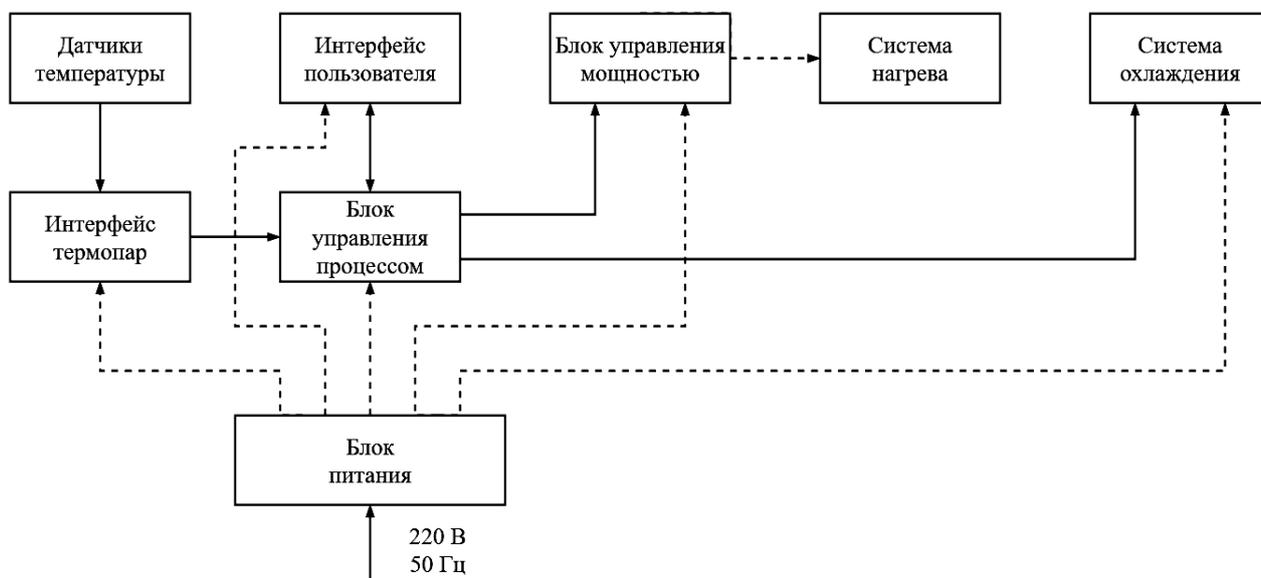


Рис. 1. Структурная схема системы управления

Блок управления процессом служит для обработки запросов, полученных с интерфейса пользователя. Также непосредственно в процессе пайки он ведет сбор данных с датчиков, находящихся в зоне пайки. На основе их показаний выполняется корректировка температуры.

В блоке управления применен микроконтроллер STM32F373CC6, который относится к семейству STM32F3. Данное семейство микроконтроллеров предназначено для работы в системах, где требуется быстрая отработка штатных и аварийных ситуаций [2].

В блоке управления доступно три канала для подключения термопар в качестве датчиков температуры. В качестве интерфейса термопар используется микросхема MAX31855, которая выполняет компенсацию холодного спаива и

оцифровывает сигнал от термопары. Данный преобразователь имеет разрешение до $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$, позволяет измерять температуру от $+1800$ до $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ и точность показаний составляет $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3].

Система нагрева представляет собой набор инфракрасных ламп, конструкция которых состоит из вольфрамовой спирали внутри герметичной кварцевой трубки. Динамическая подстройка мощности выполняется при помощи управляющего ШИМ-сигнала, подаваемого на блок управления мощностью. Для управления нагрузкой используется схема управления на симисторе в паре с детектором нуля, представленная на рис. 2.

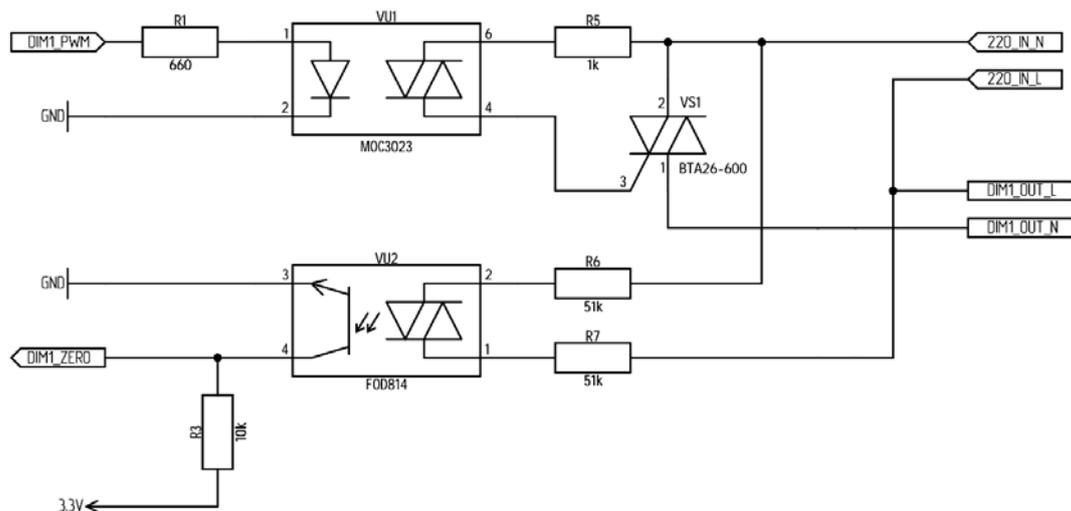


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная блока управления мощностью инфракрасных ламп

Интерфейс пользователя реализован при помощи сенсорной панели HMI Nextion NX8048P070-11C. Обмен данными между интерфейсом пользователя и блоком управления осуществляется по интерфейсу UART [3].

Процесс инфракрасной пайки обладает некоторой неравномерностью, что вытекает из инерционности процесса. Это явление приводит к отклонениям реального технологического процесса от заданного термопрофиля. Для компенсации отклонений применяется программный ПИД-регулятор.

Такая система управления позволяет скомпенсировать инерционность процесса и выдерживать заданный термопрофиль инфракрасной пайки, минимизировать влияние внешней среды на технологический процесс.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Gibbs, R. A.** Guide to Infrared Rework on BGAs / R. A. Gibbs // SMT. – 2009. – № 6. – P. 1–4.
2. Микроконтроллеры STM32G4 полностью заменят STM32F3? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/>.
3. HMI Nextion NX8048P070-11C. Datasheet [Electronic resource]. – Mode of access: <https://nextion.tech/>.

УДК 004.62

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ DATA SCIENCE В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТНОЙ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

И. А. БЕККЕР, Р. И. КОЗЫРЕВ, В. С. ДАШКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

База данных (БД) My Food Data представляет собой постоянно обновляемую интегрированную систему Министерства сельского хозяйства США, которая предоставляет расширенную информацию о питательных веществах и других компонентах пищевых продуктов и является надежным источником точных и качественных данных.

БД My Food Data используется в учебном научно-исследовательском DATA SCIENCE проекте Food for pleasure/Plate для ежедневного подсчета калорий (разрабатывается студентами Белорусско-Российского университета) в качестве встраиваемой в мобильное приложение фактографической БД.

Источник внедряемых данных – интернет-ресурс MyFoodData.com. БД представлена на нем в виде электронной таблицы с показателями для порции размером 100 г.

ID	Name	Food Group	Calories	Fat (g)	Protein (g)	Carbohydrate (g)	Sugars (g)
167512	Pillsbury Golden Layer Buttermilk Biscuits Artificial Flavor Refrigerated Dough	Baked Foods	307	13,2	5,88	41,18	5,88
167513	Pillsbury Cinnamon Rolls With Icing Refrigerated Dough	Baked Foods	330	11,3	4,34	53,42	21,34
167514	Kraft Foods Shake N Bake Original Recipe Coating For Pork Dry	Baked Foods	377	3,7	6,1	79,8	NULL
167515	George Weston Bakeries Thomas English Muffins	Baked Foods	232	1,8	8	46	NULL
167516	Waffles Buttermilk Frozen Ready-To-Heat	Baked Foods	273	9,22	6,58	41,05	4,3
167517	Waffle Buttermilk Frozen Ready-To-Heat Toasted	Baked Foods	309	9,49	7,42	48,39	4,41
167518	Waffle Buttermilk Frozen Ready-To-Heat Microwaved	Baked Foods	289	9,4	6,92	44,16	4,5
167519	Waffle Plain Frozen Ready-To-Heat Microwave	Baked Foods	298	9,91	6,71	45,41	5,04
167520	Pie Crust Cookie-Type Graham Cracker Ready Crust	Baked Foods	501	24,8	5,1	64,3	18,13
167521	Pie Crust Cookie-Type Chocolate Ready Crust	Baked Foods	484	22,4	6,08	64,48	26,31

Рис. 1. Поля и записи исходной таблицы

Поле *Name* содержит наименование конкретного национального продукта, который может быть нам несвойственен (по традициям питания, например) или не поставляться в наш регион. После этапа чистки их останется примерно 30 % от исходного количества, в БД – около 12 тыс. уникальных записей.

На этапе чистки данных, кроме удаления большого количества имен собственных наименований продуктов, еще предстоит выполнить перевод имени нарицательного на русский язык (автоматически программой-переводчиком с последующей проверкой корректности перевода, поскольку могут возникнуть вопросы, связанные с синонимией и т. д.).

В поле *Name* возможна ситуация, что из всех разновидностей йогурта (творога) ни одно из наименований не знакомо потребителям нашего региона (региона предполагаемого распространения программного продукта, в который встраивается обработанная БД продуктов питания). В этом случае разработчики предусмотрели градацию продукта по жирности, например, творог с 1-процентным содержанием жира, творог с 3-процентным содержанием жира и т. д. (без указания марки «Савушкин продукт», «Бабушкина крынка»).

Для йогурта дополнительно стоит учитывать наличие/отсутствие сахара.

Хлеб предполагается указать в виде *Пшеничный*, *Ржаной* – с указанием вида муки. Также дополнительно можно вводить параметр *Зерновой* (все без имен собственных).

Поле *Food Group* используется в разрабатываемом приложении для организации поиска по категориям продуктов. Группы продуктов из встраиваемой БД не изменялись: *Молоко и молочные продукты*; *Хлеб и хлебобулочные изделия*; *Жиры, масло и маргарин*; *Крупы*; *Овощи*; *Фрукты*; *Сухофрукты*; *Бобовые*; *Грибы*; *Мясо, птица и субпродукты*; *Колбаса*; *Мясные консервы и копчености*; *Яйца*; *Рыба свежая и морепродукты*; *Орехи*; *Сладости*.

Для поля *Calories* выбран тип целочисленного числа, т. к. с исходными значениями будут проводиться математические операции с возвращением на выходе целого числа в качестве значения поля.

Данные поля *Fat (g)* представлены в виде чисел с плавающей запятой, как и у полей *Protein (g)*, *Sugars (g)* и *Carbohydrate (g)*.

Для каждого из числовых полей, содержащих количественные параметры БД (кроме счетчика ID), принято решение исключить значение Null и заменить его на нуль (операция деления алгоритмом не выполняется).

На этапе предварительного анализа данных, выявляя аномальные по логике вычислений данные, необходимо учитывать размер порции и содержание калорий в единице продукта: на 1 г белка приходится 4 ккал; на 1 г жира – 9 ккал; на 1 г углеводов – 4 ккал.

С учетом вышеприведенной алгоритмической зависимости общая калорийность продукта не должна превышать 9 ккал, умноженных на массу порции в граммах:

$$\text{Общая_калорийность_продукта} \leq 9 \text{ ккал} * \text{Масса_порции} .$$

Калорийность *Calories* эталонной порции (100 г) будет не более 900 ккал:

$$\text{Калорийность_продукта} \leq 9 \text{ ккал} * 100 .$$

Еще одним тестирующим критерием является сумма значений в каждом из полей *Fat (g)*, *Protein (g)*, *Sugars (g)* и *Carbohydrate (g)*, отличающаяся от веса пользовательской порции (в граммах):

$$\text{Fat}(g) + \text{Protein}(g) + \text{Sugars}(g) + \text{Carbohydrate}(g) + \varepsilon = \text{Вес_порции} .$$

Таким образом, данные конкретно взятой записи будут проверяться на несоответствие друг другу и на нарушение логики вычислений.

УДК 005.8

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКО-ИНТЕРВАЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ В УСЛОВИЯХ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

А. В. ВЕНБЕРГ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

По оценкам ведущих международных консалтинговых агентств, только 5 % всех научно-технических программ и проектов реализуются в полном объеме. Такая печальная статистика – основание для использования особых методов при реализации проектов – управление проектами [2].

К наиболее распространенным технологиям планирования и контроля реализации сложных проектов относятся сетевые технологии, которые базируются на теории графов и анализе критического пути проекта.

Для управления проектами на основе критического пути применяется широко известная технология СРМ (англ. Critical Path Method – метод критического пути), разработанная в 1956–1957 гг. изобретателями Дж. Е. Келли и М. Р. Уолкер [3].

Однако СРМ предполагает, что время выполнения каждой работы является детерминированным. В реальных условиях такое предположение выполняется далеко не всегда, особенно при планировании и реализации сложных проектов, не имевших аналогов в прошлом. Это вызвало развитие большого количества теорий, подходов к учету неопределенности различных показателей.

Наиболее широко известен инженерный метод оценки трудоемкости проекта PERT (Program / Project Evaluation and Review Technique). Однако принятые в системе PERT допущения в отношении вероятностной сетевой модели и связанной с ней методики расчета параметров сети в целом вызвали резкую критику со стороны ряда ученых (в частности, Д. И. Голенко). В общем случае методика PERT дает заниженные оценки длительности как для проекта в целом, так и для конкретных работ.

В [1] предлагается метод имитационного моделирования критического пути проекта. Однако для этого необходимо знать законы распределения значений длительности работ проекта. Данный метод также требует существенных вычислительных ресурсов.

Альтернативным математическим аппаратом для учета неопределенности является интервальная и нечетко-интервальная математика. Четкий (crisp) интервал можно рассматривать как частный случай нечеткого интервала.

Таким образом, автором предлагается использование нечетко-интервальной математики для учета неопределенности и рисков при управлении проектами в качестве альтернативы традиционным методам. При этом длительность каждой работы представляется в виде нечеткого интервала. Пример двухуровневого нечеткого интервала представлен на рис. 1. A , B , C , D – его реперные точки. При этом интервал $[A; D]$ – диапазон возможных значений оцениваемой величины; интервал $[B; C]$ – диапазон наиболее вероятных значений.

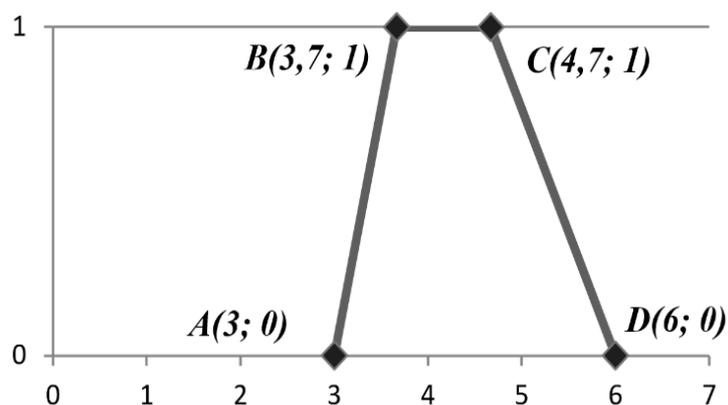


Рис. 1. Пример оценки длительности работы в виде нечеткого интервала

В целях апробации данного подхода в работе рассчитана длительность одного из реальных проектов в сфере энергетики – проекта построения геоинформационной системы энергетики на базе системы мониторинга автотранспорта в детерминированном варианте и с использованием трех указанных методов учета неопределенности: PERT, имитационное моделирование, нечеткоинтервальная математика.

Анализ результатов вычислений показал, что математическое ожидание длительности проекта при различных методах учета неопределенности больше, чем в детерминированном варианте, на 5...10 %. В пессимистическом варианте развития событий длительность проекта может превысить длительность детерминированного варианта более чем на 60 %.

Также рассчитана вероятность того, что срок выполнения проекта не превысит заданный директивный срок. При этом для сравнения нечеткоинтервальных оценок длительности проекта с четкими числами применялась разработанная автором методика сравнения нечетких интервалов на основе теоретико-вероятностного подхода.

Таким образом, как показало исследование, применение метода интервальной (нечетко-интервальной) математики доказало свою эффективность и имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами: возможность осуществления прямых арифметических операций с четко- и нечеткоинтервальными числами; не требуется проведения большого объема вычислений, присущих имитационному моделированию; задание длительности работ может осуществляться экспертами в виде нечетких интервалов произвольной формы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Новыш, Б. В.** Ситуационный анализ и моделирование управленческих решений : практикум / Б. В. Новыш, В. К. Шешолко, Д. В. Шаститко. – Минск: Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2014. – 131 с.
2. **Преображенская, Т. В.** Информационный менеджмент: учебник / Т. В. Преображенская. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: НГТУ, 2011. – 244 с.
3. **Троцкий, М.** Управление проектом: пер. с пол. / М. Троцкий, Б. Груча, К. Огонек. – Москва: Финансы и статистика, 2011. – 304 с.

УДК 004.04

СОВМЕЩЕНИЕ ДАННЫХ ВНУТРИТРУБНЫХ ИНСПЕКЦИЙ

А. Ю. ВЛАДОВА¹, А. И. ЯКИМОВ²¹Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Москва, Россия²Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Прогноз технического состояния нефтепроводов опирается на результаты внутритрубных инспекций (ВТД), разнесенных друг от друга на 5–7 лет. За это время сменяются поколения снарядов-дефектоскопов, принцип диагностики (например, с ультразвукового на магнитный или гибридный), ремонтируются участки трубопроводов. Поэтому возникает проблема совмещения данных о дефектах участков трубопровода для прогнозирования параметров дефектов. В настоящий момент имеется ряд способов совмещения данных [1]:

– вручную, при котором оператору в каждый момент времени предоставляется возможность осмотра результатов, полученных от двух различных методов неразрушающего контроля (магнитного и ультразвукового), приведенных к одной точке отсчета, имеющих одну и ту же дистанцию и угловое положение отображения реальной точки трубопровода. При этом представление данных ВТД осуществляют на двух экранах мониторов рабочей станции оператора одновременно. На первом мониторе размещают данные ультразвуковой секции, а на втором – данные магнитной секции. Оператор в процессе интерпретации осуществляет одновременный просмотр двух массивов диагностической информации [2];

– привязкой дефектов, выявленных ВТД, к границам зон повреждения, определенным по GPS-координатам. Причем корреляция результатов обследования определяется отношением числа коррозионных дефектов зоны повреждения к общему числу коррозионных дефектов исследуемого участка;

– полуавтоматически: для подземных нефтепроводов при обработке данных ВТД выявлением поперечных сварных швов и создания раскладки трубных секций для ее дальнейшего использования в процессе обработки данных внутритрубной диагностики.

На рис. 1 представлен разработанный вариант извлечения данных из двух таблиц Microsoft Excel, сформированных по результатам ВТД в аналитической программе Tableau, при условии, что они имеют общие поля. Преимущество данного способа заключается в повышении качества и скорости интерпретации особенностей и дефектов трубопроводов на 50...60 % и предоставлении оператору полной картины данных по дефектам, обеспечивающей достоверное диагностирование.

#	Abc	Abc	#	#
1999 год	1999 год	1999 год	1999 год	1999 год
Дистанция	Вид дефекта	Толщина стенки	Глубина	Ширин
819,33	metal loss	22,1	2,00	
818,96	metal loss	21,9	2,00	
819,50	metal loss	22,1	3,00	
820,35	metal loss	22,1	2,40	
1 272,65	possible metal loss	22,3	3,00	
1 963,03	metal loss adj. welds	18,3	1,60	178 283 внешн.
2 069,59	metal loss	18,3	1,80	62 146 внешн.
2 134,39	metal loss	18,3	2,00	14 48 внешн.

Рис. 1. Связь по полю Дистанция для разновременных ВТД

На втором этапе проведен анализ распределения глубин повреждений по типам дефектов (рис. 2).

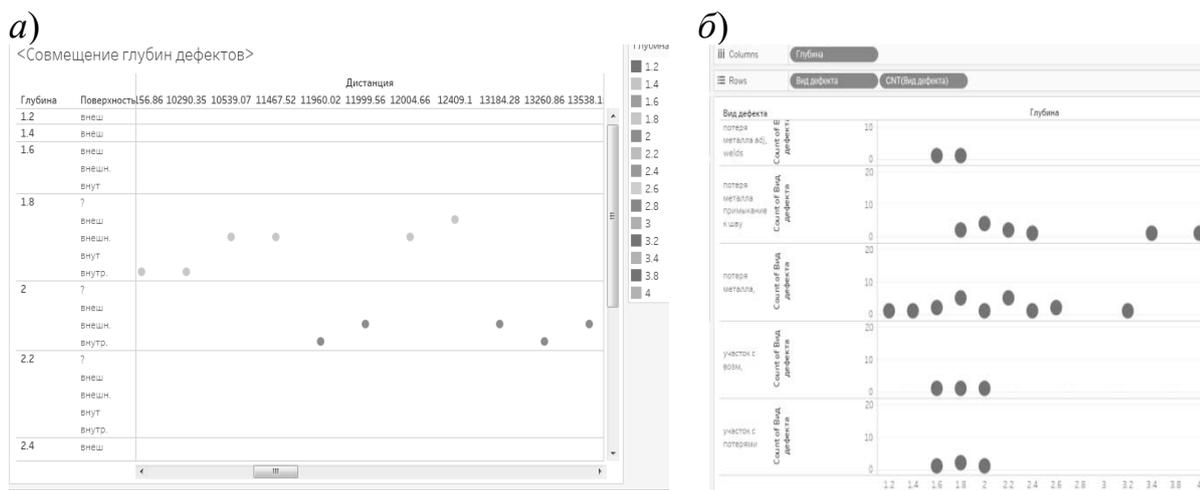


Рис. 2. Распределение глубины дефектов: а – по дистанции и стороне стенки; б – по типам дефектов

Совмещение данных особенно важно при детектировании сложных случаев отображения диагностических данных, когда по любому одному массиву инспекционных данных крайне затруднительно провести точную классификацию и назначить верные параметры дефектам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Vladova, A.** Machine classification of pore space for hydrocarbon reservoir characterization / A. Vladova, Y. Vladov // Proceedings: 21st IEEE Conference on Business Informatics, 2019. – P. 391–396.

2. Способ совместной обработки данных диагностирования по результатам пропуска комбинированного внутритрубного инспекционного прибора: пат. РФ 2527003 / А. А. Левкин, А. В. Разваляев. – Оpubл. 27.08.2014.

УДК 004

СКАНИРОВАНИЕ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАКАНСИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ ИТ-ОТРАСЛИ

А. Ю. ВЛАДОВА¹, А. И. ЯКИМОВ², Н. Ю. ШЕКУНОВ²

¹Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Москва, Россия

²Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Трудовые ресурсы в промышленности являются основной движущей силой ее роста. Вопросами их демографической составляющей, таких как распределение по возрастному, гендерному, территориальному признакам населения трудоспособного возраста, занимается социально-экономическая статистика. Для проведения достоверного качественного анализа рынка труда, включающего многофакторный статистический и динамический анализ, необходимо использование современных информационных технологий и методов анализа данных [1].

Выполненное исследование посвящено организации и сбору, а также первичному анализу данных о рынке труда союзного государства на основании данных объявлений о вакансиях и резюме, размещенных на сайте hh.ru. Объектом исследования являются объявления, размещенные в каталоге профессий в категории «Информационные технологии, интернет, телеком» с 11 января по 01 февраля 2021 г.

Для сбора данных о вакансиях использовалась библиотека Requests языка Python, позволяющая осуществлять взаимодействие с HeadHunter API. Для обработки данных и последующей их визуализации использовались средства библиотек Pandas и Matplotlib соответственно.

Первичному анализу подверглись 1100 объявлений категории «Информационные технологии, интернет, телеком». После соответствующей обработки «сырых» данных были получены следующие результаты: наибольшее количество вакансий за анализируемый период было размещено в городах Москва (2767), Санкт-Петербург (1024) и Минск (220). На рис. 1 представлены специализации, пользующиеся наибольшим спросом у работодателей.

На сайте предложены сервисы «Люди в цифрах», Talantix, позволяющие проводить аналитическую работу по различным направлениям с размещенной информацией на платной основе.

Разработанное программное обеспечение позволяет оценивать динамику спроса и предложения на рынке труда в IT-отрасли, их структурные изменения. Использование данных из базы вакансий и базы резюме дает работодателю представление о конкурентах, о профессиональных компетенциях соискателей, их зарплатных ожиданиях в соответствии со сложившимся уровнем жизни в регионах.

Информация, полученная с помощью приложения, может быть использована университетами, осуществляющими подготовку специалистов соответ-

ствующего направления, с целью корректировки образовательных программ, отвечающих потребностям рынка.

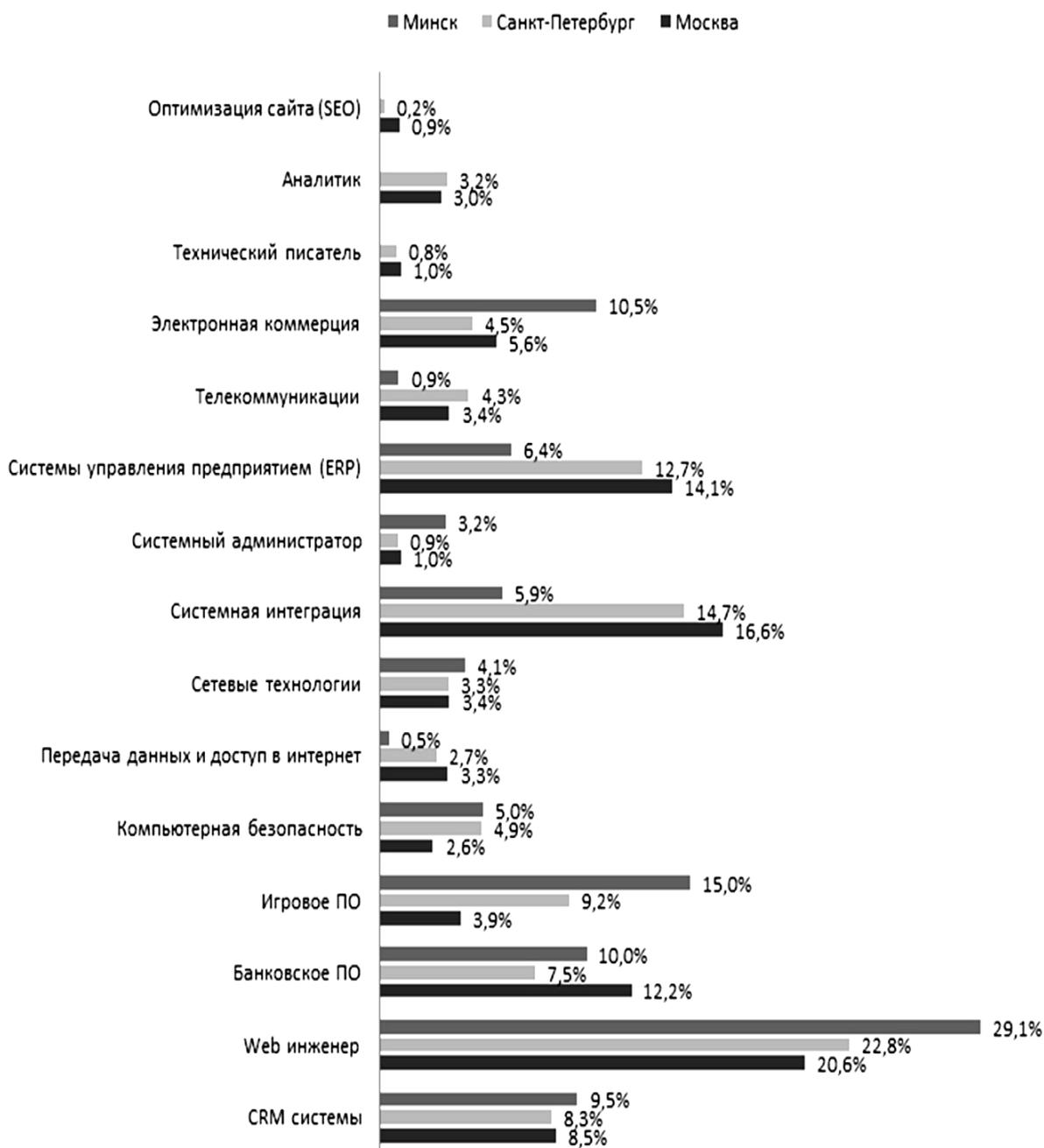


Рис. 1. Удельный вес специализаций в IT-сфере на hh.ru

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Владова, А. Ю.** Диджитализация маркетинговых кампаний / А. Ю. Владова, Ю. Р. Владов // Цифровая трансформация промышленности: тенденции, управление, стратегии – 2020: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 27 нояб. 2020 г. – Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2020. – С. 67–74.

УДК 004.42:669

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСКРОЯ РУЛОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д. А. ДЕНИСЕВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В условиях производства используются изделия в виде полотен определенной длины, ширины и толщины, смотанные в рулон цилиндрической формы. В качестве исходной заготовки используется гильза определенного диаметра с погонной длиной материала до нескольких километров.

На предприятия поступают заказы для изготовления определенной массы продукции, требуемой ширины (формата) с последующим формированием в рулоны. Заказы считаются выполненными тогда, когда общая масса изготовленных рулонов достигает определенной массы. Для расчета массы рулон представляется в виде кольца (рис. 1), площадь которого определяется как разность площадей рулона и гильзы: $S = \pi \cdot (R^2 - r^2)$.

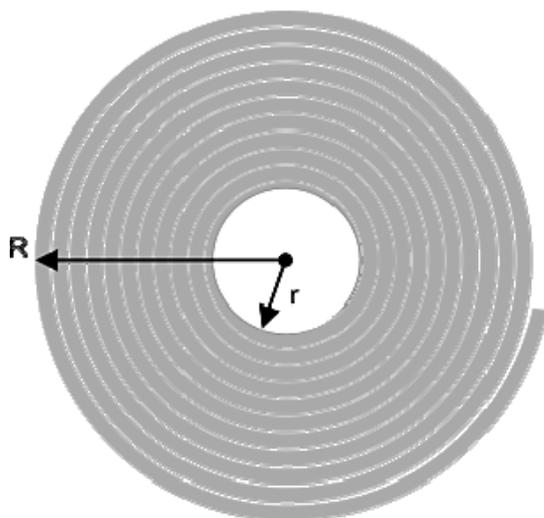


Рис. 1. Рулон материала

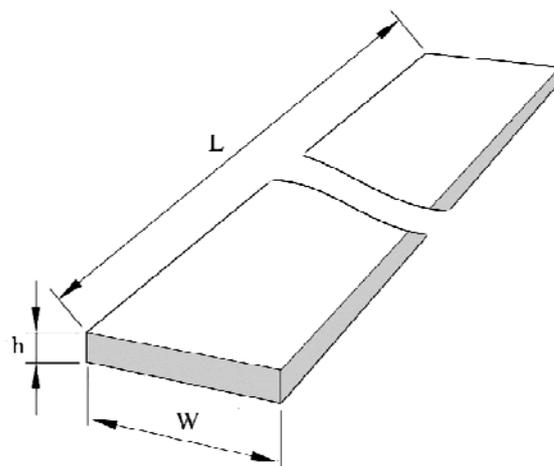


Рис. 2. Представление рулона как листового материал

Если представить рулон в размотанном виде, то получим листовый материал прямоугольной формы, с длиной L , шириной W , толщиной h , площадь которого $S = L \cdot W$ (рис. 2).

Составив равенство площадей кольца и прямоугольника, приняв $d = 2 \cdot r$ (см. рис. 1), получим

$$L \cdot h = \pi \cdot (D^2 - d^2) / 4, \quad (1)$$

где D – диаметр рулона; d – диаметр гильзы.

Известно, что масса тела m равна его плотности ρ , умноженной на объем V : $m = \rho \cdot V$. Объем прямоугольного параллелепипеда V вычисляется как

произведение трех его измерений: $V = L \cdot W \cdot h$. Тогда в соответствии с (1) масса одного рулона

$$m = \rho \cdot V = W \cdot \rho \cdot L \cdot h = W \cdot \rho \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) / 4. \quad (2)$$

Полагая, что ρ , π , d из выражения (2) являются постоянными величинами, для упрощения расчетов в производственных условиях воспользуемся заменой части выражения на некоторую величину P :

$$P = \rho \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) / 4. \quad (3)$$

Для расчета массы рулона изменяются W формат и D диаметр рулона: $m = W \cdot P(D)$. Причем диаметр D является дискретной величиной и определяется диапазоном значений, основанных на условиях производства.

На основании (3) приведем таблицу значений диаметров рулонов и соответствующие рассчитанные коэффициенты (табл. 1).

Табл. 1. Значения P , эквивалентные диаметру рулона

Диаметр D_i , м	D_1	D_2	...	D_i	...	D_n
Величина P_i , кг/м	P_1	P_2	...	P_i	...	P_n

Постановка оптимизационной задачи.

Пусть m_3 – масса, которую требуется произвести (по заказу); m_p – масса изготовленной продукции (в виде рулонов). Ввиду особенностей оборудования рулоны должны быть одинакового диаметра, поэтому предложено рассчитывать количество рулонов как $\lceil k_3 \rceil$, используя значения величины P согласно табл. 1. Первым этапом используется максимальное значение величины P :

$$k_3 = \frac{m_3 - m_p}{m} = \frac{m_3 - m_p}{W \cdot P_{\max}}.$$

Далее необходимо минимизировать излишки продукции. Для этого приведем функцию

$$\Delta = \lceil k_3 \rceil - k_3 \rightarrow 0, P \rightarrow \text{var}. \quad (4)$$

Предложенный подход позволяет снизить перевыполнение продукции, сокращает ресурсы, ведет к повышению эффективности производства.

УДК 621.365.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ В ЗАЗОРЕ МАГНИТОПРОВОДА

Е. С. РАТНИКОВ, В. Л. ЛАНИН

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

При индукционном нагреве деталей в зазоре магнитопровода действуют электромагнитные силы, стремящиеся вытолкнуть деталь из рабочей зоны. Проведено моделирование этих сил для деталей из магнитных и немагнитных материалов, чтобы оценить теоретическое воздействие этой силы на нагреваемую деталь и использовать в дальнейшем для увеличения коэффициента растекания припоя.

Моделирование проводилось в пакете ANSYS Electromagnetics Suite [1] с вычислением силы Лоренца с помощью встроенного калькулятора ANSYS. Сначала для моделирования была выбрана медная деталь 27×27 мм толщиной 0,2 мм. Моделирование проводилось на частотах 60 и 250 кГц. При плотности меди, равной $8,96 \text{ г/см}^3$, масса такой детали составляет 1,3 г, соответственно, чтобы сдвинуть такую деталь, необходимо приложить силу в 12,8 мН.

В качестве магнитной детали была выбрана деталь из никеля таких же размеров, масса которой составила 1,297 г. Чтобы сдвинуть такую деталь, необходимо приложить силу в 12,73 мН.

По результатам моделирования для медной детали, если предположить, что направления составляющих мгновенной силы совпадают, то максимальная мгновенная сила составила бы 12,62 мН для частоты 60 кГц и 14 мН для частоты 250 кГц. Результаты моделирования для детали из никеля показали, что при частоте 60 кГц на деталь действует сила 0,13 мН, а на частоте 250 кГц – 0,003 мН. Таким образом, с ростом частоты тока в индукторе действие электромагнитных сил значительно снижается.

При экспериментальном исследовании вибрации возбуждались подачей на дополнительную обмотку (10 витков) индуктора переменного тока от ВСА-5К частотой 100 Гц и амплитудой до 30 В и величине тока порядка 6 А. После расплавления припоя создавались вибрации амплитудой 1...2 мм в вертикальной плоскости. Вибрации создавались только в ферромагнитных телах (никель, ковар). Исследования проводились по схеме, приведенной на рис. 1.

Сила вибрации определялась из уравнения Лоренца

$$F = BI, \quad (1)$$

где B – индукция магнитного поля в зазоре; I – величина тока в детали; l – длина детали.

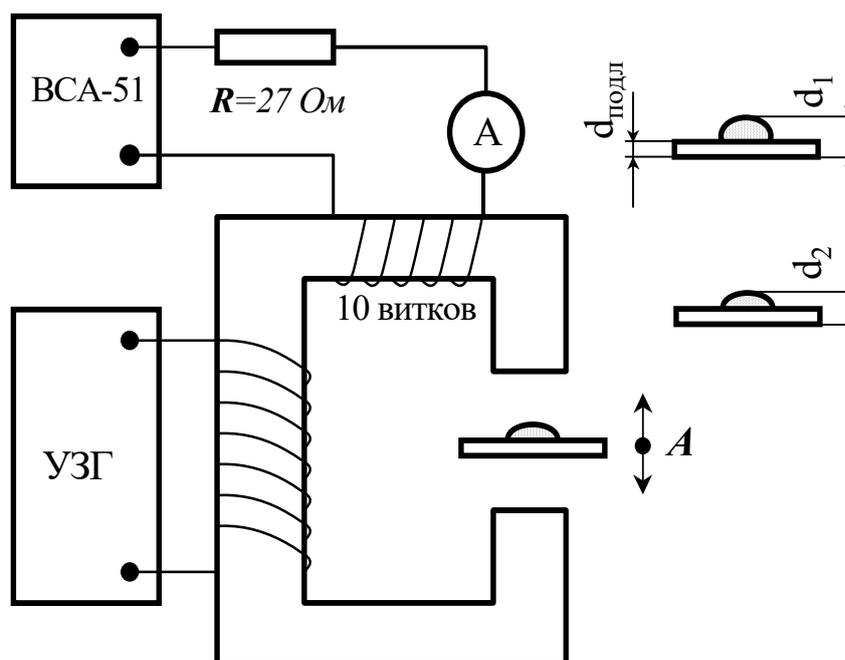


Рис. 1. Схема исследования действия электромагнитных сил

Для расчета индукции магнитного поля приняты следующие данные: $\mu = 1000$, $\mu_0 = 1,25 \cdot 10^{-6}$, напряженность магнитного поля $H = (0,25 \dots 3,0) \cdot 10^5$ А/м. Тогда индукция магнитного поля $B = 37,7$ Тл, при внешнем замыкании образца длиной $2 \cdot 10^{-4}$ м и величине тока в нем $I = 2$ А электромагнитная сила $F = 15$ мН. Сила трения образца на поверхности основания определялась по формуле

$$F_{тр} = \alpha F_H = \alpha mg, \quad (2)$$

где α – коэффициент трения; m – масса детали.

Если коэффициент трения $\alpha = 0,1 \dots 0,15$, масса образца 250 мг, то сила трения составляет $0,3 \cdot 10^{-3}$ Н. Таким образом, сила Лоренца практически в 50 раз превышает силу инерции образца и вызывает его вибрации в магнитном поле индуктора. При массе образца с припоем 500 мг сила трения составит $0,6 \cdot 10^{-3}$ Н, а превышение силы Лоренца над силой инерции – 25 раз.

Таким образом, электромагнитные силы при локальном индукционном нагреве обладают достаточной величиной, чтобы вытолкнуть деталь из зазора магнитопровода. Эти силы возможно использовать для создания вибраций в процессах пайки деталей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Electronics Simulation Software. Ansys [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ansys.com/products/electronics>.
2. Simulation Capabilities. Ansys Maxwell [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-maxwell/maxwell-capabilities>.

УДК 381

РЕКОНСТРУКЦИЯ УЧЕБНО-ПРОГРАММНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ
В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

С. Б. САМАРЦЕВ, С. О. КАМИНСКАЯ, К. С. САМАРЦЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Учебно-программная документация специальностей переподготовки на уровне высшего образования включает образовательные стандарты, типовые учебные планы (ТУП), учебные планы, учебные программы и прочее и применяется с целью реализации государственной политики в сфере дополнительного образования взрослых. Изменение сведений о введении образовательного стандарта впервые или взамен ранее утвержденного вызывает необходимость обновления той или иной учебно-программной документации соответствующей образовательной программы специальности переподготовки.

Производимая реконструкция совершенствуется тем самым Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 011–2009 *Специальности и квалификации* с изменениями и образовательные стандарты специальностей переподготовки и обращает внимание на перспективы развития дополнительного образования взрослых с целью удовлетворения потребности отраслей Республики Беларусь в кадрах, в том числе в связи с обращениями граждан. При этом, например, предоставляется возможность расширения списка поступающих для освоения образовательных программ и обладающих должным образованием по направлениям образования, группам специальностей и т. п.

Университет, реализующий образовательные программы по методам и приборам контроля качества и диагностики состояния объектов и осуществляющий научно-методическое обеспечение направления, разработывал образовательный стандарт Республики Беларусь и ТУП специальности переподготовки 1-54 01 74 «Неразрушающий контроль материалов и изделий» (квалификация: специалист по неразрушающему контролю) [1]. В основу совершенствования проектов образовательного стандарта и ТУП специальности были положены замечания и предложения, адресованные вузу после согласования в государственных органах и иных организациях (Госстандарт, БелГИСС, БелГИМ, БГИПК), формирующих инициативы по социально-экономическому развитию государства [2].

ТУП большинства специальностей были утверждены в установленном порядке в 2010–2011 гг. Таким образом, в настоящий момент учебно-программная документация специальностей актуализируется в третий раз.

Сегодня внедрение технологий IV промышленной революции, автоматизация, трансформация рабочей силы и изменение географии занятости [3, 4] предполагают целесообразным включение в образовательные стандарты и ТУП целого ряда специальностей переподготовки учебную дисциплину в объеме до 40 академических часов, посвященную вопросам развития цифровой экономики в управленческой и хозяйственной деятельности, которые определены постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23 марта 2016 г. № 235 «Об утверждении Государственной программы развития цифровой экономики и информационного общества на 2016–2020 годы», Государственной программой «Управление государственными финансами и регулирование финансового рынка» на 2020 год и на период до 2025 года, решением Высшего Евразийского экономического совета от 11 октября 2017 г. № 12 «Об основных направлениях реализации цифровой повестки Евразийского экономического союза до 2025 года», проектами программы социально-экономического развития на 2021–2025 гг., концепцией Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года, а также во исполнение поручения Совета Министров Республики Беларусь от 04.05.2020 г. № 37/102-448/5060р в рамках подготовки кадров для нужд цифровой экономики.

Понимание обучающимися необходимости оцифровки бизнес-процессов на уровне делового администрирования позволит модернизировать работу предприятий на этапах организации производства, продаж, контроля качества надзорными органами, предоставления услуг в электронном виде и т. д.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самарцев, С. Б. Рефлексия парадигмы непрерывного образования в университете 3.0 / С. Б. Самарцев // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2020. – № 2. – С. 113–122.
2. Университеты в современной парадигме промышленности / С. О. Каминская [и др.] // Система непрерывного образования в общеевропейском образовательном контексте: перспективы, развитие, профессионализм : сб. науч. ст. Междунар. образоват. семинара, Могилев, 11–18 февр. 2017 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – С. 24–32.
3. Каминская, С. О. Образование 4.0 – «цифровая революция в образовании» / С. О. Каминская, С. Б. Самарцев, К. С. Самарцев // Образование, наука и производство в XXI веке: современные тенденции развития: материалы Юбилейной междунар. конф., Могилев, 3–4 нояб. 2016 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2016. – С. 16–27.
4. Каминская, С. О. Непрерывное образование как один из приоритетов Индустрии 4.0 / С. О. Каминская, К. С. Самарцев, К. Фрайлингер // Система непрерывного образования в общеевропейском образовательном контексте: перспективы, развитие, профессионализм : сб. науч. ст. Междунар. образоват. семинара, Могилев, 12–13 апр. 2016 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2016. – С. 24–28.

УДК 637.146

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА
ПРИ НАГРЕВАНИИ ВЛАЖНЫХ ТЕЛ
РЕСУРСАМИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SOLIDWORKS

М. Н. СМАГИНА, Д. А. СМАГИН
Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий
Могилев, Беларусь

Цель работы – оценить эффективность применения программного модуля SolidWorks Flow Simulation для описания теплообменных процессов, протекающих при нагревании поверхности влажных тел. В качестве объекта исследований применялись изделия из натурального мясного фарша, выполненные в виде цилиндров бесконечной длины. Исследования проводились на базе конвекционного аппарата Унох.

Для получения исходных параметров моделирования проводилось определение параметров тепловой обработки (давление, температура, скорость движения греющей среды) в разных точках рабочей камеры конвекционного аппарата Унох-203G. Полученная модель показывает значения давления и скорости конвективного потока в контрольных точках с отклонениями от реального процесса 10...15 %. Коэффициент теплоотдачи от греющей среды к поверхности нагреваемых тел определяли, применяя теорию подобия.

Моделирование процесса в SolidWorks Flow Simulation показало значительное образование возвратных и вихревых конвективных потоков, что усложняет описание процесса нагревания заготовки. По развертке цилиндра наибольшее значение температуры наблюдается в лобовой части, наименьшее – в кормовой; левая часть нагревается больше, чем правая. По высоте заготовки наибольшие температуры наблюдаются на центральных участках для всех элементов вертикальных секторов. Температурные значения по компьютерной модели варьируются в диапазоне 142...158 °С.

Полученная в ходе экспериментальных исследований картина распределения температурных полей в реальном процессе соответствует разработанной компьютерной модели. Однако абсолютные термометрические значения значительно различаются, составляя по экспериментальным данным для куриного фарша 98...109 °С.

Можно сделать вывод, что моделирование процесса нагревания влажных тел ресурсами SolidWorks Flow Simulations не отражает в полной мере реальной картины, т. к. не учитывает массообменные процессы внутри влажного тела и протекающие физико-химические изменения структурных элементов нагреваемого материала. При этом общий характер распределения температур по поверхности влажного тела компьютерная модель показала с достаточно высокой точностью.

УДК 004.42

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО АРХИТЕКТУРЕ ЭВМ

Ю. Д. СТОЛЯРОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время все большее внимание уделяется возможности обучения с применением виртуальных технологий. Используя виртуальную лабораторию, можно заменить фактическое выполнение лабораторной работы на физически существующей лабораторной установке набором программного обеспечения. Вся необходимая информация будет находиться на сервере учебного заведения и, используя сеть Интернет, можно неоднократно выполнять работу, находясь в любом месте. При изучении различных операций, выполняющихся компьютером, необходимо, чтобы обучающийся мог наглядно шаг за шагом просмотреть ход выполнения этих операций.

В качестве примера рассмотрена работа КЭШ-памяти компьютера, реализованная программно. При работе компьютера информация, необходимая микропроцессору, находится в медленно работающей оперативной памяти. Процессор работает на очень большой частоте. Поэтому в компьютере применяется промежуточная КЭШ-память нескольких уровней, используя которую необходимые данные поступают в процессор с частотой, близкой к частоте его работы. КЭШ-2 имеет небольшой объем, но скорость, близкую к частоте работы процессора. КЭШ-3 медленнее КЭШа второго уровня, но имеет больший объем памяти. Если при обращении к КЭШу второго уровня необходимая информация отсутствует, то поиск продолжается в КЭШе третьего уровня. Если и там ее нет, происходит обращение к основной памяти. Найденная информация поступает в КЭШ-2, а оттуда в процессор.

В работе скриншотами показана пошаговая работа КЭШ-памяти (рис. 1). После загрузки информации из основной памяти в процессор через КЭШ-память копия ее остается в КЭШ-2. При этом она заменяет ненужную информацию, используя выбранный алгоритм замены (FIFO и т. д.). Загрузка той же информации при повторном обращении к ней производится из КЭШ-2 (рис. 2).

Явно виден выигрыш по времени в этом случае. Приведен также пример нахождения информации в КЭШ-3 (рис. 3). После загрузки ее в процессор она сохраняется в КЭШ-2. При этом предыдущая информация также сохраняется в этом КЭШе.

На экране последовательно просматриваются ячейки памяти до нахождения нужной информации и высвечивается путь между блоками памяти с учетом скорости работы каждого блока. На каждом рисунке условно указано, откуда через КЭШи в процессор поступает нужная информация. Работа является виртуальным устройством, реализованным в виде программного продукта на языке C++.

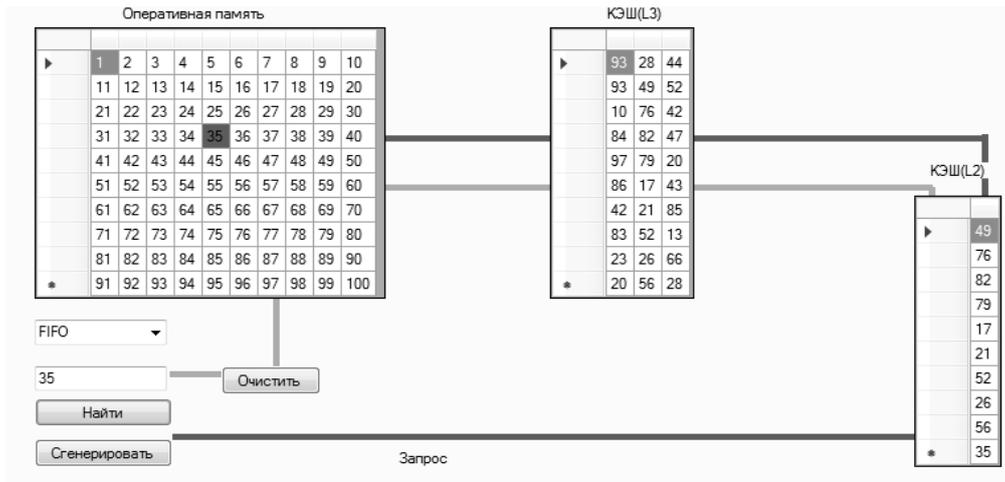


Рис. 1. Искомая информация находится в основной памяти

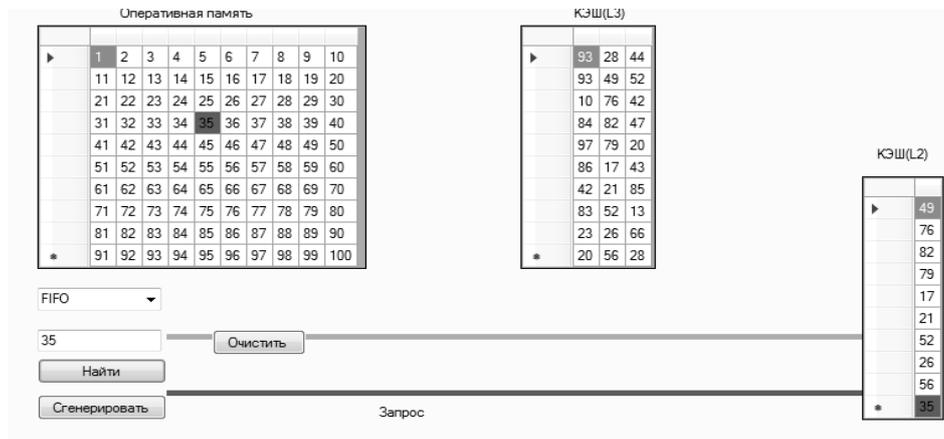


Рис. 2. Повторное обращение к той же информации

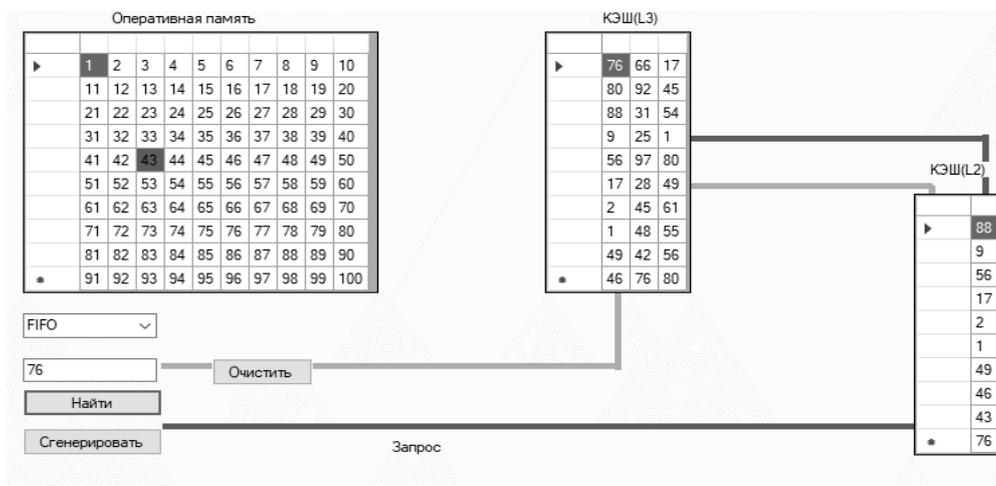


Рис. 3. Искомая информация находится в КЭШ-3

УДК 519.6:004

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА КАФЕДРЕ УЧЕБНОГО ВУЗА

В. А. ШИРОЧЕНКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Управленческая деятельность заведующего кафедрой учебного вуза предусматривает подготовку достаточно большого количества различной документации. Вместе с тем заведующий кафедрой участвует в учебном процессе, выполняя функции преподавателя в соответствии с расписанием. В результате для подготовки документации время выделяется фрагментарно в перерывах между учебными занятиями. Такая постановка работы сопровождается многократными перерывами в подготовке документации, что приводит к потере оперативности и чревато неточностями и ошибками. Таким образом, абсолютно очевидна необходимость уменьшения трудоемкости процедуры подготовки документации. Разрешение этой проблемы возможно на основе автоматизации управленческой деятельности с использованием современных информационных технологий.

Наиболее затратной для заведующего кафедрой является разработка документации, связанной с расчетом учебной нагрузки, распределением ее между сотрудниками кафедры, контролем исполнения и с разработкой сопутствующей документации. Для автоматизации подготовки такой документации кафедрой АСУ силами преподавателей и студентов разрабатывается специальное программное обеспечение.

Подготовка указанной документации требует сбора достаточно большого количества информации, источниками которой являются различные подразделения вуза, и существенных затрат времени. На сегодняшний день вся исходная информация существует в электронном виде, но формат представления подразумевает создание печатных копий документов и существенно усложняет автоматическое считывание данных. В результате страдает оперативность и точность подготовки документов.

Отправной точкой для разработки документации являются учебные планы по специальностям обучения, приказы по закреплению дисциплин за кафедрами и утвержденный контингент обучающихся по специальностям. Пользователь может по выбору ввести информацию вручную через интерфейс программы или импортировать из имеющегося электронного документа. После этого происходит расчет учебной нагрузки по кафедре и формирование печатной копии этого документа. Для повышения качества получаемого документа в программе предусмотрена система различных проверок, позволяющая

уменьшить вероятность ввода некорректной информации.

Основное внимание в программе уделено автоматизации распределения учебной нагрузки между преподавателями кафедры. При этом заведующий кафедрой может легко контролировать среднюю нагрузку по кафедре, повышающие и понижающие коэффициенты, долю так называемой «звонковой» нагрузки и прочие особенности распределения. Результирующий документ формируется в табличном виде, позволяет видеть нагрузку преподавателей в разрезе дисциплин и составляющих их элементов. Детализацию представляемой информации можно отменить и представить документ в интегрированном виде, пригодном для печати и передачи в учебный отдел. Созданная программа разработана в среде табличного процессора Microsoft Excel и располагает всеми возможностями оформления подготовленных документов, хорошо известными пользователям данного продукта.

При изменении контингента и его структуры программа автоматически пересчитывает нагрузку по кафедре, выявляет информацию о нераспределенной или дважды распределенной нагрузке и предоставляет возможность легко скорректировать ее распределение.

Для контроля выполнения учебной нагрузки с помощью программы формируются индивидуальные планы преподавателей в виде двух связанных между собой таблиц с плановой и выполненной нагрузкой. Это представление полностью соответствует используемым в университете индивидуальным планам на бумажных носителях. Электронные индивидуальные планы размещаются на сервере, доступном всем преподавателям кафедры. Путь к каталогу для сохранения файлов задается в процессе настройки программы. В период проведения занятий все преподаватели отмечают выполнение своей нагрузки через электронную сеть или интернет. В отчетные периоды программа позволяет получать как ежемесячные, так и семестровые отчеты кафедры по выполнению нагрузки как по преподавателям в отдельности, так и в целом по кафедре.

В течение учебных семестров возникает необходимость выявить, какие виды занятий закреплены за конкретным преподавателем или кому из преподавателей поручено проведение занятий по конкретной дисциплине и, если дисциплина проводится несколькими преподавателями, определить всех исполнителей. Программа имеет специальную поисковую систему и позволяет оперативно ответить на эти и другие вопросы. Кроме того, программа выполняет дополнительные сервисные функции, например, позволяет подготовить сведения к составлению расписания по всем видам занятий.

Разработка прошла апробацию на двух кафедрах электротехнического факультета и показала свою эффективность, надежность и удобство в работе.

УДК 004:621.791

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ РАБОТЫ СВАРЩИКОВ И КАЧЕСТВА СВАРОЧНЫХ РАБОТ «WELDINGCONTROL»

С. В. БОЛОТОВ, Е. В. МАКАРОВ, В. А. ФУРМАНОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Повышение эффективности работы сварщиков и качества сварочных работ является одной из основных задач машиностроительных предприятий Республики Беларусь и Российской Федерации. Подтверждение качества сварки является одним из основных условий создания конкурентоспособной продукции.

Целью создания системы автоматизированной системы «WeldingControl» является повышение эффективности работы сварщиков и качества сварочных работ за счет постоянного автоматического контроля параметров режимов сварки. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: автоматизировать формирование сменных заданий, автоматизировать формирование технологических карт, автоматизировать контроль режимов работы сварочного оборудования, автоматизировать оценку работы сварщиков. Отличительными особенностями системы «WeldingControl» по сравнению с существующими аналогами являются возможность оперативного формирования сменных заданий, возможность удаленного контроля режимов работы сварочного оборудования (в том числе с мобильных устройств), отображение местоположения и состояния сварочного оборудования на карте. Для подтверждения качества сварки автоматически формируется паспорт сварного стыка, в котором отражается информация об объекте, участке, маркировке сварного шва, исполнителях работ, сварочном оборудовании, используемых материалах; отображаются графики изменения сварочного тока и напряжения на дуге с границами допустимых значений. Идентификация руководителей сварочных работ и сварщиков осуществляется с помощью удостоверений с RFID метками.

Для реализации системы «WeldingControl» выбраны наиболее распространенные и эффективные средства и технологии. Для разработки пользовательского интерфейса системы использовались React (как основная библиотека), Redux (как единый источник данных приложения и их хранения), стандарты Material UI для единства стилей веб-приложения. Для реализации серверной части применили ASP. Net Core – кроссплатформенный сервер, обеспечивающий возможность развертывания на операционных системах Windows или Linux. Для создания базы данных используется PostgreSQL. Применение технологии EntityFramework обеспечивает эффективное взаимодействие объектов базы данных с серверной частью приложения. Для управления развертыванием приложения на сервере используется Docker.

УДК 004.42

РАЗРАБОТКА ИТ-СРЕДСТВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ПО СОСТОЯНИЮ ЗДОРОВЬЯ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Н. В. ВЫГОВСКАЯ, Е. И. ГАЙЧУКОВ, Н. Ю. ШЕКУНОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Есть категория людей, которые перенесли тяжелые заболевания и травмы и для которых обычное общение не доступно, которым по некоторым причинам нелегко или невозможно коммуницировать. Для такой категории людей требуется специальное программное обеспечение, которое может помочь им в этом. Синтезаторы речи полезны тем, у кого имеются проблемы с речью, программы с распознаванием образов – для слабовидящих людей.

Развитие машинного обучения позволяет создавать программные средства для распознавания рукописных цифр и текстов, даже небрежно написанных, а затем озвучивать их. Написанные на экране планшета или телефона рукописные цифры могут помочь донести важную информацию. Предлагается программа – скринридер цифр с синтезатором речи.

Первый этап в разработке таких программ – распознавание образа знака, в нашем случае – цифры. Для этого была использована бесплатная библиотека для машинного обучения ML.NET, которая предназначена для языков программирования C# и F#.

ML.NET предоставляет .NET-разработчикам возможности анализа и прогнозирования машинного обучения на основе моделей. Фреймворк построен на .NET Core и .NET Standard, унаследовав возможность кроссплатформенной работы в Linux, Windows и macOS.

ML.NET была разработана как расширяемая платформа, с возможностью использования популярных фреймворков ML (TensorFlow, ANNEX, Infer.NET), а также для еще большего количества сценариев машинного обучения, таких как классификация изображений, обнаружение объектов.

Структура кода приложения и итеративный процесс разработки модели:

- сбор и загрузка обучающих данных в объект IDataView;
- указание конвейера операций для извлечения функций и применение алгоритма машинного обучения;
- обучение модели путем вызова функции Fit() для конвейера;
- оценка модели и итерации для ее улучшения;
- сохранение модели в двоичном формате для использования в приложении;
- загрузка модели обратно в объект Itransformer;

– прогнозирование с помощью функции `CreatePredictionEngine.Predict()`.

Входными данными для нейронной сети являются изображения цифр. Для каждой цифры предусмотрено свыше двух тысяч изображений для обучения нейронной сети.

Для корректного функционирования нейронная сеть должна пройти этап обучения. В нашем случае используется база данных MNIST, которая содержит 60000 изображений для обучения и 10000 изображений для тестирования.

Данные состоят из заранее подготовленных примеров изображений, на основе которых проводятся обучение и тестирование систем.

База данных была создана после переработки оригинального набора чёрно-белых образцов размером 20×20 пикселей NIST. Создатели базы данных NIST, в свою очередь, использовали набор образцов из Бюро переписи населения США, к которому были добавлены ещё тестовые образцы, написанные студентами американских университетов.

Образцы из набора NIST были нормализованы, прошли сглаживание и приведены к серому полутоновому изображению размером 28×28 пикселей.

При разработке программного обеспечения (ПО) была использована платформа WPF, где главным элементом интерфейса приложения является элемент управления InkCanvas. Главное предназначение InkCanvas заключается в обеспечении перьевого ввода. Перо (stylus) – это подобное карандашу устройство ввода, используемое в планшетных ПК. С помощью него пользователь может рисовать линии или выбирать и манипулировать элементами. В нашем случае пользователь пишет цифры, как на бумаге. Разработанное ПО распознает изображение цифры.

Второй этап разработки ПО – синтез речи для распознанных цифр. Речь – это также часть WPF, а синтез речи – это средство, генерирующее аудиосигнал разговора на основе предоставленного текста. С помощью объекта PromptBuilder можно не только воспроизвести (озвучить) цифры, но и изменить интонацию и скорость при их озвучивании, увеличить или уменьшить громкость.

ПО аналогичного назначения было разработано на платформе Everland компанией Билайн для программы «Особый взгляд» благотворительного фонда. Компания Билайн разработала специальные программы, которые используются при разных видах инвалидности, будь то проблемы со слухом, зрением или речью. Эти программы помогают наладить общение, но они требовательны к среде и ресурсам, т. к. им нужен скоростной интернет, тихое место, они могут дорого стоить.

В отличие от названного выше ПО, для нашей программы требования к техническим средствам минимальны. Приложение является десктопным, имеет простой интерфейс и внешние звуки не являются помехой для ее использования.

УДК 681

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕСТИРОВАНИЯ
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Е. А. ЗАЙЧЕНКО, К. В. ОВСЯННИКОВ, А. С. СИДОРЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время при разработке программного обеспечения большую важность приобретает кроссплатформенность. Приложение должно одинаково устойчиво и производительно работать не только под операционными системами семейств персональных компьютеров Windows, Linux, Mac OS, но и на мобильных устройствах, использующих операционные системы Android, iOS, Harmony OS.

Программисты, отвечающие за разработку кода, преимущественно используют технологии, в основе которых лежат языки программирования C++, C#, Java и др. С учетом того, что пишется универсальный код, не учитывающий особенности аппаратной и программной части устройств, большую актуальность приобретает этап тестирования программного обеспечения. На этом этапе выполняются отладка, выявление ошибок, оценка производительности и оптимизация программного продукта под различные операционные системы и устройства.

Для тестирования приложений традиционно применяется как ручное, так и автоматизированное тестирование. Однако последние тенденции развития показывают переход к активному использованию в тестировании приложений искусственного интеллекта и машинного обучения [1]. В частности, можно выделить такие направления, как обнаружение и устранение избыточных тестовых наборов, прогнозирование ключевых параметров и специфики поведения пользователей.

В ходе разработки и тестирования приложений, разрабатываемых в рамках научно-исследовательской работы студентов [2], была выработана методика оптимизации производительности приложения, включающая следующие шаги.

На первом этапе формируется перечень операционных систем, в которых будет осуществляться оценка производительности. На втором этапе происходит получение результатов по скорости загрузки компонентов приложения. На третьем этапе выполняются оценка производительности компонентов приложения путем переноса результатов в систему статистической обработки данных и анализ полученных результатов с использованием графического представления данных. На четвертом этапе определяются стратегии повышения производительности компонентов приложения. Этапы 2–3 повторяются до тех

пор, пока статистическая погрешность между результатами выполнения итераций станет незначительной.

Апробация предложенной методики проводилась для веб-приложения SkillsForYou [3]. Для тестирования выбрана следующая конфигурация компьютера: процессор Intel(R) Core(TM) i7-7700 CPU @3.60GHz 3.60 GHz; ОЗУ 16GB; видеокарта Intel(R) HD Graphics 630.

Перечень операционных систем был сформирован исходя из их распространения и популярности: ОС Microsoft Windows 10, ОС LINUX Ubuntu 18, российская ОС семейства LINUX Rosa. Как видно из диаграммы, представленной на рис. 1, производительность приложения значительно отличается в различных операционных системах.

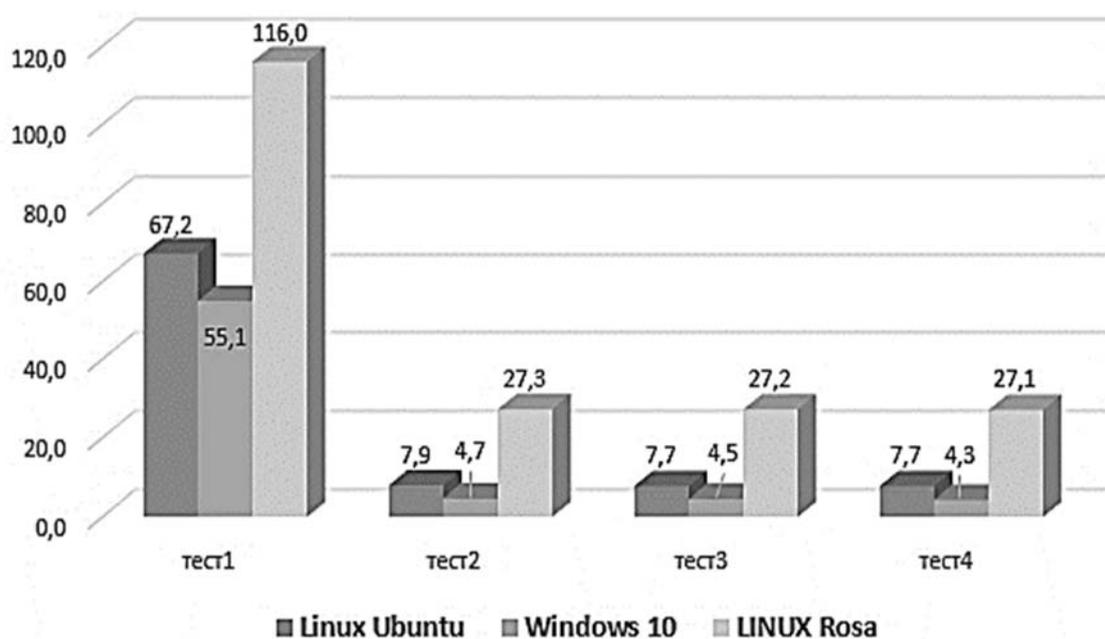


Рис. 1. Время выполнения тестов в различных операционных системах

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Top Software Testing Trends to Watch Out For in 2020 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.katalon.com/resources-center/blog/software-testing-trends-2020>. – Data of access: 03.01.2021.

2. **Зайченко, Е. А.** Методика оптимизации производительности веб-приложений / Е. А. Зайченко, А. Ю. Миранков, Ю. В. Узянова // Энергетика, информатика, инновации – 2019 (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве, микроэлектроника и оплотехника): материалы IX Междунар. науч.-техн. конф., Смоленск, 17–18 окт. 2019 г.: в 2 т. – Смоленск: Фил. ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2019. – Т. 1. – С. 285–289.

3. **Янукович, С. П.** Контроль самостоятельной работы студентов IT-специальностей посредством автоматизации / С. П. Янукович, Т. В. Мрочек, Д. С. Ореховский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 апр. 2019 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 398.

УДК 004.9

АЛГОРИТМ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ ДИССЕРТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА Т. СААТИ

К. В. ЗАХАРЧЕНКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Выбор научного руководителя магистерской или кандидатской диссертации во многом определяет результативность и эффективность научных исследований. Психологическая несовместимость, личная неприязнь, конфликты интересов, нарушение моральных и этических норм приводят к тому, что у магистрантов и аспирантов, желающих заниматься наукой, пропадает интерес к исследованиям. В связи с этим, задача рационального выбора научного руководителя является актуальной. Кроме того, актуальной является задача минимизации вероятности попадания соискателей к научным руководителям, которые берутся за научное руководство, преследуя собственные цели, не связанные непосредственно с исследованиями, и фактически научной работой не руководят [1].

Развитие информационно-коммуникационных технологий существенно расширило возможности удаленной работы магистрантов и аспирантов с научными руководителями, особенно по направлениям, не требующим использования специального оборудования, в частности, в области математики, информатики, гуманитарных дисциплин. Выбор научного руководителя по многим направлениям в настоящее время не ограничивается конкретным вузом, регионом или страной. В Российской Федерации сведения об ученых, которые могут выступать в качестве научных руководителей, можно найти в свободном доступе в сети Интернет на сайтах учреждений и организаций, сотрудниками которых являются интересующие соискателя ученые.

Предлагаемый алгоритм выбора научного руководителя включает следующие основные этапы.

Этап 1. Формирование списка ученых, занимающихся интересующим соискателя научным направлением. Данный список может быть сформирован путем использования функций поиска в соответствующих наукоемких базах данных.

Этап 2. Получение информации об эффективности работы научного руководителя. Главным критерием эффективности работы научного руководителя предлагается считать отношение успешных защит к общему количеству аспирантов, у которых ученый был научным руководителем, с учетом времени, прошедшего с момента защиты первого соискателя под руководством ученого. Таким образом, для расчета главного критерия эффективности работы научного руководителя предлагается использовать следующую формулу:

$$K_{EffSL} = \frac{Q_{DD}}{Q_{DS} \cdot \Delta T_{SW}}, \quad (1)$$

где Q_{DD} – количество успешных защит диссертаций под руководством ученого за период с момента защиты первого соискателя до настоящего времени; Q_{DS} – общее количество соискателей, работавших над диссертациями под руководством ученого за период с момента защиты первого соискателя до настоящего времени; ΔT_{SW} – интервал времени, прошедший с момента защиты первого соискателя под руководством ученого до настоящего времени.

Этап 3. Формирование дополнительных критериев выбора научного руководителя. Данный этап выполняется в том случае, если соискатель считает необходимым при выборе научного руководителя учитывать не только значение главного критерия, рассчитанного на этапе 2, но и дополнительные критерии выбора научного руководителя (личностные качества, публикационная активность и др.)

На данном этапе предлагается использовать классическую процедуру метода Т. Саати [2], включающую следующие шаги.

Шаг 3.1. Формирование соискателем критериев выбора научного руководителя.

Шаг 3.2. Ранжирование критериев по уровню значимости для соискателя на основе матриц парных сравнений.

Шаг 3.3. Сравнение потенциальных научных руководителей по каждому критерию на основе матриц парных сравнений. На данном шаге исходные данные могут быть получены на основе отзывов коллег, студентов, магистрантов и аспирантов, работавших под руководством ученого, рассматривающегося в качестве научного руководителя.

Шаг 3.4. Проверка согласованности матриц парных сравнений.

Шаг 3.5. Формирование рейтинга претендентов на роль научного руководителя на основе выбранных соискателем критериев эффективности научного руководства.

Этап 4. Общение соискателя с учеными, список которых сформирован на этапах 1–3, для окончательного выбора научного руководителя.

Отличительной особенностью алгоритма является главный критерий эффективности работы научного руководителя. Автоматизация решения задачи рационального выбора научного руководителя на основе предложенного алгоритма позволит повысить эффективность и результативность научных исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Новиков, А. М.** Как работать над диссертацией: пособие для начинающего педагога-исследователя / А. М. Новиков. – 4-е изд. – Москва: Эвгес, 2003. – 104 с.
2. **Саати, Т.** Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети: пер. с англ. / Т. Саати. – Москва: ЛКИ, 2008. – 360 с.

УДК 004

О СБОРЕ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА РЫНКА ВАКАНСИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ ИТ-ОТРАСЛИ

В. А. ЛИВИНСКАЯ, Е. И. ГАЙЧУКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Рынок труда, наряду с показателями официальной и реальной безработицы, может считаться индикатором состояния экономики любого государства. Резкое увеличение числа вакансий в той или иной области может являться поводом для образовательных учреждений корректировать учебные планы и даже открывать новые специальности. И наоборот, проблемы с распределением выпускников на производственную практику и на постоянное место работы могут свидетельствовать о недостаточно качественной подготовке специалистов. Поэтому организация регулярного мониторинга рынка вакансий и резюме, анализ динамики их соотношений является важной и актуальной задачей.

Современные информационные технологии позволяют организовать мониторинг рынка вакансий почти в реальном времени, путем сбора информации с помощью парсинга сайтов-агрегаторов с объявлениями о размещаемых вакансиях. Обычно в объявлениях работодатели указывают определенные компетенции (так называемый *skills*), которым должен соответствовать соискатель, а также опыт работы в соответствующей области и условия труда, которые обязуется обеспечить наниматель. Информация о гарантируемой заработной плате указывается довольно редко в открытом доступе.

Основными целями данного исследования являются сбор и анализ информации о вакансиях специалистов ИТ-отрасли с сайта HeadHunter (hh.ru) – одного из популярных ресурсов рунета.

Для реализации поставленной цели на языке Python была написана программа-парсер, производившая сбор данных с сайта. Сервис HeadHunter предоставляет специальный API (*application programming interface*), с помощью которого становится возможным получать информацию о соискателях и компаниях, а также использовать функциональность HeadHunter для своего сайта или приложения.

Всё API работает по протоколу HTTPS. Данные, получаемые в ответах сервиса, доступны только в формате JSON (*JavaScript Object Notation*). На базовый Uniform Resource Locator (URL) отправляются запросы приложений, использующих функциональность сервиса HeadHunter, чтобы получить ответ в виде данных, которые представлены в формате JSON. Также в запросе могут передаваться дополнительные параметры, задающие правила и критерии поиска и фильтрации.

Стоит отметить, что имеется возможность задавать такие параметры поиска, как нижняя и верхняя границы вилки оклада (параметры *salary.from* и *salary.to* соответственно); департамент, от имени которого размещается вакансия (если

данная возможность доступна для компании) (параметр *department*); информация о ключевых навыках, заявленных в вакансии (параметр *key_skills*); требуемый опыт работы (параметр *experience*).

С парсингом резюме на HeadHunters дело обстоит несколько сложнее, т. к. для этого необходима платная подписка. Поэтому приходится использовать сторонние модули языка Python, например, *re*, *requests*, *bs4* для того, чтобы получить данные и произвести дальнейший разбор HTML.

Процесс накопления данных для полноценного анализа требует много времени, т. к. каждый день на сайте появляются более 500 новых объявлений (в зависимости о выбранного количества регионов). Представляет интерес получение ответов на целый ряд вопросов: какие языки программирования пользуются наибольшим спросом; в какие предметные области требуются специалисты; как различается спрос по регионам; есть ли тенденции, связанные с пандемией.

Для специалиста IT-отрасли ключевыми навыками являются язык программирования и знание предметной области. За 10 дней сбора информации в январе 2021 г. (с 10/01 по 20/01) 82 % вакансий hh.ru в этой категории были размещены вакансии в таких сферах деятельности компаний, как системная интеграция, web-инженерия, разработка систем управления предприятием (ERP), CRM системы, создание банковского ПО.

Анализ доли различных языков программирования в общем количестве вакансий, собранных за анализируемый период, представлен на рис. 1. По имеющейся выборке наиболее распространенным оказался язык Java, хотя по международным исследованиям (TOIBE INDEX for January 2021) язык Python явился лидером 2020 г.

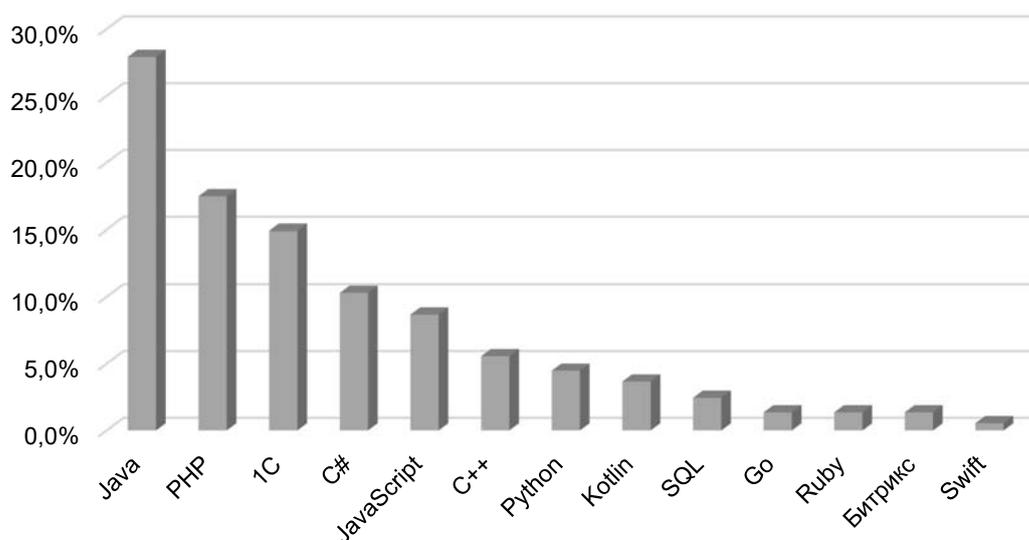


Рис. 1. Структура потребности рынка IT в языках программирования в январе 2021 г.

УДК 004

АНАЛИЗ ПЛОЩАДИ ПОД КРИВОЙ В МЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В. А. ЛИВИНСКАЯ, П. Р. ИВАНОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Развитие информационных технологий последнее время позволило применять различные методы статистического анализа в клинических медицинских исследованиях. Так, при решении задачи классификации на пространственных выборках (определение, например, наиболее эффективного предиктора двух различных состояний пациента), широко применяется метод построения ROC-кривой, по значению площади AUC (англ. «area under curve») под которой принимается решение о качестве классификации [1]. Данный графический инструмент визуализирует зависимость количества верно классифицированных истинно положительных случаев от количества неверно классифицированных отрицательных случаев. Величина AUC считается удовлетворительной, когда она принимает значение, более 0,7.

Еще одним широко используемым инструментом в доказательной медицине является площадь под фармакокинетической кривой. Она представляет собой область под линией, являющейся характеристикой накопления в плазме крови пациента лекарственного вещества за определенный период времени.

Пандемия коронавируса в 2020 г. поставила много задач перед исследователями. Представляется актуальным определение статистически значимой разницы показателя агрегации тромбоцитов у 30 пациентов с диагностированным COVID-19 в зависимости от дозы введения активатора. Данные были получены в одном из лечебных учреждений Могилевской области. Решение задачи состоит из следующих этапов.

1. Перевод данных из текстового формата, получаемого агрегометром, в числовой формат, формирование датасета для дальнейшего анализа.
2. Создание программного обеспечения, позволяющего определять площадь под фармакокинетической кривой для каждого пациента с различными дозами активатора агрегации для проверки гипотезы о её влиянии на показатель агрегации тромбоцитов у здоровых и больных пациентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Точило, С. А.** Скрининговые критерии полиорганной недостаточности после абдоминальных операций (клиническое исследование). Клиническая медицина / С. А. Точило, А. В. Марочков, В. А. Ливинская // Общая реаниматология. – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 61–72.

УДК 004.891

СПОСОБ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

А. Е. МИСНИК, С. К. КРУТОЛЕВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Характерной чертой образовательных кибер-физических систем является тесное взаимодействие системных и информационно-аналитических процессов. Системные процессы подвержены влиянию различных внешних факторов, поэтому связанные с ними информационно-аналитические процессы должны адаптироваться к таким изменениям. В связи с этим остро стоит проблема повышения эффективности и скорости разработки и модификации информационно-аналитических процессов, которые включают в себя процессы сбора, обработки, обобщения, оценки и прогнозирования состояния, выработки обоснованных решений и оценки их осуществимости.

В качестве примера реализации такого инструмента можно рассмотреть автоматическое построение блок-схемы процесса.

В качестве эффективного подхода к решению данной проблемы предлагается метод моделирования и проектирования информационно-аналитических процессов в образовательных кибер-физических системах на основе иерархических нейро-нечетких сетей Петри. Возможность такого подхода описана в статье [1].

Нейро-нечеткая сеть Петри строится на основе нечетких нейронов Квана и Кей. Она представлена на рис. 1 трехслойной архитектурой.

Нейроны первого слоя p_1 – p_7 соответствуют информации о текущем состоянии системы, второй слой p_8 – p_{11} обеспечивает переход к фоновым процессам системы, третий p_{12} – p_{14} содержат информацию об аппаратном обеспечении сервера.

В результате использования предложенного способа проводится диагностика, определяется достижимость различных событий информационно-аналитических процессов, их цикличность, устраняются «узкие места» процессов.

Предлагаемый способ включает в себя обобщенные стадии проектирования, моделирования, анализа и модификации информационно-аналитических процессов, которые многократно повторяются до тех пор, пока результаты не будут соответствовать установленным критериям.

В результате использования предложенного способа проводится диагностика, определяется достижимость различных событий информационно-аналитических процессов, их цикличность, устраняются «узкие места» процессов. Предлагаемый способ также может быть использован для мониторинга состояния и управления информационно-аналитическими процессами в образовательных кибер-физических системах.

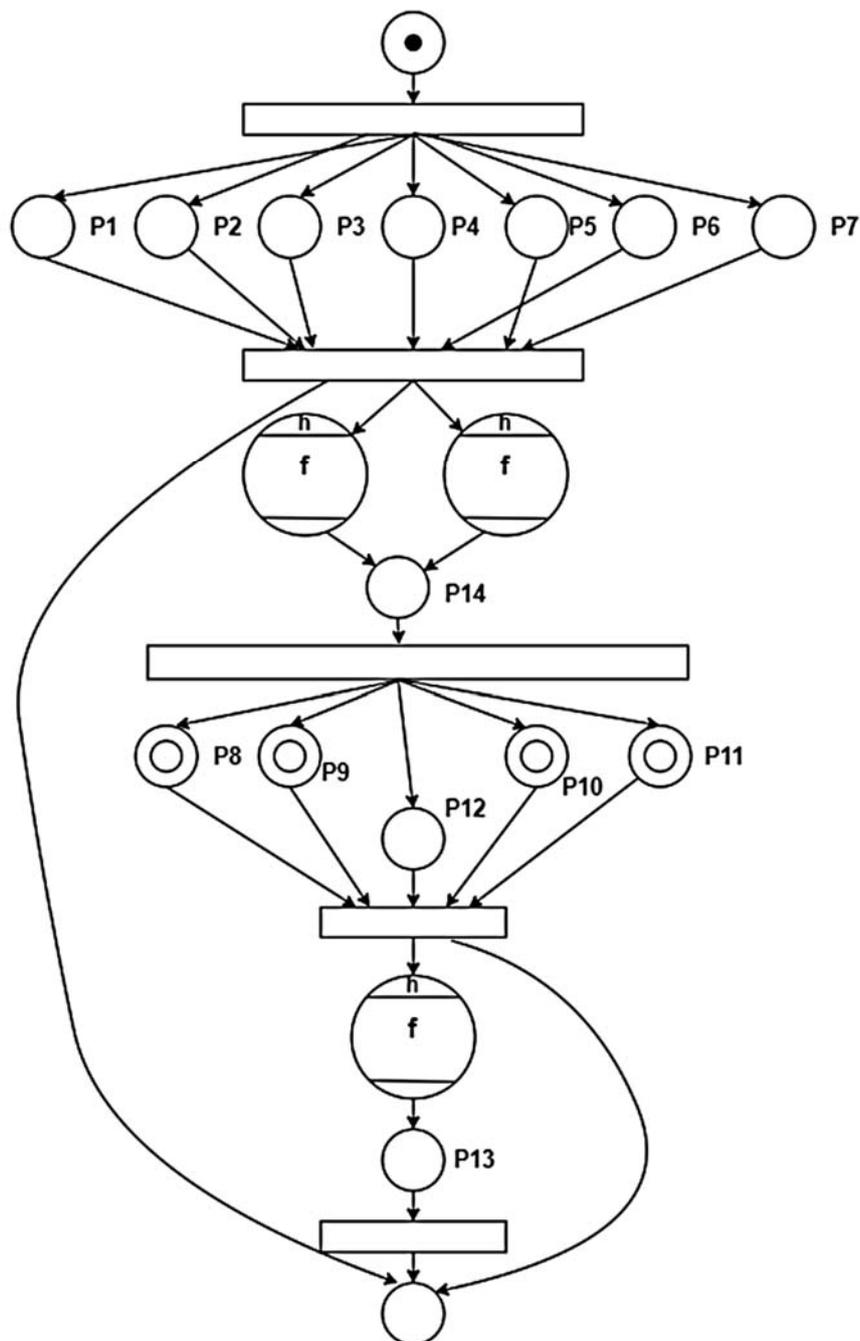


Рис. 1. Фрагмент нейро-нечеткой сети Петри

В качестве примера пользовательских процессов можно привести подсистему отслеживания успеваемости студентов в рамках интегрированной ИС Белорусско-Российского университета.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Methodology for Development of Industrial Analytical Systems for Data Collection and Processing / A. Misnik [et al.] // Proceedings of the 14th International Conference on Interactive Systems: Problems of Human-Computer Interaction, Ulyanovsk, Sept. 24–27. – Ulyanovsk, 2019. – P. 223–231.

УДК 528

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВА. Д. ТИХОНОВ¹, С. О. МАКАРОВ²¹Государственный университет по землеустройству²Российский университет транспорта (МИИТ)

Москва, Россия

При создании геодезических сетей, необходимых для проектирования и содержания достаточно протяженных линейных объектов, когда речь идет о сотнях километров, например, линии железной дороги, важным моментом является выбор исходной геодезической основы. По традиции, различными инструкциями предписано использовать как основу пункты ГГС. Но такое решение часто не удобно, т. к. часть пунктов ГГС может быть утрачена, а невязки сохранившихся пунктов могут быть значительными. Актуальность данного вопроса возрастает в связи с введением скоростного движения и повышения требований к точности геодезического обеспечения. В этой связи возможность определить координаты пунктов в глобальной системе координат (ITRF) с высокой точностью и без опоры на каркасные пункты выглядит очень перспективно.

Для реализации метода PPP (Precise Point Positioning) необходимы длительные спутниковые наблюдения (от одного часа и выше). Полученные данные обрабатываются с использованием спутниковой корректирующей информации, содержащей поправки к эфемеридам и времени бортовых часов навигационных спутников и атмосферных поправок в пределах локальной области, позволяющей определять пространственные координаты объектов с высокой точностью [1].

На сегодняшний день методы высокоточных координатных определений (далее «PPP») можно разделить на три обобщенные группы:

1) PPP (Float PPP) – реализация метода без разрешения целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений;

2) PPP-AR (Integer PPP) – с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений;

3) PPP-RTK – с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений и использованием атмосферных коррекций в пределах локальной области.

При этом методы PPP можно реализовать как апостериорном режиме, так и в режиме реального времени [2]. В первом случае результат на этапе камеральной обработки – через коммерческие программные обеспечения либо через специализированные сервисы. В качестве интернет-сервисов можно

назвать следующие: Automatic Precise Points Positioning (APPS), Canadian Spatial Reference System Precise Points Positioning (CSRS-PPP), GNSS Analysis and Positioning Software (GAPS), magic-PPP Precise Points Positioning Solution (magic GNSS), RTX-обработка и др. Также существует возможность применения различных программных обеспечений, например: RTKLIB, GPS Toolkit, Bernese, Waypoint GrafNAV, GIPSY-OASIS.

Преимуществами Precise Points Positioning (PPP) должны являться: использование одного ГНСС-приемника, независимость точности от удаления от базовой станции в отличие от любого другого метода.

Достижимый уровень точности при использовании Trimble RTX достигает 2 см в плане и 6 см по высоте, если файл измерений по продолжительности минимум 1 ч. Однако при увеличении продолжительности до суток (не более того) точность может достигнуть 1 см в плане и 3 см по высоте [3].

В качестве практического эксперимента были выбраны два пункта входящих в состав дифференциальной сети EFT-CORS – MSK-2 и PERM, расположенных на расстоянии 1157 км. Продолжительность спутниковых измерений составила 2 ч. Сравнения приращения координат до обработки («сырые данные») и обработанные через PPP-алгоритм, используя RTX-обработку, можно заметить, что плановая погрешность не превышает 2,5 см, а высотная – 4,3 см.

Вывод. Несмотря на отсутствие разрешающей документации, инструкций и описанных методик, применение PPP-алгоритма дает не доступные для других способов возможности. Абсолютная точность сравнима с определением координат в статике. Относительная точность – при рассмотрении линии в несколько десятков или даже сотен километров вне конкуренции, особенно если учитывать простоту организации измерений, время на полевые и камеральные работы. Данный метод, без сомнения, в будущем будет востребован при геодезических сетевых построениях как для нужд ж.-д. транспорта, так и в других областях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kouba, J.** A guide to using International GNSS Service (IGS) products / J. Kouba. – 2015. – 34 с.
2. **Антонович, К. М.** Совершенствование методики точного дифференциального позиционирования по результатам ГНСС-измерений (Precise Points Positioning) / К. М. Антонович, Л. А. Липатников // Изв. высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото-съемка. – 2013. – № 4. – С. 44–47.
3. Trimble RTX [Electronic resource]. – Mode of access: <https://trimblertx.com/>. – Data of access: 27.01.2021.

УДК 68.004.93

РАЗРАБОТКА ВЕБ-САЙТА ШАХМАТНАЯ ДОСКА С ФИГУРАМИ НА ОСНОВЕ ТЕГА HTML CANVAS

Э. И. ЯСЮКОВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Разработка технологий решения задачи игры в шахматы может быть отнесена к сфере интеллектуальных задач искусственного интеллекта, которые реализуются на основе современных информационных технологий [1].

Компьютерное моделирование процесса игры в шахматы начинается с разработки сайта формирования в окне браузера шахматной доски с фигурами.

В сети Интернет содержится множество вариантов и технологий разработки таких сайтов. Однако анализ таких технологий показал, что процесс разработки сайта формирования шахматной доски с фигурами можно несколько упростить и усовершенствовать.

В настоящей работе рассматривается разработанная на основе тега *Canvas* веб-страница формирования шахматной доски с фигурами, которая содержит два файла: *index.html* и *chesCanv.js*.

С помощью тега *Canvas*, размещенного в разделе `<body>` файла *index.html*, являющегося контейнером, формируется черный холст задаваемого в разделе `<body>` файла *chesCanv.js* размера:

```
<canvas id = "xmp">
  Не поддерживается тег canvas. Обновите браузер
</canvas>
<script src = "chesCanv.js"></script>
```

где *id* – идентификатор, используемый для обращения к элементу *canvas* из файла *chesCanv.js* через переменную *xmp* с помощью метода *document.getElementById()*. Тег *script* в файле *index.html* подключает к разрабатываемому сайту файл скрипта *chesCanv.js*.

Тег `<canvas>`, кроме идентификатора *id*, может содержать два необязательных атрибута – ширину *width* и высоту *height* формируемого холста. Значения этих атрибутов зависят от размера клеток и внешних полей шахматной доски. Поэтому они вычисляются в функции *chesCan*, содержащейся в файле *chesCanv.js*, в которой и выполняется формирование шахматной доски с фигурами.

Файл *chesCanv.js* содержит два раздела. В первом разделе содержится вызов метода *getElementById()*, а также определение массива *st* обозначений столбцов шахматной доски:

```
let st = ['a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f', 'g', 'h'];
```

и массива *fgn* – имен без расширений файлов шахматных фигур, содержащихся в папке *chs* папки сайта:

```
let fgn = ['wr','wn','wb','wq','wk','wb','wn','wr','wp',
          'br','bn','bb','bq','bk','bb','bn','br','bp'];
```

Функция *chesCan* начинается с вызова метода *xmp.getContext('2d')*, который определяет контекст рисования на холсте.

Затем вычисляются ширина и высота всей области шахматной доски с рамкой, задается цвет ее рамки, цвет темных клеток, цвета подписей строк и столбцов, а также цвета и размеры символов подписи ее строк и столбцов.

Далее определяются массив *nst*, содержащий номера строк шахматной доски, в которые выводятся шахматные фигуры:

```
let nst = [0, 1, 6, 7];
```

и массив *arr*, номеров элементов фигур в массиве *fgn* – белой и черной пешек (8, 17), а также начальные номера белых и черных фигур (8, 17):

```
var arr = [0, 8, 17, 9];
```

После этого в цикле выполняется вывод обозначений столбцов, а также формирование и вывод строк шахматной доски, содержащих номер строки и чередующиеся ее белые и черные клетки.

В следующем блоке в цикле *forEach* из массива *arr* извлекается номер имени элемента шахматной фигуры в массиве *fgn*, а по нему – имя файла фигуры, которое соединяется с расширением файла *'png'* и присваивается переменной *obj*, в которой и формируется имя файла фигуры.

Затем вычисляются координаты *xfg*, *yfg* фигуры на шахматной доске и вызывается функция *drw(obj, xfg, yfg)*, отрисовки фигуры на шахматной доске, которая имеет вид:

```
function drw(fgr, x, y) {
    var img = new Image();
    img.src = fgr;
    img.onload = function() {
        ctx.drawImage(img, x, y, skt-2, skt-4);
    };
};
```

В функции *drw* создается новый объект изображения *img*, в который загружается переданная в эту функцию шахматная фигура *fgr*, далее функция *onload* с помощью метода *drawImage* выводит эту фигуру в клетку с определенными координатами *xfg*, *yfg*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнилов, Е. Н. Программирование шахмат и других логических игр / Е. Н. Корнилов. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. – 272 с.

УДК 517.927.6

К МНОГОТОЧЕЧНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ
ДЛЯ МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ ЛЯПУНОВА С ПАРАМЕТРОМ

А. Н. БОНДАРЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Изучается краевая задача

$$\frac{dX}{dt} = \lambda A(t)X + X(B_1(t) + \lambda B_2(t)) + F(t) + \lambda^2 X B_3(t), \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^k M_i X(t_i, \lambda) = 0, \quad (2)$$

где $X \in \mathbb{R}^{n \times m}$, A , B_j ($j=1,2,3$); F – матрицы-функции класса $\mathbb{C}[0, \omega]$ соответствующих размерностей; M_i – заданные постоянные $(n \times n)$ -матрицы; $\lambda \in \mathbb{R}$, $\omega > 0$.

В работе получены коэффициентные достаточные условия однозначной разрешимости типа [1] задачи (1), (2), итерационный алгоритм построения решения и дана оценка его области локализации.

Введем следующие обозначения:

$$\gamma = \|\Phi^{-1}\|, \quad m_i = \|M_i\|, \quad \alpha = \max_t \|A(t)\|, \quad \beta_j = \max_t \|B_j(t)\|, \quad h = \max_t \|F(t)\|,$$

$$\mu_1 = \max_t \|V(t)\|, \quad \mu_2 = \max_t \|V^{-1}(t)\|, \quad \nu_i = \|V_i\|, \quad \|X\|_C = \max_t \|X(t)\|,$$

$$\varepsilon = |\lambda|, \quad q = \varepsilon q_1 + \varepsilon^2 q_2, \quad N = \gamma \mu_1 \mu_2 \omega h \sum_{i=1}^k m_i \nu_i,$$

где $\|\cdot\|$ – согласованная в смысле [2, с. 410] норма матриц; Φ – линейный

матричный оператор типа [3], $\Phi Y \equiv \sum_{i=1}^k M_i Y V_i$; $V_i = V(t_i)$, $V(t)$ –

фундаментальная матрица уравнения $dV/dt = VB_1(t)$, $q_1 = \gamma \mu_1 \mu_2 (\alpha + \beta_2) \omega \sum_{i=1}^k m_i \nu_i$,

$$q_2 = \gamma \mu_1 \mu_2 \beta_3 \omega \sum_{i=1}^k m_i \nu_i.$$

Теорема. Пусть выполнены следующие условия: оператор Φ однозначно обратим, $\varepsilon q_1 + \varepsilon^2 q_2 < 1$. Тогда задача (1), (2) однозначно разрешима; ее решение $X(t)$ представимо как предел равномерно сходящейся последовательности матричных функций, определяемых рекуррентным интегральным соотношением и удовлетворяющих условию (2), при этом справедлива оценка $\|X\|_C \leq N/(1-q)$.

На основе применения метода [4, гл. 1] задача (1), (2) сведена к эквивалентному интегральному уравнению

$$X(t, \lambda) = \left(\Phi^{-1} \left\{ \sum_{i=1}^k M_i \int_{t_i}^t [\lambda(A(\tau)X(\tau, \lambda) + X(\tau, \lambda)B_2(\tau)) + \lambda^2 XB_3(\tau) + F(\tau)] V^{-1}(\tau) d\tau V_i \right\} \right) V(t),$$

для исследования разрешимости которого используется принцип сжимающих отображений (см., например, [5, с. 605]).

Решение строится по алгоритму

$$X_p(t, \lambda) = \left(\Phi^{-1} \left\{ \sum_{i=1}^k M_i \int_{t_i}^t [\lambda(A(\tau)X_{p-1}(\tau, \lambda) + X_{p-1}(\tau, \lambda)B_2(\tau)) + \lambda^2 XB_3(\tau) + F(\tau)] V^{-1}(\tau) d\tau V_i \right\} \right) V(t), \quad p = 1, 2, \dots,$$

где в качестве начального приближения принята произвольная матрица $X_0(t) \in \mathbb{C}(I, \mathbb{R}^{n \times m})$.

Доказано, что последовательность $\{X_r\}_0^\infty$ сходится равномерно по $t \in I$ к решению полученного интегрального уравнения, при этом справедливы оценки

$$\|X - X_r\|_C \leq \frac{q^r}{1-q} \|X_1 - X_0\|_C, \quad r = 0, 1, 2, \dots, \quad \|X\|_C \leq \|X_0\|_C + \frac{\|X_1 - X_0\|_C}{1-q}.$$

Установлено, что из этих оценок при $X_0(t) \equiv 0$ следует оценка из теоремы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Bondarev, A. N.** Multipoint Boundary Value Problem for the Lyapunov Equation in the Case of Weak Degeneration of the Boundary Conditions / A. N. Bondarev, V. N. Laptinskii // *Differential Equations*. – 2019. – Vol. 55, № 3. – P. 423–427.
2. **Гантмахер, Ф. Р.** Теория матриц / Ф. Р. Гантмахер. – Москва: Наука, 1967. – 576 с.
3. **Murty, K. N.** Two (multi) point nonlinear Lyapunov systems – existence and uniqueness / K. N. Murty, G. W. Howell, S. Sivasundaram // *Journ. Mathem. Anal. and Appl.* – 1992. – Vol. 167. – P. 505–515.
4. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск: Институт математики НАН Беларуси, 1998. – 300 с.
5. **Канторович, Л. В.** Функциональный анализ / Л. В. Канторович, Г. П. Акилов. – Москва: Наука, 1977. – 744 с.

УДК 621.928.14

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА В РОТОРНЫХ АППАРАТАХ

А. М. ВОЛК, С. В. ЯНОВИЧ

Белорусский государственный университет пищевых
и химических технологий
Минск, Беларусь

У исследователей и проектировщиков повышенный интерес вызывают конструкции роторных аппаратов различного назначения с подводом энергии извне. Эффективность явлений переноса в таких аппаратах [1] существенно превосходит кинетические характеристики контактных устройств с традиционными способами взаимодействия фаз в системах, что способствует заметному уменьшению габаритов оборудования. В химической технологии они могут быть использованы для выпаривания нестойких к повышенным температурам и некристаллизующихся растворов большой вязкости; для вакуумной ректификации жидких смесей, склонных к разложению при нагревании; для проведения процессов экстракции; для очистки газовых выбросов от вредных компонентов.

На основании анализа работы известных конструкций с участием автора разработан многоступенчатый роторный аппарат [2], позволяющий в пределах ступени контакта, благодаря вращению ротора, достигать равномерного по высоте тонкодисперсного распыла жидкости при восходящем перекрестном движении газа.

Под действием центробежных сил происходят истечение жидкости из отверстий перфорации и ее диспергирование в пространстве между цилиндрами, где капли жидкости перемещаются в радиальном направлении и попадают на внутреннюю стенку элемента следующего цилиндра, после чего циклы повторяются соответственно числу цилиндров. При этом газ проходит в направлении оси аппарата, взаимодействуя с диспергированной жидкостью в пространстве между соседними цилиндрами и между внешним цилиндром и корпусом, а также с пленкой жидкости на внутренней поверхности цилиндров и корпуса.

Для разработки методики расчета аппарата важно установить зависимость дисперсного состава жидкой фазы от режимных и конструктивных параметров. С этой целью были проведены экспериментальные исследования по изучению дисперсного состава жидкой фазы методом стробоскопического фотографирования, а также выполнены теоретические исследования [3].

В опытах использовался полый цилиндрический стакан, жестко закрепленный на валу и предназначенный для диспергирования жидкой фазы (в данном случае – воды). Подвод жидкости осуществлялся внутрь вращающегося стакана, отвод – через отверстие, выполненное на его боковой поверхности. Благодаря воздействию центробежных сил, возникающих при вращении, жидкость при выходе из отверстия диспергировалась и в виде капель отбрасывалась на стенку неподвижной обечайки.

Фотографирование капель проводилось при установившемся режиме истечения на разных участках между стаканом и обечайкой. Диаметр отверстия на стенке стакана изменялся в пределах 1,3...3 мм, частота вращения – 1000...2300 об/мин, диаметр стакана составлял 50 мм, диаметр наружной обечайки – 300 мм.

Установлено, что дисперсный состав капель зависит от скорости вращения стакана, а также от диаметра отверстия для оттока жидкости.

Обработка большого количества экспериментальных данных показала, что зависимость среднего диаметра капель диспергированной жидкости от указанных параметров с погрешностью 6,4 % аппроксимируется выражением

$$d_{cp} = 0,089 \left(\frac{\pi n}{30} \right)^{-0,64} \left(\frac{d_0}{R_1} \right)^{0,31},$$

где n – частота вращения диспергирующего цилиндра, 1/мин; d_0 – диаметр отверстия в цилиндре, м; R_1 – наружный диаметр диспергирующего цилиндра, м.

Обобщение выполненных расчетов при заданной нулевой радиальной скорости газового потока и нулевом начальном значении радиальной составляющей скорости частицы дало возможность получить расчетную осевую скорость газового потока, при которой достигается равномерное орошение цилиндров:

$$W = 3,96 \cdot 10^5 q^{2,1} \left(\frac{\pi n}{30} R_1 \right)^{0,5} (R_2 - R_1)^{-1,1},$$

где R_2 – внутренний диаметр корпуса аппарата, м; q – плотность орошения, м³/(м²·ч).

Обработкой экспериментальных данных получена зависимость величины уноса жидкости (в процентах) от основных режимных параметров

$$E = 1,4 \cdot 10^{-15} \text{Re}_G^{2,61} q^{-1,46} n^{1,82},$$

где Re_G – число Рейнольдса, $\text{Re}_G = 2WR_2\rho_G / \mu_G$ (ρ_G – плотность газа, кг/м³; μ_G – коэффициент динамической вязкости газа, Па·с).

Расчетные и экспериментальные данные достаточно близки по значению при рекомендуемой плотности орошения $6 \leq q \leq 20$ м³/(м²·ч).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кафаров, В. В.** Основы массопередачи / В. В. Кафаров. – Москва: Высшая школа, 1979. – 439 с.
2. Роторный массообменный аппарат вентиляторного типа: пат. ВУ 2605 / В. А. Марков, А. И. Ершов, А. А. Боровик, А. М. Волк. – Оpubл. 30.12.1998.
3. **Волк, А. М.** Тонкодисперсная сепарация жидкости / А. М. Волк // Тр. БГТУ. Сер. 3. Физико-математические науки и информатика. – Минск: БГТУ, 2020. – № 2 (236). – С. 31–36.

УДК 539.3

ВЛИЯНИЕ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЯ НА ПОВЕДЕНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ ПЛАСТИН ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОДВИЖНЫХ СИЛ

В. Т. ГРИШАКИН

Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)
Москва, Россия

Рассматривается динамическое нагружение вязкоупругих пластин классической теории, расположенных на основаниях различных моделей: Винклера, Пастернака и Власова – Леонтьева. Процесс деформирования во всех расчетных случаях возникает в результате действия подвижной силы (рис. 1).

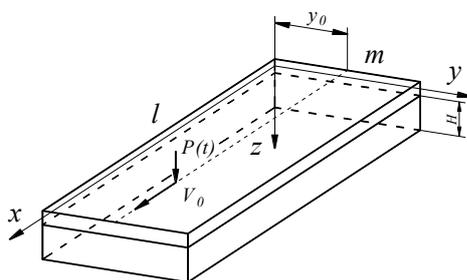


Рис. 1. Схема нагружения пластины на основании

Актуальность работы заключается в том, что в результате проведенного исследования можно разработать рекомендации по выбору модели основания пластины, моделирующей дорожное покрытие, в каждом конкретном расчетном случае. Этот выбор следует сделать исходя из свойств применяемых в строительстве материалов как покрытия, так и его основания, а также требований к точности получаемых результатов. Укажем, что подробный обзор по влиянию подвижных нагрузок на элементы дорожных одежд приведен в [3]. Кроме того, рассмотрение аналогичных задач с описанием примененного к их решению аналитического подхода можно найти в [1].

Рассмотрение поставленной задачи проводится на основе уравнения классической теории, которое приведено в [4]:

$$\left(1 + \alpha \frac{\partial}{\partial t}\right) D \Delta \Delta w(x, y, t) + \rho h \frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial t^2} = q_z(x, y, t), \quad (1)$$

где α – время релаксации деформаций.

Учет реакции основания на нагружаемые пластины выполнен согласно методике, приведенной в [2].

Решение уравнения (1) при нагрузке, учитывающей подвижность силы и реакцию основания, осуществлено с применением рядов Фурье, операционного исчисления и приведено в [5].

Результаты численного эксперимента. Расчеты были проведены для пластины со следующими характеристиками: длина $l = 10$ м; ширина $m = 3,5$ м;

толщина $h = 0,1$ м; плотность материала пластины $\rho = 2250$ кг/м³; модуль упругости материала пластины $E = 3200$ МПа; коэффициент Пуассона материала пластины $\nu = 0,3$; плотность материала основания $\rho_{гр} = 2000$ кг/м³; модуль упругости основания $E_{гр} = 153$ МПа; коэффициент Пуассона материала основания $\nu_{гр} = 0$; величина силы $P = 32$ кН; скорость движения силы $V_0 = 25$ м/с.

На рис. 2 и 3 приведены результаты расчета перемещений точки с координатой $(l/2, m/2)$ для пластин, время релаксации деформации материалов которых $5 \cdot 10^{-4}$ с и $5 \cdot 10^{-3}$ с соответственно. При этом кривая 1 соответствует случаю применения модели основания Винклера, кривая 2 – модели основания Пастернака, кривая 3 – Власова – Леонтьева.

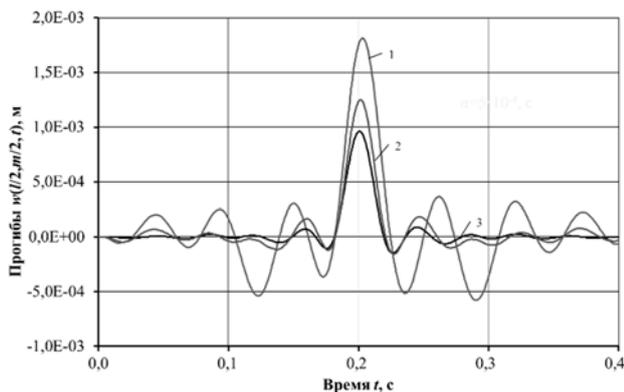


Рис. 2. Прогибы центра пластины на основании моделей Винклера (кривая 1), Пастернака (кривая 2) и Власова – Леонтьева (кривая 3) при $\alpha = 5 \cdot 10^{-4}$ с

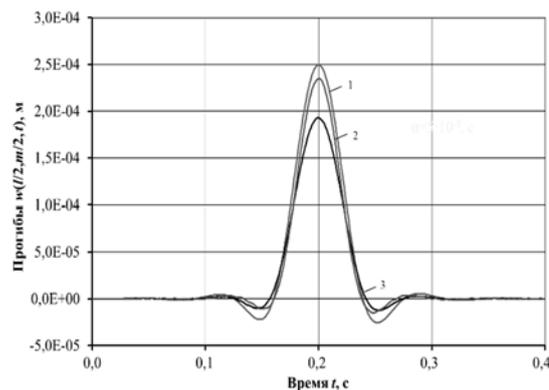


Рис. 3. Прогибы центра пластины на основании моделей Винклера (кривая 1), Пастернака (кривая 2) и Власова – Леонтьева (кривая 3) при $\alpha = 5 \cdot 10^{-3}$ с

Из приведенных результатов исследования очевидна существенная погрешность, получаемая при расчетах, не учитывающих динамическое поведение основания. Однако во втором рассмотренном расчетном случае модель основания Пастернака, не учитывающая инертность материала основания, показывает результаты, максимально приближенные к результатам применения динамической модели Власова – Леонтьева.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Задачи импульсного деформирования элементов конструкций / Е. Г. Янютин [и др.]. – Харьков: ХНАДУ, 2004. – 392 с.
2. Власов, В. З. Балки, плиты и оболочки на упругом основании / В. З. Власов, Н. Н. Леонтьев. – Москва: Физматгиз, 1960. – 492 с.
3. Beskou, N. D. Dynamic effects of moving loads on road pavements: A review / N. D. Beskou, D. D. Theodorakopoulos // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2011. – № 31. – С. 547–567.
4. Василенко, Н. В. Теория колебаний: учебное пособие / Н. В. Василенко. – Киев: Вища школа, 1992. – 430 с.
5. Гринев, В. Б. Идентификация подвижного нагружения, воздействующего на вязкоупругую пластину на упругом основании / В. Б. Гринев, Е. Г. Янютин, В. Т. Гришакин // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт». – 2011. – № 13. – С. 69–74.

УДК 517.956.4

О ПРЕОБРАЗОВАНИИ ОДНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

В. Г. ЗАМУРАЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Одним из методов исследования и решения задач построения оптимальной области [1] для дифференциальных уравнений в частных производных является метод сведения задачи управления областью к задаче управления коэффициентами и правой частью уравнения в фиксированной области. При этом рассматриваемая краевая задача записывается в эквивалентной вариационной формулировке, которая играет существенную роль при изучении задачи управления.

В работе рассматривается краевая задача для уравнения теплопроводности в плоской области, имеющей форму криволинейной трапеции. Для этой задачи может быть поставлена эквивалентная вариационная задача [2]. Предложен метод сведения данной задачи к краевой задаче аналогичного вида в квадратной области.

Рассмотрим ограниченную область

$$\Omega = \{(x, t) \in \mathbb{R}^2 \mid 0 < x < \gamma(t), 0 < t < 1\},$$

где $\gamma(t)$ – заданная на отрезке $[0, 1]$ функция из класса $C^3[0, 1]$, такая, что $0 < \alpha \leq \gamma(t) \leq \beta$ для $t \in [0, 1]$, α, β – некоторые постоянные.

Пусть в области Ω процесс теплопроводности задан следующей системой уравнений:

$$c(x, t) \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(k(x, t) \frac{\partial u}{\partial x} \right) = g(x, t), \quad (x, t) \in \Omega, \quad (1)$$

$$u(x, 0) = \varphi(x), \quad \frac{\partial u}{\partial x}(0, t) = \psi(t), \quad u(\gamma(t), t) = 0, \quad (2)$$

где $c(x, t)$ – заданная в $\bar{\Omega}$ функция из класса $C^1(\bar{\Omega})$, такая, что $0 \leq c(x, t) \leq C$, $(x, t) \in \bar{\Omega}$, C – некоторая постоянная; $k(x, t)$ – заданная в $\bar{\Omega}$ функция из класса $C^2(\bar{\Omega})$, такая, что $0 < k \leq k(x, t) \leq K$, $(x, t) \in \bar{\Omega}$, k, K – некоторые постоянные; $g(x, t)$, $\varphi(x)$, $\psi(t)$ – заданные непрерывные функции.

Умножив обе части уравнения (1) на положительный множитель

$$\mu(x, t) = \gamma^2(t) \exp \left\{ \frac{\gamma'(t)}{\gamma(t)} \int_0^x \frac{c(\bar{x}, t)}{k(\bar{x}, t)} \bar{x} d\bar{x} \right\},$$

заменяем переменные в полученной системе по формулам $x = \gamma(\tau)\xi$, $t = \tau$.

В результате получим систему уравнений вида, аналогичного (1)–(2), задающую процесс теплопроводности в квадратной области $\hat{\Omega}, \hat{\Omega} = (0, 1) \times (0, 1)$:

$$\hat{c}(\xi, \tau) \frac{\partial \hat{u}}{\partial \tau} - \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\hat{k}(\xi, \tau) \frac{\partial \hat{u}}{\partial \xi} \right) = \hat{g}(\xi, \tau), \quad (\xi, \tau) \in \hat{\Omega}, \quad (3)$$

$$\hat{u}(\xi, 0) = \hat{\phi}(\xi), \quad \frac{\partial \hat{u}}{\partial \xi}(0, \tau) = \hat{\psi}(\tau), \quad \hat{u}(1, \tau) = 0, \quad (4)$$

где $\hat{c}(\xi, \tau) = \mu(\gamma(\tau)\xi, \tau)c(\gamma(\tau)\xi, \tau)$; $\hat{k}(\xi, \tau) = \frac{\mu(\gamma(\tau)\xi, \tau)k(\gamma(\tau)\xi, \tau)}{\gamma^2(\tau)}$;

$\hat{g}(\xi, \tau) = \mu(\gamma(\tau)\xi, \tau)g(\gamma(\tau)\xi, \tau)$; $\hat{\phi}(\xi) = \phi(\gamma(0)\xi)$; $\hat{\psi}(\tau) = \gamma(\tau)\psi(\tau)$.

Для возможности корректной вариационной постановки полученной задачи функцию $\hat{c}(\xi, \tau)$ следует считать такой, что выполняется свойство неотрицательности нормы

$$|\hat{u}| = \left(\iint_{\hat{\Omega}} \left\{ \hat{c}(\xi, \tau) \frac{\partial}{\partial \tau} (\hat{u}^2) + \hat{k}(\xi, \tau) \left(\frac{\partial \hat{u}}{\partial \xi} \right)^2 + \frac{1}{\hat{k}(\xi, \tau)} \left(\int_0^{\xi} \hat{c}(\bar{\xi}, \tau) \frac{\partial \hat{u}}{\partial \tau} d\bar{\xi} \right)^2 \right\} d\xi d\tau + \int_0^1 \hat{c}(\xi, 1) \hat{u}^2(\xi, 1) d\xi \right)^{1/2}.$$

Это выполнено, например, если в замкнутой области $\bar{\hat{\Omega}}$ частная производная $\frac{\partial \hat{c}}{\partial \tau}(\xi, \tau) \leq 0$ [2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Neittaanmaki, P. Optimization of Elliptic Systems: Theory and Applications / P. Neittaanmaki, J. Sprekels, D. Tiba. – New York: Springer, 2006. – 523 p.
2. Филиппов, В. М. О квадратичном функционале для уравнения теплопроводности / В. М. Филиппов, А. М. Скороходов // Дифференциальные уравнения. – 1977. – Т. 13, № 6. – С. 1113–1123.

УДК 517.925

О ЗАДАЧЕ ВАЛЛЕ-ПУССЕНА ДЛЯ МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ
ЛЯПУНОВА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ПАРАМЕТРОМ

А. И. КАШПАР

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Исследуется краевая задача типа [1–5]

$$\ddot{X} = A(t)\dot{X} + \dot{X}B(t) + (\lambda A_1(t) + \lambda^2 P(t))X + X(\lambda B_1(t) + \lambda^2 Q(t)) + \\ + \lambda(A_2(t)\dot{X} + \dot{X}B_2(t)) + \lambda F(t), \quad (1)$$

$$X(0, \lambda) = M, \quad X(\omega, \lambda) = N, \quad X \in \mathbb{R}^{n \times m}, \quad (2)$$

где $F(t)$, $P(t)$, $A(t)$, $B(t)$, $A_i(t)$, $B_i(t)$ ($i = 1, 2$), $P(t)$, $Q(t)$ – матрицы класса $C[0, \omega]$ соответствующих размерностей; M, N – заданные вещественные матрицы; $\omega > 0$, $\lambda \in \mathbb{R}$, $\dot{X} = dX/dt$.

С помощью метода [6, гл. 1] получены коэффициентные достаточные условия однозначной разрешимости задачи (1), (2) и алгоритм построения решения.

Обозначения: Φ – линейный оператор, $\Phi Z(t) = \int_0^\omega U(\tau)Z(\tau)V(\tau)d\tau$, $\gamma = \|\Phi^{-1}\|$,

$$\alpha_i = \max_{0 \leq t \leq \omega} \|A_i(t)\|, \quad \beta_i = \max_{0 \leq t \leq \omega} \|B_i(t)\|, \quad \delta_1 = \max_{0 \leq t \leq \omega} \|P(t)\|, \quad \delta_2 = \max_{0 \leq t \leq \omega} \|Q(t)\|,$$

$$\lambda_U = \max_{0 \leq \tau \leq t \leq \omega} \|U(t)U^{-1}(\tau)\|, \quad \lambda_V = \max_{0 \leq \tau \leq t \leq \omega} \|V^{-1}(\tau)V(t)\|, \quad \varepsilon = |\lambda|; \quad a = \varepsilon a_0 + \varepsilon^2 a_1, \quad b = \varepsilon b_0,$$

$K_U(\tau, s) = U(\tau)U^{-1}(s)$, $K_V(s, \tau) = V^{-1}(s)V(\tau)$, $U(t)$, $V(t)$ – интегральные матрицы уравнений $\dot{U} = A(t)U$, $U(0) = E_n$, $\dot{V} = VB(t)$, $V(0) = E_m$, $E_k = \text{diag}(1, 1, \dots, 1)$, $\|\cdot\|$ – норма матриц, определяемая в рамках конечномерной банаховой алгебры $\mathcal{B}(n)$

непрерывных матричнозначных функций, где $a_0 = \frac{1}{3}\gamma\omega^3\lambda_U^2\lambda_V^2(\alpha_1 + \beta_1)$,

$$a_1 = \frac{1}{3}\gamma\omega^3\lambda_U^2\lambda_V^2(\delta_1 + \delta_2), \quad b_0 = \frac{1}{2}\gamma\omega^2\lambda_U^2\lambda_V^2(\alpha_2 + \beta_2).$$

Задача (1), (2) по методике [6] сведена к эквивалентной системе интегральных уравнений

$$X(t, \lambda) = M + \int_0^t Y(\tau, \lambda)d\tau,$$

$$Y(t, \lambda) = U(t)(\Phi^{-1}(N - M))V(t) +$$

$$+ U(t)\Phi^{-1}\left(\int_0^\omega U(\tau)\left(\int_\tau^t U^{-1}(s)H(s, \lambda)V^{-1}(s)ds\right)V(\tau)d\tau\right)V(t),$$

где $H(t, \lambda) = (\lambda A_1(t) + \lambda^2 P(t))X + X(\lambda B_1(t) + \lambda^2 Q(t)) + \lambda(A_2(t)Y + YB_2(t)) + \lambda F(t)$.

Теорема. Пусть оператор Φ однозначно обратим. Тогда при

$$|\lambda| < \varepsilon_0 = \frac{2}{a_0 + b_0 + \sqrt{(a_0 + b_0)^2 + 4a_1}} \quad (3)$$

задача (1), (2) однозначно разрешима.

Решение задачи строится в виде

$$X(t, \lambda) = X_0(t) + \lambda X_1(t) + \dots + \lambda^k X_k(t) + \dots, \quad (4)$$

$$Y(t, \lambda) = Y_0(t) + \lambda Y_1(t) + \dots + \lambda^k Y_k(t) + \dots; \quad (5)$$

тогда $H(t, \lambda) = \lambda H_1(t) + \lambda^2 H_2(t) + \dots$

На основе (4), (5) из системы интегральных уравнений имеем

$$X_0(t) = M + \int_0^t U(\tau) \Phi^{-1} (N - M) V(\tau) d\tau, \quad Y_0(t) = U(t) (\Phi^{-1} (N - M)) V(t),$$

$$X_m(t) = \int_0^t U(\varphi) \Phi^{-1} \left(\int_0^\omega \left(\int_\tau^\varphi K_U(\tau, s) H_m(s) K_V(s, \tau) ds \right) d\tau \right) V(\varphi) d\varphi,$$

$$Y_m(t) = U(t) \Phi^{-1} \left(\int_0^\omega \left(\int_\tau^t K_U(\tau, s) H_m(s) K_V(s, \tau) ds \right) d\tau \right) V(t), \quad m = 1, 2, \dots$$

Доказано, что соотношение (3) представляет собой условие равномерной сходимости по $t \in [0, \omega]$ рядов (4), (5) в области значений параметра $|\lambda| < \varepsilon_0$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ краевой задачи Валле-Пуссена для линейного матричного уравнения Ляпунова второго порядка / В. Н. Лаптинский, А. И. Кашпар. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2015. – Ч. 1. – 48 с. – (Препринт / Ин-т технол. металлов НАН Беларуси; № 35).
2. **Кашпар, А. И.** О построении решения краевой задачи Валле-Пуссена для линейного матричного уравнения Ляпунова второго порядка / А. И. Кашпар // Весн. МДУ імя А. А. Куляшова. Сер. В. Прыродазнаўчыя навукі (матэматыка, фізіка, біялогія). – 2018. – № 2. – С. 45–54.
3. **Кашпар, А. И.** О разрешимости и построении решения задачи Валле-Пуссена для матричного уравнения Ляпунова второго порядка с параметром / А. И. Кашпар, В. Н. Лаптинский // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 50–61.
4. **Кашпар, А. И.** Разрешимость и построение решения краевой задачи Валле-Пуссена для нелинейного матричного уравнения Ляпунова второго порядка / А. И. Кашпар, В. Н. Лаптинский // Дифференциальные уравнения. – 2020. – Т. 56, № 5. – С. 570–583.
5. **Кашпар, А. И.** К задаче Валле-Пуссена для матричного уравнения Ляпунова второго порядка с параметром / А. И. Кашпар // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 апр. 2019 г. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 517–518.
6. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск: ИМ НАН Беларуси, 1998.

УДК 533.6

СТРУКТУРА ПО ПРАНДТЛЮ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
О ДИНАМИЧЕСКОМ ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

В. Н. ЛАПТИНСКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Исследуется система соотношений

$$u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dx} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0, \quad (2)$$

$$u_x|_{y=0} = 0, \quad u_y|_{y=0} = 0; \quad u_x|_{y=\delta(x)} = U(x), \quad (3)$$

представляющая собой задачу Прандтля о динамическом турбулентном пограничном слое конечной толщины $\delta(x)$ в случае стационарного плоского течения несжимаемой жидкости (см., например, [1, с. 521], [2, с. 368]), при этом в турбулентном напряжении трения $\tau = \tau_l + \tau_t$ турбулентная составляющая τ_t , согласно Прандтлю, принята в виде

$$\tau_t = \rho \kappa^2 y^2 \left| \frac{\partial u_x}{\partial y} \right| \frac{\partial u_x}{\partial y}, \quad (4)$$

где τ_l – ламинарная составляющая напряжения трения. Искомыми величинами являются функции $\delta(x)$ и $\tau_0(x)$ – касательное напряжение.

В случае ламинарного течения в [3] по методике [4] получены точные формулы для $\delta(x)$, $\tau_0(x)$. В [5] тем же методом выведены соотношения для $\delta(x)$, $\tau_0(x)$, содержащие нелинейный интегральный функционал (функционал Прандтля), определяемый на основе соответствующего профиля скоростей [6]. В [7] этот функционал исключен из этих соотношений, но с использованием эмпирически определяемого сопротивления трения пластины конечной длины.

В данной работе, являющейся развитием и продолжением [3–5, 7, 8], на основе (1)–(4) с использованием величины ударной вязкости пограничного слоя установлена структура функций $\delta(x)$, $\tau_0(x)$ в следующем виде:

$$\delta(x) = \frac{\nu}{U(x)} h_{\delta}, \quad (5)$$

$$\tau_0(x) = \rho U^2(x) h_{\tau}, \quad (6)$$

где

$$h_{\delta} = \frac{(c_{\tau} - c_l) c_l}{\kappa^2 c_l}; \quad (7)$$

$$h_{\tau} = \frac{\kappa^2 c_l}{(c_{\tau} - c_l) c_l^2}, \quad (8)$$

здесь $c_{\tau} = c_{\tau}(x)$, $c_l = c_l(x)$, $c_l = c_l(x)$ – структурные функции, определяемые на основе безразмерных интегральных средних на промежутке $[0, \delta(x)]$ соответственно напряжений трения τ, τ_l, τ_l . Заметим, что величины $\delta, \tau_0, h_{\delta}, h_{\tau}$ связаны соотношениями $\delta^2 \tau_0 = \nu \mu h_{\delta}^2 h_{\tau}$, $h_{\delta} h_{\tau} = 1/c_l$, определяющими структурные свойства решения задачи (1)–(3).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – Москва: Наука, 1974.
2. Емцев, Б. Т. Техническая гидромеханика / Б. Т. Емцев. – Москва: Машиностроение, 1987.
3. Лаптинский, В. Н. Точное решение задачи Прандтля о динамическом ламинарном пограничном слое / В. Н. Лаптинский // Дифференциальные уравнения. – 2020. – Т. 56, № 4. – С. 549–552.
4. Лаптинский, В. Н. Об одном аналитическом методе решения задачи о динамическом ламинарном пограничном слое в автомодельном случае / В. Н. Лаптинский // Ученые записки ЦАГИ. – 2013. – Т. XLIV, № 5. – С. 72–93.
5. Лаптинский, В. Н. К решению задачи о динамическом турбулентном пограничном слое / В. Н. Лаптинский // Еругинские чтения – 2019: материалы XIX Междунар. науч. конф. по дифференц. уравнениям, Могилев, 14–17 мая 2019 г.: в 2 ч. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2019. – Ч. 2. – С. 82–84.
6. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике / В. С. Авдеевский [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1975. – 624 с.
7. Лаптинский, В. Н. Замкнутое решение задачи Прандтля о динамическом турбулентном пограничном слое / В. Н. Лаптинский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 23–24 апр. 2020 г. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 487.
8. Лаптинский, В. Н. Конструктивный метод анализа задачи о ламинарном пограничном слое и его применение к расчету охлаждающей способности кристаллизаторов при непрерывном литье / В. Н. Лаптинский. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2010. – 28 с. – (Препринт ИТМ НАН Беларуси; № 18 (Ч. II)).

УДК 533.6

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ДИНАМИЧЕСКОМ
ЛАМИНАРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ В АВТОМОДЕЛЬНОМ СЛУЧАЕ

В. Н. ЛАПТИНСКИЙ, А. А. РОМАНЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В данной работе, являющейся продолжением и развитием [1–3], рассматривается задача (см., например, [4, с. 160; 5, с. 177]) о динамическом ламинарном пограничном слое для течения вязкой жидкости вдоль плоской пластины

$$f''' + a f f'' + b(1 - f'^2) = 0, \quad (1)$$

$$f(0) = f'(0) = 0, \quad f'(\infty) = 1, \quad (2)$$

где $f' = df(\eta)/d\eta$, $a = (m+1)/2$, $b = m$; m – параметр, характеризующий скорость $U(x) = U_0 x^m$ внешнего течения.

Задача (1), (2) не имеет точного решения, однако играет важную роль в теории и приложениях пограничного слоя. Ее решают в основном численными методами. Очевидно, аналитические методы предпочтительнее численных, поскольку позволяют изучить влияние физических параметров задачи на формирование пограничного слоя. Эффективное (в смысле простоты и точности) приближенное аналитическое решение этой задачи получено [1] только в случае пластины, обтекаемой в продольном направлении ($m = 0$) – безградиентное обтекание.

Для случая градиентного обтекания и значений $m \in [0, 1/3)$ получено приемлемое для практических расчетов [4] приближенное аналитическое решение $f(\eta)$ задачи (1), (2) в виде

$$f(\eta) \approx \lambda \int_0^\eta (\eta - \tau) \exp \left(- \left(\frac{b}{\lambda} \tau + \left(\frac{b}{\lambda} \right)^2 \frac{\tau^2}{2!} + \left(2 \left(\frac{b}{\lambda} \right)^3 + (a - 2b) \lambda \right) \frac{\tau^3}{3!} \right) \right) d\tau, \quad (3)$$

где $\lambda(m)$ – трехчлен, определяемый соотношением

$$\lambda(m) = 0,33532 + 1,722757m - 1,388347m^2. \quad (4)$$

Отметим, что в [2] приближенное решение задачи (1), (2) получено в виде (3), при этом значения λ вычисляются из трансцендентного уравнения

$$\lambda \int_0^\infty \exp \left(- \left(\frac{b}{\lambda} \tau + \left(\frac{b}{\lambda} \right)^2 \frac{\tau^2}{2!} + \left(2 \left(\frac{b}{\lambda} \right)^3 + (a - 2b) \lambda \right) \frac{\tau^3}{3!} \right) \right) d\tau - 1 = 0. \quad (5)$$

Для иллюстрации полученных приближенных решений на рис. 1 приведены графики точного (численного) решения задачи (1), (2) для функции $f(\eta)$ и ее первых двух производных, а также графики приближенных решений (3), (4) и (3), (5) и соответствующих производных для $m = 0,2$. Расчёты выполнены для практически значимого промежутка $0 \leq \eta \leq 5$.

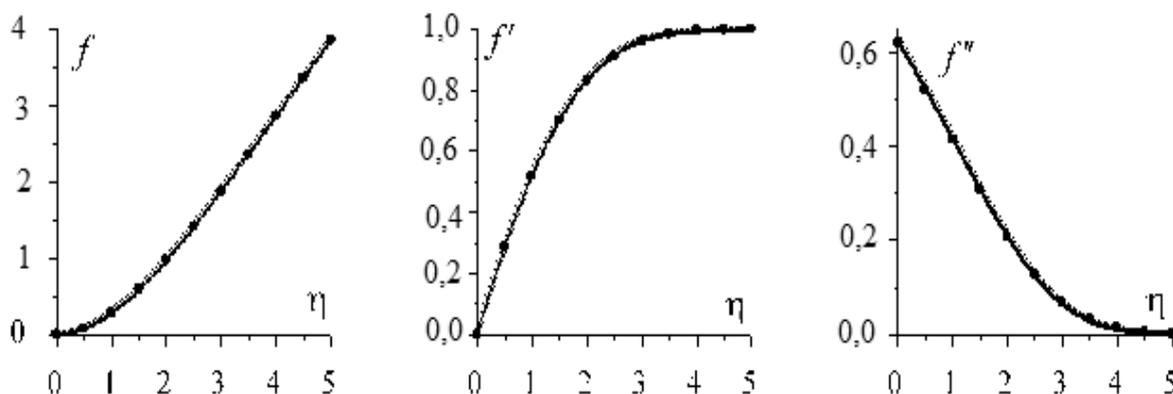


Рис. 1. Графики $f(\eta)$, $f'(\eta)$ и $f''(\eta)$ для $m = 0,2$. Точки соответствуют точному решению; сплошная тонкая линия – приближению (3), (5); линии, помеченные штрихами, – приближению (3), (4)

Из графиков видно, что приближенные решения (3), (4) и (3), (5) и их производные визуально неразличимы и практически не отличаются от точного решения. Очевидно, решение (3), (4) значительно проще решения (3), (5).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лаптинский, В. Н.** К решению задачи о динамическом ламинарном пограничном слое в автомодельном случае / В. Н. Лаптинский, А. А. Романенко // Еругинские чтения – 2014: материалы XVI Междунар. науч. конф. по дифференц. уравнениям, Новополоцк, 20–22 мая 2014 г.: в 2 ч. – Минск: Нац. акад. наук Беларуси; Ин-т математики, 2014. – Ч. 2. – С. 65–66.
2. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный метод анализа задачи о ламинарном пограничном слое и его применение к расчету охлаждающей способности кристаллизаторов при непрерывном литье / В. Н. Лаптинский. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 28 с. – (Препринт ИТМ НАН Беларуси; № 18 (Ч. II)).
3. **Лаптинский, В. Н.** Об одном аналитическом методе решения задачи о динамическом ламинарном пограничном слое в автомодельном случае / В. Н. Лаптинский // Ученые записки ЦАГИ. – 2013. – Т. XLIV, № 5. – С. 72–93.
4. **Шлихтинг, Г.** Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – Москва: Наука, 1974. – 712 с.
5. Теория теплообмена: учебник для вузов / С. И. Исаев [и др.]; под ред. А. И. Леонтьева. – Москва: Высшая школа, 1979. – 495 с.

УДК 517.927.4

О ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЯХ УРАВНЕНИЯ ЛЯПУНОВА
ВТОРОГО ПОРЯДКА С ПАРАМЕТРОМ

В. А. ЛИВИНСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Исследуется задача о периодических решениях с периодом ω уравнения типа [1–5]

$$\ddot{X} = \lambda A(t)X + \lambda^3(P(t)X + XB(t)) + F_0(t) + \lambda F_1(t) + \lambda^2 F_2(t), \quad X \in \mathbb{R}^{n \times m}, \quad (1)$$

где $A(t)$, $B(t)$, $P(t)$, $F_i(t)$ ($i = 0, 1, 2$) – непрерывные ω -периодические матрицы соответствующих размерностей; $\lambda \in \mathbb{R}$; $\dot{X} = dX/dt$.

С помощью метода [6, гл. II] получены коэффициентные достаточные условия однозначной разрешимости задачи, оценка области локализации и алгоритм построения решения.

Уравнение (1) сводится к эквивалентной системе матричных дифференциальных уравнений

$$dX/dt = Y, \quad (2)$$

$$dY/dt = \lambda A(t)X + \lambda^3(P(t)X + XB(t)) + F_0(t) + \lambda F_1(t) + \lambda^2 F_2(t). \quad (3)$$

Таким образом, вместо исходной задачи исследуется периодическая краевая задача для (2), (3) с условиями

$$X(0, \lambda) = X(\omega, \lambda), \quad Y(0, \lambda) = Y(\omega, \lambda). \quad (4)$$

Задача (2)–(4) сведена к эквивалентной системе матричных интегральных уравнений, в которой применена модификация обобщенного принципа сжимающих отображений [7].

Приняты следующие обозначения:

$$\tilde{A}(\omega) = \int_0^{\omega} A(\tau) d\tau, \quad \gamma = \|\tilde{A}^{-1}(\omega)\|, \quad \varepsilon = |\lambda|, \quad \alpha = \max_t \|A(t)\|, \quad \beta = \max_t \|B(t)\|,$$

$$\mu = \max_t \|P(t)\|, \quad h_i = \max_t \|F_i(t)\|, \quad q_1 = \frac{1}{4} \gamma \alpha^2 \omega^3 + \gamma(\beta + \mu)\omega, \quad q_2 = \frac{1}{4} \gamma \alpha(\beta + \mu)\omega^3,$$

$$q(\varepsilon) = \varepsilon q_1 + \varepsilon^3 q_2, \quad K(\varepsilon) = \frac{1}{2} \varepsilon \omega [\alpha + \varepsilon^2(\beta + \mu)], \quad H(\varepsilon) = \gamma \omega \left(\frac{1}{4} \alpha \omega^2 + \frac{1}{\varepsilon} \right) (h_0 + \varepsilon h_1 + \varepsilon^2 h_2),$$

где $t \in [0, \omega]$, $\|\cdot\|$ – согласованная норма матриц.

Теорема. Пусть выполнены условия $\det \tilde{A}(\omega) \neq 0$, $0 < \varepsilon q_1 + \varepsilon^3 q_2 < 1$. Тогда решение $X(t, \lambda), Y(t, \lambda)$ задачи (2)–(4) существует и единственно; оно представимо в виде

$$X(t, \lambda) = \sum_{k=0}^{\infty} \lambda^{k-1} X_{k-1}(t), \quad (5)$$

$$Y(t, \lambda) = \sum_{k=0}^{\infty} \lambda^k Y_k(t), \quad (6)$$

где матрицы $X_{k-1}(t), Y_k(t)$ строятся по алгоритму типа [1, 2].

На основе методики, используемой в [1–5], изучены вопросы сходимости, скорости сходимости рядов (5), (6), при этом получены оценки

$$\|X(t, \lambda)\| \leq \frac{H(\varepsilon)}{1 - q(\varepsilon)}, \quad \|Y(t, \lambda)\| \leq \frac{K(\varepsilon)H(\varepsilon)}{1 - q(\varepsilon)} + \frac{1}{2} \omega (h_0 + \varepsilon h_1 + \varepsilon^2 h_2).$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лаптинский, В. Н.** Об аналитической структуре периодических решений матричного дифференциального уравнения типа Ляпунова / В. Н. Лаптинский, В. А. Ливинская // Дифференциальные уравнения. – 2000. – Т. 36, № 9. – С. 1290–1291.
2. **Лаптинский, В. Н.** К теории периодических решений матричного дифференциального уравнения второго порядка типа Ляпунова / В. Н. Лаптинский, В. А. Ливинская // Дифференциальные уравнения. – 2002. – Т. 38, № 8. – С. 1133–1134.
3. **Ливинская, В. А.** К построению периодических решений матричного уравнения Ляпунова второго порядка с параметром / В. А. Ливинская // Еругинские чтения – 2014: материалы XVI Междунар. науч. конф. по дифференц. уравнениям, Новополоцк, 20–22 мая 2014 г. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2014. – С. 66–67.
4. **Ливинская, В. А.** К теории периодических решений матричного уравнения Ляпунова второго порядка с параметром / В. А. Ливинская // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 521–522.
5. **Ливинская, В. А.** О периодических решениях матричного уравнения Ляпунова второго порядка с параметром / В. А. Ливинская // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 493–494.
6. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск: ИМ НАН Беларуси, 1998.
7. Приближенное решение операторных уравнений / М. А. Красносельский [и др.]. – Москва: Наука, 1969. – 456 с.

УДК 517.927.4

К АНАЛИЗУ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ
ДЛЯ МАТРИЧНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО
УРАВНЕНИЯ ЛЯПУНОВА – РИККАТИ

О. А. МАКОВЕЦКАЯ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Будем рассматривать задачу

$$\frac{dX}{dt} = A(t)X + XB(t) + Q_1(t)XQ_2(t)XQ_3(t) + \lambda F(t, X), \quad X(t, \lambda) \in \mathbb{R}^{n \times n}, \quad (1)$$

$$X(0, \lambda) = X(\omega, \lambda), \quad (2)$$

где $t \in I$, $A, B, Q_i \in \mathbb{C}(I, \mathbb{R}^{n \times n})$ $i = \overline{1, 3}$, $F \in \mathbb{C}(D_{\tilde{\rho}}, \mathbb{R}^{n \times n})$. Будем считать, что матрица-функция $F(t, X)$ в $D_{\tilde{\rho}} \{(t, X) : t \in I, \|X\| \leq \tilde{\rho}\}$ удовлетворяет относительно X локальному условию Липшица; $F(t, 0) \neq 0$; $I = [0, \omega]$, $\omega > 0$, $0 < \tilde{\rho} \leq \infty$, $\lambda \in \mathbb{R}$.

В данной работе развиты полученные в [1–3] результаты. Методологическую основу исследования представляют конструктивные методы, изложенные в [4].

Воспользуемся обозначениями:

$$D_{\rho} = \{(t, X) : 0 \leq t \leq \omega, \|X\| \leq \rho\}, \quad M = \int_0^{\omega} A(\tau) d\tau, \quad N = -\int_0^{\omega} B(\tau) d\tau, \quad \gamma = \|\Phi^{-1}(\omega)\|,$$

$$\alpha = \max_t \|A(t)\|, \quad \beta = \max_t \|B(t)\|, \quad \delta_i = \max_t \|Q_i(t)\| \quad (i = \overline{1, 3}), \quad h = \max_t \|F(t, 0)\|,$$

$$\varepsilon = |\lambda|, \quad q(\rho, \varepsilon) = q_1(\rho) + q_2(\rho)\varepsilon, \quad \varphi(\rho, \varepsilon) = \varphi_1(\rho) + \varphi_2(\rho)\varepsilon,$$

$$q_1(\rho) = \gamma\delta\omega[(\alpha + \beta)\omega + 2]\rho + \frac{1}{2}\gamma\omega^2(\alpha + \beta)^2, \quad q_2(\rho) = \gamma\omega L\left[1 + \frac{1}{2}(\alpha + \beta)\omega\right],$$

$$\varphi_1(\rho) = \gamma\delta\omega\left[1 + \frac{1}{2}(\alpha + \beta)\omega\right]\rho^2 + \frac{1}{2}\gamma\omega^2(\alpha + \beta)^2\rho,$$

$$\varphi_2(\rho) = \left[1 + \frac{1}{2}(\alpha + \beta)\omega\right](L + h)\gamma\omega, \quad \varepsilon_1 = \frac{\rho - \varphi_1(\rho)}{\varphi_2(\rho)}, \quad \varepsilon_2 = \frac{\rho - q_1(\rho)}{q_2(\rho)}, \quad \varepsilon_0 = \min\{\varepsilon_1, \varepsilon_2\},$$

где $\delta = \delta_1\delta_2\delta_3$, $0 < \rho < \tilde{\rho}$, $t \in I$, $L = L(\rho) > 0$ – постоянная Липшица для $F(t, X)$ в области D_{ρ} , Φ – линейный оператор, $\Phi Z = MZ - ZN$, $\|\cdot\|$ – матричная норма.

Теорема. Если матрицы M, N не имеют общих характеристических чисел, $\varphi_1(\rho) < \rho$, $q_2(\rho) < 1$, то в случае $|\lambda| \leq \varepsilon_0$ решение задачи (1), (2) в области D_ρ существует и единственно и удовлетворяет неравенству $\|X\|_C \leq \varphi(\rho, \varepsilon)$.

Предлагается строить решение задачи (1), (2) с помощью следующего алгоритма с неявной вычислительной схемой:

$$\begin{aligned}
 X_k(t, \lambda) = & \Phi^{-1} \left\{ \int_0^\omega A(\tau) d\tau \left(\int_\tau^t [A(\sigma) X_{k-1}(\sigma, \lambda) + X_{k-1}(\sigma, \lambda) B(\sigma) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + Q_1(\sigma) X_{k-1}(\sigma, \lambda) Q_2(\sigma) X_{k-1}(\sigma, \lambda) Q_3(\sigma) + \lambda F(\sigma, X_{k-1}(\sigma, \lambda)) \right] d\sigma \right) d\tau + \\
 & + \int_0^\omega \left(\int_\tau^t [A(\sigma) X_{k-1}(\sigma, \lambda) + X_{k-1}(\sigma, \lambda) B(\sigma) + Q_1(\sigma) X_{k-1}(\sigma, \lambda) Q_2(\sigma) X_{k-1}(\sigma, \lambda) Q_3(\sigma) + \right. \\
 & \left. + \lambda F(\sigma, X_{k-1}(\sigma, \lambda)) \right] d\sigma \Big) B(\tau) d\tau - \\
 & \left. - \int_0^\omega [Q_1(\tau) X_k(\tau, \lambda) Q_2(\tau) X_k(\tau, \lambda) Q_3(\tau) + \lambda F(\tau, X_k(\tau, \lambda))] d\tau \right\}, \quad k = 1, 2, \dots, \quad (3)
 \end{aligned}$$

в котором начальное приближение X_0 является постоянной $C = C(\lambda)$. Отыскать константу C можно как решение матричного уравнения

$$C = -\Phi^{-1} \int_0^\omega [Q_1(\tau) C Q_2(\tau) C Q_3(\tau) + \lambda F(\tau, C)] d\tau,$$

которое имеет единственное решение, подчиненное неравенству $\|C\| \leq \rho$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Маковецкая, О. А.** Построение и структурные свойства решений периодической краевой задачи для обобщения матричных уравнений Ляпунова и Риккати / О. А. Маковецкая, В. Н. Лаптинский // Дифференциальные уравнения. – 2018. – Т. 54, № 7. – С. 937–928.
2. **Маковецкая, О. А.** К конструктивному анализу периодической краевой задачи для матричного уравнения Ляпунова – Риккати с параметром / О. А. Маковецкая // Еругинские чтения – 2019: материалы Междунар. науч. конф. по дифференц. уравнениям, Могилев, 12–14 мая 2019 г.: в 2 ч. – Могилев, 2019. Ч. 1 – С. 83–84.
3. **Маковецкая, О. А.** К периодической краевой задаче для матричного уравнения Ляпунова – Риккати / О. А. Маковецкая // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Могилев, 2020. – С. 495–496.
4. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск: ИМ НАН Беларуси, 1998. – 300 с.

УДК 517.927.4

К РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ДВУХТОЧЕЧНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ ЛЯПУНОВА С ПАРАМЕТРОМ

И. И. МАКОВЕЦКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В данной работе исследуется задача

$$\frac{dX}{dt} = A(t)X + Q(t)XB(t) + F_0(t, X) + \lambda F_1(t, X), \quad X \in \mathbb{R}^{n \times n}, \quad (1)$$

$$MX(0) + NX(\omega) = 0, \quad (2)$$

где $A, B, Q \in \mathbb{C}(I, \mathbb{R}^{n \times n})$, $F_i \in \mathbb{C}(D_{\tilde{\rho}}, \mathbb{R}^{n \times n})$, $I = [0, \omega]$, $D_{\tilde{\rho}} = \{(t, X) : t \in I, \|X\| < \tilde{\rho}\}$, $\omega > 0$, $0 < \tilde{\rho} \leq \infty$, M, N – постоянные $n \times n$ -матрицы; функции $F_i(t, X)$ удовлетворяют в $D_{\tilde{\rho}}$ относительно X условию Липшица (локально); $F_0(t, 0) \neq 0$, $\lambda \in \mathbb{R}$.

С помощью качественных методов аналогичная задача исследовалась в [1]. В настоящей работе развиты подходы, отраженные в [2; 3, гл. 1]. На основе конструктивного метода [4, гл. 1] по исходным данным задачи сформулированы достаточные условия однозначной разрешимости, а также алгоритм построения решения и оценка, дающая область локализации этого решения.

Примем следующие обозначения:

$$D_{\rho} = \{(t, X) : t \in I, \|X\| \leq \rho\}, \quad \lambda_1 = \max_t \|U(t)\|, \quad \lambda_2 = \max_t \|U^{-1}(t)\|, \quad \Phi = P + E,$$

$$P = U^{-1}(\omega)N^{-1}M, \quad \beta = \max_t \|B(t)\|, \quad r = \max_t \|Q(t)\|, \quad \gamma = \|\Phi^{-1}\|, \quad m = \max\{\|P\|, 1\},$$

$$h_i = \max_t \|F_i(t, 0)\|, \quad a_0 = \gamma \lambda_0 m \omega (\beta r + L_0), \quad a_1 = \gamma \lambda_0 m \omega L_1, \quad b_0 = \gamma \lambda_0 m \omega h_0, \quad b_1 = \gamma \lambda_0 m \omega h_1,$$

$$q = a_0 + \varepsilon a_1, \quad p = b_0 + \varepsilon b_1, \quad F(t, X, \lambda) = F_0(t, X) + \lambda F_1(t, X),$$

$$L = L_0 + \varepsilon L_1, \quad h = h_0 + \varepsilon h_1, \quad \varepsilon = |\lambda|, \quad \varepsilon_0 = \frac{\rho(1 - a_0) - b_0}{\rho a_1 + b_1},$$

где $t \in I$, $0 < \rho < \tilde{\rho}$, $\lambda_0 = \lambda_1 \lambda_2$, $L_i = L_i(\rho > 0)$ – постоянные Липшица для $F_i(t, X)$ в D_{ρ} .

Лемма. Потребуем выполнения условий: 1) $\det N \neq 0$, 2) $\det \Phi \neq 0$, 3) $q < 1$, 4) $p / (1 - q) \leq \rho$. Тогда решение задачи (1), (2) в области D_{ρ} существует и

единственно и его можно представить в виде предела равномерно сходящейся последовательности матричных функций, удовлетворяющих условию (2) теоремы, при этом решение удовлетворяет оценке

$$\|X\|_{\mathbb{C}} \leq \frac{P}{1-q}.$$

Теорема. Пусть выполнены условия 1) и 2) леммы, а также неравенства $a_0 < 1$, $b_0 / (1-q) < \rho$. Тогда, если $|\lambda| \leq \varepsilon_0$, решение задачи (1), (2) в области D_ρ существует и единственно. Решение $X(t, \lambda)$ может быть представлено как предел равномерно сходящейся последовательности матричных функций, определяемых рекуррентным интегральным соотношением и удовлетворяющих условию (2), при этом справедливы оценки

$$\|X(t, \lambda)\| \leq \frac{P}{1-q}, \quad \|X(t, \lambda) - X(t, 0)\| \leq \frac{\varepsilon(a_1 \|X_0\|_{\mathbb{C}} + b_1)}{1-q}.$$

Рекуррентное интегральное соотношение имеет вид:

$$X_{k+1}(t, \lambda) = U(t) \Phi^{-1} \left[P \int_0^t U^{-1}(\tau) (Q(\tau) X_k(\tau, \lambda) B(\tau) + F(\tau, X_k(\tau, \lambda), \lambda)) d\tau - \int_t^\infty U^{-1}(\tau) (Q(\tau) X_k(\tau, \lambda) B(\tau) + F(\tau, X_k(\tau, \lambda), \lambda)) d\tau \right], \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (3)$$

где $X_0(t, \lambda)$ – произвольная матрица из \mathbb{C} , принадлежащая шару $\|X\|_{\mathbb{C}} \leq \rho$.

Скорость сходимости алгоритма (3) характеризуется оценкой

$$\|X_k - X\|_{\mathbb{C}} \leq q^k \frac{\|X_1 - X_0\|_{\mathbb{C}}}{1-q}, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

которую можно уточнить, приняв $X_0 \equiv 0$:

$$\|X_k - X\|_{\mathbb{C}} \leq q^k \frac{P}{1-q}.$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Murty, K. N.** Two (multi) point nonlinear Lyapunov systems – existence and uniqueness / K. N. Murty, G. W. Howell, S. Sivasundaram // Journal of mathematical analysis and applications. – 1992. – P. 505–515.
2. **Маковецкий, И. И.** Левосторонняя регуляризация двухточечной краевой задачи для матричного уравнения Ляпунова с параметром / И. И. Маковецкий // Еругинские чтения – 2019: материалы Междунар. научн. конф. по дифференц. уравнениям, Могилев, 12–14 мая 2019 г.: в 2 ч. – Могилев, 2019. – С. 85–86.
3. **Лаптинский, В. Н.** Матричные дифференциальные уравнения Ляпунова и Риккати / В. Н. Лаптинский, И. И. Маковецкий, В. В. Пугин. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2012. – 167 с.
4. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск: ИМ НАН Беларуси, 1998. – 300 с.

УДК 535

К ПРОБЛЕМЕ ОПИСАНИЯ ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОГО ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА ОТ ПРИЗМЫ

И. У. ПРИМАК, А. В. ХОМЧЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рассмотрена задача об описании отражения излучения от призмы, находящейся внутри резонатора He-Ne лазера (рис.1).

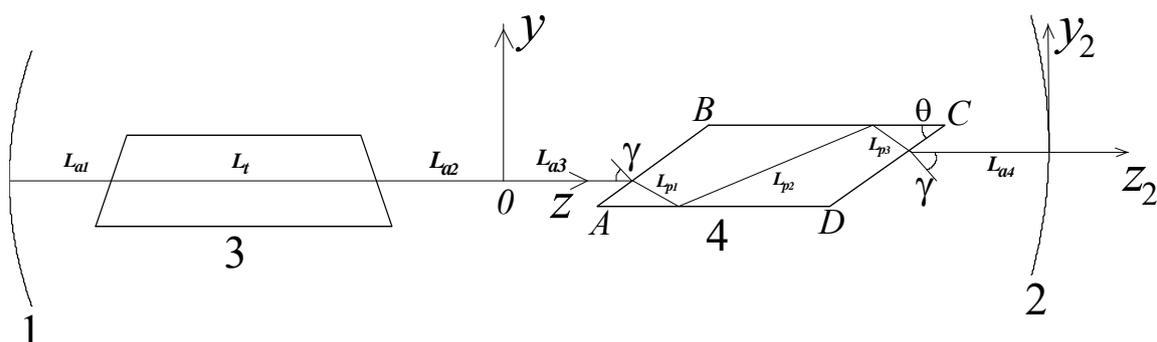


Рис. 1. Схема рассматриваемого лазерного резонатора: 1 – глухое зеркало; 2 – выходное зеркало; 3 – кювета (газоразрядная трубка He-Ne лазера); 4 – призма

В простейших случаях расчет излучения в резонаторе основывается на матричном описании, использовании метода последовательных приближений [1, 2]. При этом начальное приближение для электромагнитных полей получается при решении однородного волнового уравнения Гельмгольца (случай пустого резонатора). Последующие приближения находят при решении неоднородного уравнения Гельмгольца, которое описывает нелинейный процесс усиления [1, 2].

Решение однородного волнового уравнения Гельмгольца в рассматриваемой ситуации имеет ряд следующих особенностей.

Присутствие в резонаторе кюветы 3 и призмы 4 (см. рис.1) с ориентированными поверхностями под углом Брюстера к падающему излучению [3] означает, что излучение в резонаторе имеет ТМ-поляризацию.

Как известно, приближенным решением однородного волнового уравнения Гельмгольца являются полиномы Эрмита – Гаусса и в соответствии с [1] для электромагнитного поля в резонаторе можно рассматривать одномодовое приближение, т. к. призма является амплитудным корректором (осуществляет селекцию мод) [3].

В этой ситуации поле основной моды резонатора представляется в виде двух волн, распространяющихся в противоположных направлениях. В качестве волны, бегущей к зеркалу 2, рассматривался гауссов пучок вида

$$\psi_p(x, y, 0) = Ae^{-(x^2+y^2)/w_0^2},$$

где ψ_p – компонента магнитного поля, $\psi_p = H_x$; A – амплитуда пучка; w_0 – наименьший радиус пучка. Применяя разложения Фурье для поля [4], учитывая отражение пучка от граней призмы 4 (в приближении широкого пучка) и зеркал 1 и 2 (см. рис.1), было найдено распределение поля моды в резонаторе в начальном приближении.

Следующее приближение для поля основной моды в резонаторе было получено при решении неоднородного уравнения Гельмгольца в области кюветы (на рис. 1 область $-L_{a2} - L_T \leq z \leq -L_{a2}$) и последующем учете отражения пучка от граней призмы 4. При этом так как среда в кювете является слабонеоднородной [1], то амплитуду пучка A (при получении начального приближения считали амплитуду постоянной) считали медленно меняющейся функцией переменной z , т. е. $A = A_0\varphi(x, y, z)$, где A_0 – постоянная, $\varphi(x, y, z)$ – решение параболического приближения уравнения Гельмгольца [5]. Такое решение было получено аналитически на основе известной модели усиления излучения в газовом лазере [1].

Рассматриваемый подход позволил предложить процедуру расчета электромагнитного поля в резонаторе и интенсивности отраженного от призмы излучения. Выполнено численное моделирование отражения при различных углах падения генерируемого излучения на призму, размещенную в резонаторе He-Ne лазера. Получены оценки интенсивности генерации излучения. Определен диапазон углов падения излучения на призму, при котором имеет место генерация излучения. Предложена методика оценивания коэффициента усиления слабого сигнала на основе измерения интенсивности отраженного от призмы пучка при нескольких значениях угла падения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Радина, Т. В.** Резонансные и параметрические явления в задачах генерации и распространения лазерного излучения / Т. В. Радина, Т. Ф. Станкевич. – Санкт-Петербург: С.-Петерб. ун-т, 2009. – 231 с.
2. **Солименко, С.** Дифракция и волноводное распространение оптического излучения / С. Солименко, Б. Крозиньяни, П. Ди Порто. – Москва: Мир, 1989. – 664 с.
3. **Шульга, А. В.** Внутррезонаторная волноводная спектроскопия тонких пленок / А. В. Шульга, А. В. Хомченко, И. В. Шилова // Письма в ЖТФ. – 2018. – Т. 44, №. 21. – С.3–9.
4. **Романенко, А. А.** Пространственная структура интенсивности излучения, отраженного от призмного устройства возбуждения плоскостойких сред / А. А. Романенко, А. Б. Сотский, А. В. Хомченко. – Минск, 1991. – 31 с. – (Препринт / Акад. наук Беларуси. Ин-т физики; № 649).
5. **Ярив, А.** Оптические волны в кристаллах / А. Ярив, П. Юх. – Москва: Мир, 1987. – 616 с.

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОПУСКАНИЯ СВЕТА СТЕКЛОМ ПРИ НАЛИЧИИ ТЕРМОУПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ

И. У. ПРИМАК, А. В. ХОМЧЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Как известно, поляризационно-оптический метод является одним из эффективных методов определения напряжений в стекле. В связи с этим в работе рассматривались возможности данного метода по исследованию динамики температурных полей и напряжений в листе стекла.

Расчет коэффициента пропускания света нормально падающего на лист стекла основывается на выражении

$$I = I_0 \sin^2 \left(k_0 d C \int_{-1/2}^{1/2} (\sigma_1 - \sigma_2) dz' \right),$$

где σ_1, σ_2 – главные напряжения, обусловленные нагреванием или охлаждением стекла; I_0 – коэффициент, учитывающий отражение света от поверхностей листа стекла и угол между главными напряжениями и некоторым направлением; $2d$ – толщина листа стекла; k_0 – волновое число; C – фотоупругая постоянная стекла.

Согласно [1], компоненты тензора напряжений σ_{ij} ($i, j = x, y$) и главные напряжения связаны соотношением

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + 4\sigma_{xy}^2}.$$

Учитывая, что, согласно [2], $\sigma_{xy} = O(\delta^2)$, $\sigma_{xx} - \sigma_{xx}^{(0)} = O(\delta^2)$, $\sigma_{yy} - \sigma_{yy}^{(0)} = O(\delta^2)$ при $\delta \rightarrow 0$ (где δ – отношение длины к толщине листа стекла; $\sigma_{xx}^{(0)}$ и $\sigma_{yy}^{(0)}$ – первые члены асимптотических разложений Пуанкаре для соответствующих напряжений), получаем $\sigma_1 = \sigma_{xx}^0 + O(\delta^2)$, $\sigma_2 = \sigma_{yy}^0 + O(\delta^2)$ при $\delta \rightarrow 0$. Это позволяет записать

$$\bar{I} = I / I_0 \approx \sin^2 \left(k_0 d C \int_{-1/2}^{1/2} (\sigma_{xx}^0 - \sigma_{yy}^0) dz' \right).$$

Используя решение термоупругой задачи [2], имеем

$$\bar{I} = \sin^2 \left(\frac{2k_0 d \alpha_T C E (T_0 - T_C)}{1 - \nu} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} C_k A_i B_j e^{-at \left(\frac{\varepsilon_k^2}{d^2} + \frac{\mu_i^2}{L^2} + \frac{p_j^2}{b^2} \right)} \frac{\sin(0,5\varepsilon_k)}{\varepsilon_k} \times \right. \\ \left. \times \left[\cos(\mu_i) \cos(p_j y') - \cos(p_j) \cos(\mu_i x') \right] \right), \quad (1)$$

где x' , y' , z' – нормированные координаты, $x' = x/L$, $y' = y/b$, $z' = z/d$; $2L$ и $2b$ – длина и ширина листа стекла соответственно ($L > b \gg d$); T_0 – начальная температура стекла; T_C – температура окружающей среды; E – модуль упругости; ν – коэффициент Пуассона; α_T – коэффициент линейного теплового расширения; a – коэффициент температуропроводности;

$$C_k = \frac{2 \sin(\varepsilon_k)}{\varepsilon_k + 0,5 \sin(2\varepsilon_k)}; A_i = \frac{2 \sin(\mu_i)}{\mu_i + 0,5 \sin(2\mu_i)}; B_j = \frac{2 \sin(p_j)}{p_j + 0,5 \sin(2p_j)} \quad (k, i, j \in N),$$

в которых коэффициенты ε_k , μ_i и p_j находятся при решении уравнений $\operatorname{ctg}(\varepsilon_k) = \varepsilon_k \lambda / \alpha_z d$, $\operatorname{ctg}(\mu_i) = \mu_i \lambda / \alpha_x L$, $\operatorname{ctg}(p_j) = p_j \lambda / \alpha_y b$ ($k, i, j \in N$), здесь α_z , α_x , α_y – коэффициенты теплоотдачи; λ – коэффициент теплопроводности.

На основе выражения (1) выполнено численное моделирование пропускания света (длина волны – 0,63 мкм) листом стекла с размерами $d = 3 \cdot 10^{-3}$ м, $L = 0,2$ м, $b = 0,1$ при остывании ($T_0 = 600$ К и $T_C = 273$ К). Результаты расчетов представлены на рис. 1. В соответствии с этими результатами отмечаем, что наибольшее значение разности между напряжениями достигается вблизи краев листа стекла.

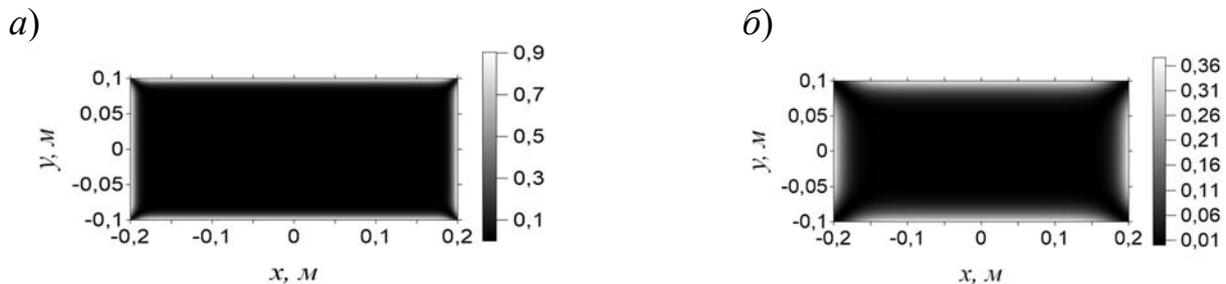


Рис. 1. Распределения $\bar{T}(x, y)$ при охлаждении через 200 с (а) и 1500 с (б)

Предложена процедура определения коэффициентов a и λ на основе обработки картины распределения коэффициента пропускания стекла с использованием метода наименьших квадратов. Обработка картин пропускания, представленных на рис. 1, с использованием этой процедуры продемонстрировала возможность определения температурных констант с погрешностью $\sim 10\%$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боли, Б.** Теория температурных напряжений / Б. Боли, Дж. Уэйнер. – Москва: Мир, 1964. – 517 с.
2. **Примак, И. У.** К проблеме решения термоупругой задачи в безопасном стекле для наземного транспорта / И. У. Примак, А. В. Хомченко // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 23–24 апр. 2020 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 504–506.

УДК 517.927.4

К РАЗРЕШИМОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ
ДЛЯ СИСТЕМЫ МАТРИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА РИККАТИ

Д. В. РОГОЛЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рассматривается краевая задача типа [1, 2]

$$\frac{dX}{dt} = A_1(t)X + C_1(t)XB_1(t) + X(S_1(t)X + S_2(t)Y) + \lambda F_1(t), \quad (1)$$

$$\frac{dY}{dt} = A_2(t)Y + C_2(t)YB_2(t) + Y(P_1(t)X + P_2(t)Y) + \lambda F_2(t), \quad (2)$$

$$X(0) = X(\omega), \quad (3)$$

$$Y(0) = Y(\omega), \quad (4)$$

где $t \in [0, \omega]$, $X(t), Y(t) \in \mathbb{R}^{n \times n}$, матрицы $A_i(t)$, $B_i(t)$, $C_i(t)$, $S_i(t)$, $P_i(t)$, $F_i(t)$ ($i=1,2$) определены и непрерывны на промежутке $[0, \omega]$; $\omega > 0$, $\lambda \in \mathbb{R}$.

Примем следующие обозначения:

$$D = \{(t, X, Y) : 0 \leq t \leq \omega, \|X\| \leq \rho_1, \|Y\| \leq \rho_2\}, \quad \tilde{A}_i(\omega) = \int_0^\omega A_i(\tau) d\tau, \quad \gamma_i = \|\tilde{A}_i^{-1}(\omega)\|,$$

$$\alpha_i = \max_t \|A_i(t)\|, \quad \beta_i = \max_t \|B_i(t)\|, \quad \sigma_i = \max_t \|C_i(t)\|, \quad \delta_i = \max_t \|S_i(t)\|, \quad \mu_i = \max_t \|P_i(t)\|,$$

$$h_i = \max_t \|F_i(t)\|, \quad \|T\|_C = \max_t \|T(t)\|, \quad \varepsilon = |\lambda|, \quad \varepsilon_0 = \min\{\varepsilon_1, \varepsilon_2\},$$

$$q_{11} = \gamma_1 \left[\frac{1}{2} \alpha_1 (\alpha_1 + \beta_1 \sigma_1 + 2\delta_1 \rho_1 + \delta_2 \rho_2) \omega^2 + (\beta_1 \sigma_1 + 2\delta_1 \rho_1 + \delta_2 \rho_2) \omega \right],$$

$$q_{12} = \gamma_1 \delta_2 \rho_1 \omega \left(\frac{1}{2} \alpha_1 \omega + 1 \right), \quad q_{21} = \gamma_2 \mu_1 \rho_2 \omega \left(\frac{1}{2} \alpha_2 \omega + 1 \right),$$

$$q_{22} = \gamma_2 \left[\frac{1}{2} \alpha_2 (\alpha_2 + \beta_2 \sigma_2 + \mu_1 \rho_1 + 2\mu_2 \rho_2) \omega^2 + (\beta_2 \sigma_2 + \mu_1 \rho_1 + 2\mu_2 \rho_2) \omega \right],$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\rho_1 - \tilde{\gamma}_1 \left\{ \frac{1}{2} \alpha_1 [(\alpha_1 + \beta_1 \sigma_1) \rho_1 + \delta_1 \rho_1^2 + \delta_2 \rho_1 \rho_2] \omega^2 + [\beta_1 \sigma_1 \rho_1 + \delta_1 \rho_1^2 + \delta_2 \rho_1 \rho_2] \omega \right\}}{\tilde{\gamma}_1 \left(\frac{1}{2} \alpha_1 \omega + 1 \right) h_1 \omega},$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\rho_2 - \tilde{\gamma}_2 \left\{ \frac{1}{2} \alpha_2 [(\alpha_2 + \beta_2 \sigma_2) \rho_2 + \mu_2 \rho_2^2 + \mu_1 \rho_1 \rho_2] \omega^2 + [\beta_2 \sigma_2 \rho_2 + \mu_2 \rho_2^2 + \mu_1 \rho_1 \rho_2] \omega \right\}}{\tilde{\gamma}_2 \left(\frac{1}{2} \alpha_2 \omega + 1 \right) h_2 \omega},$$

где $t \in [0, \omega]$, $\rho_1, \rho_2 > 0$, $\|\cdot\|$ – согласованная норма матриц, например, любая из норм, приведенных в [3, с. 21].

В случае, когда коэффициенты в (1), (2) постоянные, получим систему типа [4], играющую важную роль в теории управления.

Теорема. Пусть выполнены следующие условия:

1) $\det \tilde{A}_i \neq 0$ ($i=1,2$);

2)
$$\gamma_1 \left\{ \frac{1}{2} \alpha_1 [(\alpha_1 + \beta_1 \sigma_1) \rho_1 + \delta_1 \rho_1^2 + \delta_2 \rho_1 \rho_2] \omega^2 + [\beta_1 \sigma_1 \rho_1 + \delta_1 \rho_1^2 + \delta_2 \rho_1 \rho_2] \omega \right\} < \rho_1,$$

$$\gamma_2 \left\{ \frac{1}{2} \alpha_2 [(\alpha_2 + \beta_2 \sigma_2) \rho_2 + \mu_2 \rho_2^2 + \mu_1 \rho_1 \rho_2] \omega^2 + [\beta_2 \sigma_2 \rho_2 + \mu_2 \rho_2^2 + \mu_1 \rho_1 \rho_2] \omega \right\} < \rho_2;$$

3) $q_{11} < 1$, $\det(E - Q) > 0$,

где $E = \text{diag}(1,1)$, $Q = (q_{ij})$.

Тогда при $|\lambda| < \varepsilon_0$ задача (1)–(4) однозначно разрешима в области D . Решение представимо как предел равномерно сходящейся последовательности матричных функций, определяемых рекуррентными интегральными соотношениями и удовлетворяющих условиям (3), (4).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаптинский, В. Н. Конструктивные методы построения решения периодической краевой задачи для системы матричных дифференциальных уравнений типа Риккати условий / В. Н. Лаптинский, Д. В. Роголев // Дифференциальные уравнения. – 2011. – Т. 47, № 10. – С. 1412–1420.

2. Роголев, Д. В. К анализу периодической краевой задачи для системы матричных уравнений типа Риккати с параметром / Д. В. Роголев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 533–534.

3. Демидович, Б. П. Лекции по математической теории устойчивости / Б. П. Демидович. – Москва: Наука, 1967. – 472 с.

4. Jodar, L. Explicit solutions of Riccati equations appearing in differential games / L. Jodar // Appl. Mathematics Letters. – 1990. – Vol. 3, №. 4. – P. 9–12.

УДК 53.088: 620.179.14

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СФОРМИРОВАННЫХ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТАЛЕЙ

С. Г. САНДОМИРСКИЙ

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Механические свойства и твердость сталей с содержанием углерода более 0,3 % однозначно зависят от температуры T_0 их отпуска после закалки, а коэрцитивная сила H_c – неоднозначно. Для повышения достоверности магнитной структуроскопии предложено формировать ее параметры алгебраическими комбинациями H_c и отношения K_{II} остаточной намагниченности M_r к намагниченности M_s технического насыщения [1]. В [2] проведен расчет и анализ погрешностей определения сформированных параметров с учетом погрешности измерения их составляющих и погрешностей [3], вносимых математическими операциями расчета.

В докладе представлены результаты расчета и анализа параметров, обеспечивающих наименьшую погрешность их определения.

В рамках разработанного подхода предложено создать из H_c и K_{II} сталей в числе прочих следующие информационные параметры [1]:

$$H_0 = H_c / \operatorname{tg}(0,5\pi K_{II}), \quad (1)$$

$$H_{c1} = H_c (1 - K_{II})^2. \quad (2)$$

Параметры (1) и (2) обладают высокой чувствительностью к изменениям структуры, происходящим в сталях при их термических обработках в практически важном интервале температур, простотой и точностью измерения. По стандартным методикам составляющие их параметры H_c и K_{II} можно измерить с минимальными относительными погрешностями измерения: $\delta_{H_c} = 2\%$ и $\delta_{K_{II}} = 1\%$ [1].

Для расчета относительных погрешностей определения параметров H_0 и H_{c1} использованы [2] формулы для расчета относительных погрешностей δ , вносимых алгебраическими операциями A [3]:

$$A = a - b, \delta = \frac{\Delta a + \Delta b}{a - b}; \quad A = ab, \delta = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}; \quad A = a^n, \delta = n \frac{\Delta a}{a};$$

$$A = a/b, \delta = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}; \quad A = \operatorname{tg} a, \delta = \frac{2\Delta a}{\sin 2a}. \quad (3)$$

Проведя элементарные алгебраические преобразования с использованием формул (3), на основании формул (1) и (2) получили [2] следующие аналитические выражения для расчета относительных погрешностей δ_{H_0} , $\delta_{H_{c1}}$ определения соответственно параметров H_0 , H_{c1} :

$$\delta_{H_0} = \delta_{H_C} + \frac{\pi K_{II}}{\sin(\pi K_{II})} \delta_{K_{II}}, \quad (4)$$

$$\delta_{H_{C1}} = \delta_{H_C} + \frac{K_{II}}{1-K_{II}} \delta_{K_{II}}. \quad (5)$$

Коэффициент K_{II} конструкционных сталей изменяется от 0,4 до 0,8 [1]. На рис. 1 приведены зависимости расчета по формулам (4) и (5) изменения относительных погрешностей δ_{H_0} и $\delta_{H_{C1}}$ определения параметров H_0 и H_{C1} от коэффициента K_{II} .

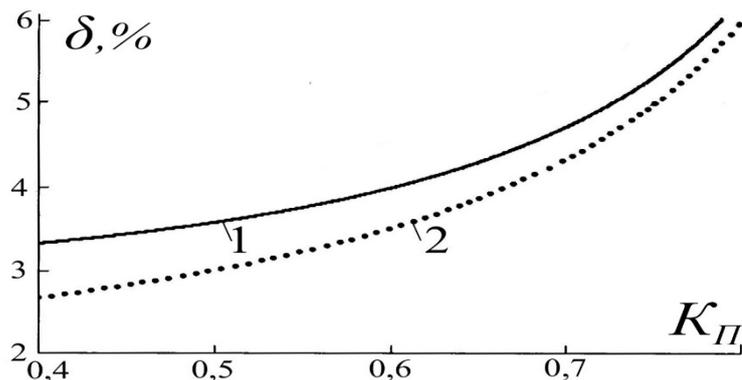


Рис. 1. Зависимость относительной погрешности δ расчета параметров H_0 (1) и H_{C1} (2) от коэффициента $K_{II} = M_r/M_s$ в практически возможном для сталей диапазоне его изменения

Анализ показал [2], что в возможном для сталей диапазоне изменения коэффициента K_{II} относительные погрешности δ_{H_0} , $\delta_{H_{C1}}$ определения параметров H_0 , H_{C1} изменяются от 2,7...3,4 % при $K_{II} = 0,4$ до 7 % при $K_{II} = 0,8$. Это в 2,34–16,2 раза меньше относительной погрешности измерения релаксационного магнитного параметра намагниченности M_{rC} коэрцитивного возврата [1, 2]. Невысокая относительная погрешность определения анализируемых параметров H_0 , H_{C1} является физической предпосылкой их эффективного использования для магнитной структуроскопии сталей взамен релаксационных магнитных параметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клюев, В. В. Анализ и синтез структурочувствительных магнитных параметров сталей / В. В. Клюев, С. Г. Сandomirский. – Москва: СПЕКТР, 2017. – 248 с.
2. Sandomirski, S. G. Application of Magnetic Information Parameters for Nondestructive Testing of the Hardness of Medium-Carbon Alloy Steels / S.G. Sandomirski // Measurement Techniques 2019. – Vol. 62, N 8. – P. 722–728. (перевод на английский язык статьи: Сandomirский, С. Г. Применение информационных магнитных параметров для неразрушающего контроля твердости среднеуглеродистых легированных сталей / С. Г. Сandomirский // Измерительная техника. – 2019. – № 8. – С. 53–57).
3. Мастяева, И. Н. Численные методы: учебное пособие / И. Н. Митяева, О. Н. Семенихина. – Москва: Моск. междунар. ин-т эконометрики, информатики, финансов и права, 2004. – 103 с.

УДК 51-7

ВЫЯВЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДОСТОВЕРНЫХ РАЗЛИЧИЙ В ВЫБОРОЧНЫХ СОВОКУПНОСТЯХ

Т. Л. ШЕБАН, П. Р. ИВАНОВА, К. С. ЛАЛОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В работе представлены результаты обработки данных печеночного кровотока, полученных в результате оценки гемодинамики печени с помощью реогепаатографии (РГГ) пациентов, находящихся в отделении реанимации областной больницы г. Могилева. РГГ основана на записи изменений сопротивления живой ткани в переменном электрическом поле высокой частоты, созданном с помощью мостика. При помощи программного обеспечения Реоспектр (Нейрософт) были получены определенные физические параметры, описывающие траекторию реографической кривой, вычисление и статистический анализ площади под которой и являлось задачей исследования.

Для решения поставленной задачи на первом этапе часть точек, координаты которых необходимы для вычисления площади, были аппроксимированы с помощью метода наименьших квадратов.

Процесс вычисления площади под реограммой был автоматизирован, что позволяет в случае появления дополнительных измерений уточнять полученные результаты [1].

Основной гипотезой в исследовании являлось выявление достоверных различий в площадях под реограммой у пациентов различных групп, получение доверительных интервалов для соответствующей площади.

Дальнейший анализ проводился для четырех групп пациентов. В зависимости от основной патологии было выделено четыре группы:

1-я группа ($n = 29$) – контрольная, практически здоровые (норма);

2-я группа ($n = 15$) – пациенты с наличием хронических заболеваний желудка и поджелудочной железы (ОАО гастро);

3-я группа ($n = 16$) – пациенты с циррозом печени (ОАО печень);

4-я группа ($n = 29$) – пациенты после с наличием синдрома полиорганной дисфункции (ОАО СПОД).

Для пациентов, относящихся к каждой группе, были рассчитаны площади под реограммой и получены доверительные интервалы для среднего значения.

Проверка гипотезы о нормальности распределений средних в каждой группе с помощью критерия Шапиро – Уилка дала основание применять непараметрические методы сравнения независимых выборок.

Для выявления различий площадей под реограммой у групп с различными патологиями был проведен непараметрический тест Краскела – Уоллиса (Kruskal – Wallis test: $H(3, N = 87) = 39,42744$ $p = 0,0000$). На рис. 1 приведен

результат проверки этого различия. Статистически значимо различаются группы 1 и 3, 1 и 4, 2 и 3, 2 и 4.

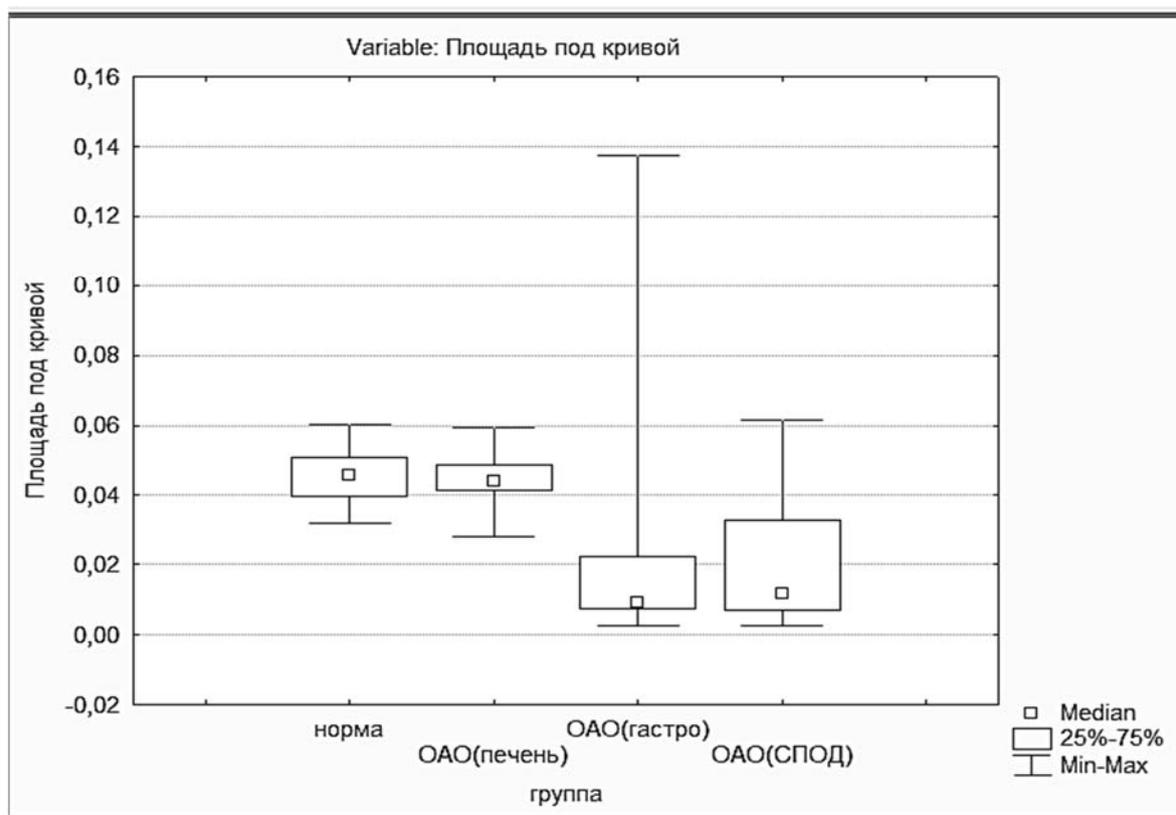


Рис. 1. Диаграмма разброса показателя «площадь под кривой» для пациентов различных групп

Для достоверно статистически различных групп были построены доверительные интервалы для показателя «площадь под кривой», позволяющие по результатам физических параметров, измеряемых реографом, оценивать попадание пациента в ту или иную группу патологий.

Из физических параметров, описывающих траекторию реографической кривой, наиболее определяющим на различие в группах явился реографический индекс, который рассчитывается как отношение амплитуды артериальной части волны к стандартному калибровочному импульсу.

Дальнейшим развитием данного исследования является создание программного обеспечения, позволяющего получать интегральный показатель печеночного кровотока, накапливать результаты измерений реографа, проводить статистический анализ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интегративный показатель состояния артериального печеночного кровотока у пациентов при критических состояниях / С. А. Точило [и др.] // Вестн. Витеб. гос. мед. ун-та. – 2019. – Т. 18, № 3. – С. 52–60.

УДК 336.6

СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ НЕПЛАТЕЖЕСПОСОБНОСТИ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ СУБЪЕКТОВ

М. С. АЛЕКСАНДРЁНОК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Финансовое состояние домашних хозяйств (ДХ) как основной составляющей любой национальной экономики, члены которых выступают наемными работниками или собственниками личного бизнеса, напрямую зависит от финансовой стабильности и устойчивости функционирующих экономических субъектов. Долговременное нарушение финансового равновесия приводит к состоянию неплатежеспособности данных субъектов или банкротства, в худшем случае.

В соответствии с законом Республики Беларусь «Об экономической несостоятельности (банкротстве)» под банкротством понимается неплатежеспособность, имеющая или приобретающая устойчивый характер, признанная решением экономического суда о банкротстве с ликвидацией должника – юридического лица, прекращением деятельности должника – индивидуального предпринимателя. В свою очередь неплатежеспособность – это неспособность в полном объеме удовлетворить требования кредитора по платежным обязательствам, а также по обязательствам, вытекающим из трудовых и связанных с ними отношений [1]. Таким образом, банкротство и неплатежеспособность прямо воздействуют на личные финансы ДХ и вектор данного влияния является отрицательным.

Неплатежеспособность формирует «цепочку» негативных последствий для людей – от неполучения заработной платы (дохода), а значит, нарушения жизнеобеспечения ДХ, до снижения пенсионных индикаторов (страховой стаж, фактическая заработная плата, индивидуальный пенсионный коэффициент) и угрозы обеспечения своего нетрудоспособного будущего.

Динамика количества белорусских экономических субъектов, процедуры банкротства которых закончились ликвидацией и, соответственно, увольнением персонала или прекращением деятельности индивидуального предпринимателя, за последние одиннадцать лет представлена на рис. 1 [2].

Как свидетельствуют данные рис. 1, на протяжении анализируемого периода (2010–2020 гг.) формируется тенденция роста экономических субъектов (юридических лиц и индивидуальных предпринимателей), прекративших хозяйственную деятельность: с минимального количества в 2010 г. (1 059 ед.) до максимального в 2020 г. (3 643 ед.), увеличение – в 2,4 раза. Общее число таких субъектов составило 22 514 ед.

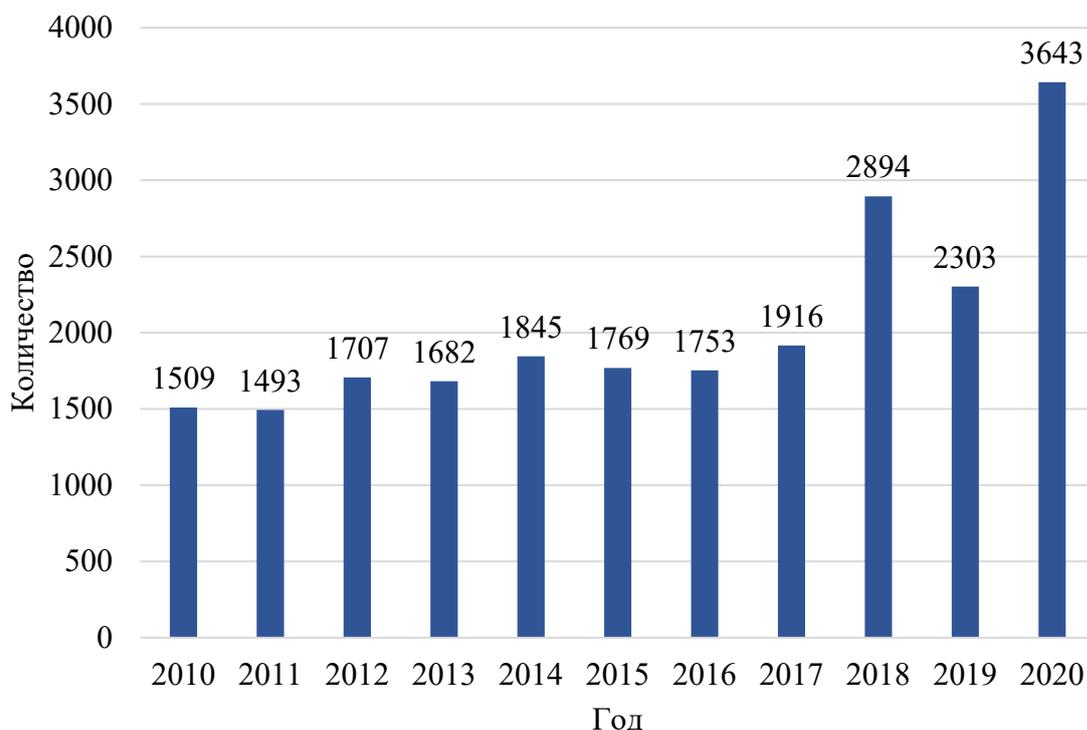


Рис. 1. Динамика ликвидированных экономических субъектов за 2010–2020 гг.

Был рассмотрен только один индикатор, который указывает на возрастание социальных рисков в экономике. Но социальные риски начинают формироваться задолго до ликвидации хозяйствующего субъекта. Начальный период – это юридически незафиксированное состояние неплатежеспособности, которое может быть достаточно продолжительным. Сама процедура банкротства также может длиться не один год. Она включает в себя (с момента вынесения экономическим судом определения о возбуждении производства по делу об экономической несостоятельности (банкротстве) должника) такие основные процедуры, как защитный период и конкурсное производство, в т. ч. санацию и ликвидационное производство.

Таким образом, развитие системы защиты трудовых прав работников при отрицательном финансовом положении нанимателя и разработка новых финансовых инструментов страхования социальных рисков становится необходимым, что и будет выполняться на кафедре в рамках новой НИР.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об экономической несостоятельности (банкротстве): Закон Респ. Беларусь от 13 июля 2012 г. № 415-З; с изм. и доп. от 4 янв. 2014 г. № 104-З и от 24 окт. 2016 г. № 439-З. – Минск, 2021.
2. Санация и банкротство [Электронный ресурс] // Офиц. сайт М-ва экономики Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – Режим доступа: <http://www.economy.gov.by>. – Дата доступа: 25.01.2021.

УДК 308:004.738.5

СЕГМЕНТАЦИЯ БЕЛОРУССКИХ ИНТЕРНЕТ-ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

А. В. АЛЕКСАНДРОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

По результатам исследования компании Gemius, в октябре 2020 г. в Беларуси насчитывалось 5,3 млн интернет-пользователей в возрасте 15–74 лет. При этом 4,3 млн осуществляли выход в сеть Интернет посредством персонального компьютера, а 4,4 млн – посредством мобильных устройств [1]. Можно сделать вывод, что подавляющая часть аудитории использует обе платформы для доступа к сетевым ресурсам; в то же время примерно по 20 % пользователей применяют каждую из них в качестве единственной.

Согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, доля жителей в возрасте 6–72 лет, использующих сеть Интернет, в общей численности соответствующей группы населения по итогам 2019 г. составила 82,8 %, увеличившись с 2013 г. на 24,4 п. п. При этом рост показателя был достаточно равномерным – от 3,3 до 3,8 п. п. в год с небольшими всплесками в 2014 г. (5,2 п. п.) и 2018 г. (4,7 п. п.) [2].

Естественным является отличающееся количество интернет-пользователей среди городского и сельского населения – 86,9 и 71,3 % соответственно. Разница в значениях показателя постепенно сокращается, но достаточно медленно (с 20,6 п. п. в 2013 г. до 15,6 п. п. в 2019 г.) [3, 4].

С гендерных позиций отличия практически отсутствуют – начиная с 2016 г. удельные веса пользователей интернета среди представителей разных полов отличаются не более чем на 0,5 п. п. Хотя, например, в 2013 г. мужчины чаще, чем женщины, пользовались сетью Интернет (60,4 % против 56,9 %) [3].

С другой стороны, возраст является существенным дискриминирующим фактором. Наибольшее число интернет-пользователей наблюдается в возрастной группе от 16 до 24 лет (свыше 98 % начиная с 2015 г. при минимальной тенденции к росту). Среди населения в возрасте от 6 до 15 и от 25 до 54 лет около 91 % жителей используют сеть Интернет, при этом вторая из указанных групп демонстрирует более высокие темпы роста (в 2013 г. удельные веса составляли 76,9 и 67,4 % соответственно). Более чем в 2 раза за рассматриваемый период увеличилась доля интернет-пользователей в возрастной категории 55–64 лет, достигнув 60 %. И лишь каждый третий житель Беларуси старше 65 лет использует интернет, но количество их растет наиболее значительными темпами [3]. Тенденция быстрого роста количества интернет-пользователей среди представителей старших поколений легко объяснима (повсеместное распространение информационно-коммуникационных

технологий), и следует ожидать постепенного выравнивания значений рассматриваемого показателя по всем возрастным группам.

Уровень образования также влияет на количество интернет-пользователей: среди имеющих высшее (послевузовское) образование таковых 91,7 %, среднее специальное – 78,2, профессионально-техническое – 68,2, среднее – 62,1, базовое (начальное) – 86,1 % [3]. И если лидирующая позиция первой из перечисленных групп объясняется в определенной степени потребностями профессиональной деятельности, то высокий уровень показателя в последней группе обусловлен стилем жизни современных школьников («всегда онлайн»). С другой стороны, в трех других группах наблюдаются более высокие темпы роста удельного веса интернет-пользователей за последние пять лет, что приведет в обозримом будущем к выравниванию значений по всем группам.

В территориальном разрезе наибольшая доля пользователей сети Интернет ожидаемо зафиксирована в г. Минске (87,3 %), где лучше всего развита инфраструктура информационно-коммуникационных технологий. По областям значение показателя колеблется от 74,4 % в Минской до 79,0 % в Гомельской, т. е. значительных различий не наблюдается [3].

Таким образом, белорусские интернет-пользователи могут быть сегментированы по месту жительства (городское и сельское население), возрасту и уровню образования; в то же время последние два фактора будут постепенно терять свою дискриминирующую силу в будущем. Кроме того, наблюдаются различия по региональному признаку (г. Минск и вся остальная территория страны). Указанные обстоятельства целесообразно учитывать в своей деятельности коммерческим и некоммерческим организациям, а также государственным органам при разработке мероприятий по развитию цифровой экономики и информационного общества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компания Gemius добавила данные о мобильной аудитории в результаты исследования белорусских сайтов [Электронный ресурс] // Онлайн журнал Marketing.by. – Режим доступа: <https://marketing.by/analitika/kompaniya-gemius-dobavila-dannye-o-mobilnoy-auditorii-v-rezultaty-issledovaniya-belaruskikh-saytov/>. – Дата доступа: 02.02.2021.

2. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2020 [Электронный ресурс]: стат. сб. // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2020. – Режим доступа: <https://belstat.gov.by/upload/iblock/c68/c68ec3c1ac53374bedc363044769f2c1.pdf>. – Дата доступа: 02.02.2021.

3. Информационное общество в Республике Беларусь, 2019 [Электронный ресурс]: статистический сборник // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2019. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/d70/d70177df955d97e7780c924986cfe5f1.pdf>. – Дата доступа: 02.02.2021.

4. Беларусь в цифрах, 2020 [Электронный ресурс]: стат. справочник // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2020. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/372/372c458c7e0e0196257ac51b11a0cf73.pdf>. – Дата доступа: 02.02.2021.

УДК 004:304.3

ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НАСЕЛЕНИЕМ БЕЛАРУСИ

А. В. АЛЕКСАНДРОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Расширение использования информационно-коммуникационных технологий является сегодня одним из приоритетов политики любого государства.

Мобильная связь. В 2020 г. охват населения Беларуси услугами сотовой подвижной электросвязи составил 99,9 %, что превышает средние значения в целом в мире (96,7 %) и на европейском континенте (99,6 %), а также в странах СНГ (98,6 %). Однако по распространенности более прогрессивной технологии LTE (89,4 %) Беларусь хоть и превосходит среднемировой уровень (на 4,7 п. п.) и уровень стран СНГ (на 8,6 п. п.), но уступает показателям государств европейского и азиатско-тихоокеанского регионов (соответственно 7,8 и 4,7 п. п.). Во многом это объясняется невысокой степенью охвата территории нашей страны указанной технологией – всего 30,6 %. В то же время за последние два года республика сумела достигнуть существенного прогресса по широкому внедрению технологии LTE – охват населения увеличился на 20,9 п. п. [1–3].

Количество абонентов мобильной связи в Беларуси по итогам 2020 г. составляет 11,66 млн, или 124 в расчете на 100 чел. населения. Динамика последнего показателя имеет ступенчатый характер: рост со 112 до 120 абонентов на 100 чел. в 2012–2014 гг., стабилизация на достигнутом уровне до 2017 г., рост в 2018 г. на три абонента и снова стабилизация. Можно предположить, что достигнут определенный предел роста. Аналогичный вывод следует из анализа динамики данного показателя в странах Европы: начиная с 2012 г. он колеблется в диапазоне от 118,8 до 122,7 абонента без явно выраженной тенденции к изменению. В то же время в странах СНГ количество абонентов мобильной связи на 100 чел. населения непрерывно растет на протяжении последних десяти лет и в 2020 г. составляет 148,2 (прирост – почти 20 абонентов). Среди всех регионов мира это максимальный показатель, превышающий в 1,8 раза среднемировой уровень [1, 2, 4]. Одной из основных причин такой ситуации является существенная разница в тарифах на внутри- и межсетевые звонки операторов в большинстве стран бывшего СССР. Однако маловероятным представляется рост в Республике Беларусь количества абонентов на 100 чел. населения до указанного уровня, поскольку происходит постепенное относительное снижение расценок на межсетевые звонки, а также повсеместное распространение мессенджеров и социальных сетей в качестве средств общения.

Персональный компьютер. Доля белорусских домохозяйств, имеющих персональный компьютер, в 2019 г. составила 71,8 %, прирост с 2013 г. – почти 12 п. п. Однако если в первые три года рассматриваемого периода увеличение было значительным (с 54,9 до 67,0 %), то за три последующих года рост существенно замедлился, что объясняется широким распространением среди населения мобильных устройств. Уровень данного показателя в Республике Беларусь превышает средние значения в мире (47,1 %) и в странах СНГ (65,4 %), но уступает среднеевропейскому (77,7 %). В то же время происходит поступательное сокращение этого отставания, т. к. в странах Европы доля домохозяйств, имеющих персональный компьютер, за последние шесть лет выросла всего на 2,5 п. п. [2, 3, 5].

Сеть Интернет. Удельный вес населения Беларуси в возрасте 6–72 лет, использующего интернет, в 2019 г. составил 82,8 %, увеличившись более чем в 1,42 раза за шесть лет. Такой темп роста в целом соответствует среднемировому (1,39 раза), уступая лишь африканским и арабским странам (1,58 раза), что объясняется их невысокими начальными показателями. При этом степень использования интернета белорусскими пользователями находится на уровне мирового лидера – европейского региона (82,5 % населения), существенно опережая страны СНГ (72,8 %) и средний уровень в мире (51,4 %). Сравнивая динамику долей пользователей персональных компьютеров и сети Интернет в Республике Беларусь, необходимо отметить более быстрые темпы роста последнего показателя (если в 2013 г. соотношение было 60,8 и 58,4 %, то в 2019 г. – 75,3 и 82,8 % соответственно), что подтверждает ранее сделанный вывод о повсеместном использовании мобильных устройств, в том числе для выхода в интернет [2, 4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Услуги электросвязи в республике оказывают 189 операторов электросвязи [Электронный ресурс] // М-во связи и информатизации Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://www.mpt.gov.by/ru/news/01-02-2021-6981>. – Дата доступа: 02.02.2021.
2. Time series of ICT data for the world, by geographic regions, by urban/rural area and by level of development (2005–2020) [Electronic resource] // International Telecommunication Union. – Mode of access: https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ITU_regional_global_Key_ICT_indicator_aggregates_Nov_2020.xls. – Date of access: 02.02.2021.
3. Информационное общество в Республике Беларусь, 2019 [Электронный ресурс]: стат. сб. // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2019. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/d70/d70177df955d97e7780c924986cfe5f1.pdf>. – Дата доступа: 02.02.2021.
4. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2020 [Электронный ресурс]: статистический сборник // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2020. – Режим доступа: <https://belstat.gov.by/upload/iblock/c68/c68ec3c1ac53374bedc363044769f2c1.pdf>. – Дата доступа: 02.02.2021.
5. Core indicators on access to and use of ICT by households and individuals [Electronic resource] / International Telecommunication Union. – Mode of access: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2020/CoreHouseholdIndicators.xlsx>. – Date of access: 02.02.2021.

УДК 656.078

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО СЕКТОРА

С. А. АЛЕКСАНДРОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Транспортно-логистическая отрасль в последние годы проходит стадию трансформации, которая характеризуется существенными изменениями, очевидными не только специалистам, но и несвязанным с отраслью субъектам. В связи с важностью данного сегмента экономики изучению и анализу происходящих изменений посвящено большое количество исследований, выполняемых разными учеными, аналитиками и бизнес-структурами.

В числе происходящих изменений в условиях глобализации рынка можно выделить тенденции, характерные для мирового транспортного сектора. Экономики и бизнес разных стран на данный момент настолько связаны, что большинство происходящих изменений актуальны для предприятий, дислоцированных и осуществляющих свою деятельность практически в любой точке мира.

Из числа макроэкономических факторов, оказывающих влияние на транспорт и логистику в 2020 г., можно выделить следующие.

1. Развитие международной торговли. В период с 2008 по 2020 гг. динамика мировой торговли носила волнообразный характер в связи с несколькими последовательными кризисными ситуациями [1, 2]. Ситуация усугубилась в 2020 г., что было связано с последствиями пандемии COVID-19 и, как следствие, с сокращениями объемов производства и перевозок. В силу своей значимости фактор пандемии выделен как отдельный. Нестабильная динамика внутренней и внешней торговли вызывает неравномерность загрузки транспортных предприятий и неопределенность будущего развития.

2. Развитие техники и технологий. Техника, оборудование, произведенные всего несколько лет назад, могут проигрывать более современным аналогам по многим параметрам. В связи с этим преимущество на рынке по уровню производительности и текущих затрат принадлежит предприятиям, имеющим более современную технику и подвижной состав. В то же время необходимость постоянного обновления подвижного состава создает дополнительное давление на бизнес с позиции поддержания объемов инвестирования и обеспечения достаточных и неснижающихся объемов деятельности и доходов в условиях нестабильного рынка, чтобы не пострадать от повышенных операционных и производственных рисков. В данном пункте отдельно стоит выделить тенденцию развития и внедрения инновационных технологий (электромобили, роботизация).

3. Цифровизация и внедрение специализированного программного обеспечения. Цифровые решения уже вышли за рамки информационно-

коммуникационных технологий или ERP-систем и позволяют разрабатывать новые бизнес-процессы и модели [3]. Это позволяет повысить скорость реакции и обслуживания клиентов, качество транспортных и логистических услуг, доходы и оптимизировать текущие затраты. Общемировые тренды показывают, что лидеры отрасли уделяют максимальное внимание развитию в данном направлении. Отечественный бизнес демонстрирует некоторое отставание, хотя в последние годы скорость внедрения цифровых инструментов существенно возросла.

4. Сложная эпидемиологическая обстановка. Пандемия коронавирусной инфекции уже оказала значительное влияние на всемирную экономику, приведя к закрытию границ и объявлению карантина (подразумевающего остановку большинства предприятий) во многих странах как в начале 2020 г. [4], так и во вторую волну пандемии – осенью 2020 г. Это привело, в свою очередь, к проблемам и в области транспорта. Объемы перевозок грузов всеми видами транспорта в 2020 г. снизились по сравнению с аналогичным периодом 2019 г., сроки доставки существенно удлинились, непроизводительные простои транспорта возросли. Если рассматривать виды транспорта, то в наибольшей степени кризис затронул авиационный и автомобильный транспорт; с позиции объекта транспортной деятельности – пассажирский. Специалисты отмечают переориентацию перевозок с автомобильного и морского транспорта на железнодорожный, который позволяет избегать задержек на границах, карантинных мер для персонала, что делает сроки поставок более предсказуемыми и снижает риски задержек в пути. Прогнозы восстановления транспортного сектора от COVID-19 неоднозначные и неутешительные – в ряде случаев бизнесу требуется государственная поддержка и преференции, сокращения персонала, убытки и банкротства неизбежны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Trade Statistical Review 2020 [Electronic resource] // World Trade Organization. – 2020. – Mode of access: https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2020_e/wts2020_e.pdf. – Date of access: 28.12.2020.
2. Обзор российского транспортного сектора в 2019 г. Пятое ежегодное исследование КПМГ [Электронный ресурс] // ООО «КПМГ Налоги и Консультирование» – 2020. – Режим доступа: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2020/08/ru-ru-russian-transport-survey.pdf>. – Дата доступа: 28.12.2020.
3. Обзор тенденций развития транспорта и логистики в 2019 году: Пять факторов, влияющих на развитие транспортно-логистической отрасли [Электронный ресурс] // ООО «ПрайсвогтерхаусКуперс Консультирование» – 2020. – Режим доступа: <https://www.pwc.ru/ru/publications/transport-and-logistics-trends-2019.html>. – Дата доступа: 20.06.2020.
4. COVID-19 вызовы и их влияние на транспортно-логистический сектор [Электронный ресурс] // ООО «ПрайсвогтерхаусКуперс Консультирование» – 2020. – Режим доступа: <https://www.pwc.ru/ru/publications/collection/covid-transport-sector-impact.pdf>. – Дата доступа: 20.06.2020.

УДК 338.2

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

Т. А. БОРОДИЧ, А. С. КОДОЛИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Республика Беларусь находится в центре Европы и занимает очень выгодное географическое положение с позиции основных направлений грузопотоков, к которым относятся Западная Европа – РБ – РФ и Прибалтийские страны – РБ – Украина. Такое преимущество географического положения нужно умело использовать с целью сокращения цепи поставок и оптимизации грузопотоков. Фактически, для этих целей в Республике Беларусь создаются транспортно-логистические центры, численность которых в настоящий момент составляет 43 единицы, из них 12 являются государственными, в том числе 6 региональных филиалов РУП «Белтаможсервис».

Развитие и повышение эффективности деятельности компании требует оценки текущего состояния и обоснованного выбора соответствующих направлений. Поиск таких путей основан на проведении глубокого анализа показателей эффективности функционирования предприятия за ряд лет для выявления тенденций в динамике, возникающих проблем и слабых мест в деятельности предприятия. Выявленные проблемы и неиспользованные резервы являются альтернативными путями по повышению эффективности деятельности.

На основании оценки результатов работы Могилевского филиала РУП «Белтаможсервис» за 2017–2019 гг. можно сделать общие выводы о недостаточной эффективности функционирования организации. На протяжении анализируемого периода наблюдается снижение долгосрочных и краткосрочных активов. Долгосрочные активы снизились за счет снижения дебиторской задолженности, а краткосрочные – за счет снижения денежных средств как основной составляющей краткосрочных активов. Была также выявлена неустойчивая ликвидность, что свидетельствует о снижении платежеспособности. По проведенному анализу ликвидности было установлено, что у предприятия недостаточно собственного капитала для обеспечения потребности в оборотных средствах и для покрытия краткосрочных обязательств.

В 2019 г. более высокие темпы роста производительности труда по сравнению с темпами роста оплаты труда поспособствовали экономии фонда заработной платы на сумму 136,8 тыс. р. В то же время наряду с ростом производительности труда и заработной платы в 2018–2019 гг. наблюдается снижение объемов оказанных услуг и их эффективности, что свидетельствует о необходимости разработки мероприятий по стимулированию персонала транспортно-логистического центра.

Основной проблемой неэффективной работы предприятия является убыточность транспортной деятельности. Наблюдается отрицательная тенденция при оценке динамики технико-эксплуатационных показателей работы транспорта: снижение коэффициентов использования пробега и выпуска автомобилей на линию и падение грузооборота. Это связано с усилением конкуренции на рынке транспортных услуг, а также с ростом транспортных расходов организации.

На основе проведенного SWOT-анализа было проведено построение дерева целей повышения эффективности деятельности Могилевского филиала РУП «Белтаможсервис».

Проведенный корреляционно-регрессионный анализ показывает, что для увеличения рентабельности необходимо увеличивать коэффициент использования пробега, тогда как рост коэффициента опережения роста производительности труда над ростом заработной платы приведет к обратному результату, что указывает на необходимость совершенствования стимулирующей функции зарплаты.

Для увязки результатов деятельности сотрудников отдела логистики с размером получаемой премии предлагается использовать балловый метод оценки работы сотрудников по разработанным критериям. Предлагаемая система стимулирования позволит сотрудникам ощутить связь между работой и результатом и повысит качество выполняемых обязанностей.

Для повышения эффективности работы транспорта Могилевского филиала РУП «Белтаможсервис» с целью роста коэффициента использования пробега и снижения затрат на выполнение перевозок предлагается применять современные информационные технологии:

– во-первых, использование сервиса Flagma при составлении маршрутов доставки грузов с использованием различных критериев оптимизации (время, расстояние перевозки и т. д.), что позволит более гибко учитывать запросы потребителей транспортных услуг, повышая тем самым качество транспортного обслуживания и сокращая затраты на доставку. Проведенная оптимизация одного из маршрутов доставки груза в международном сообщении с точки зрения затрат показала, что наиболее рациональным является первый маршрут, по которому экономия составит 1,47 р., а также время доставки сокращается на 16 мин;

– во-вторых, внедрение программного продукта WialonLogistics позволит решить проблему Могилевского филиала с убытками по транспортной деятельности, т. е. сократит транспортные расходы за счет более оптимальной маршрутизации, сократит холостые пробеги автомобилей по маршруту, оптимизирует укладку грузов на транспортном средстве и позволит контролировать работу транспортных средств по маршруту. В процессе использования WialonLogistics полученный эффект составит 16 979 р. в год, срок окупаемости проекта – 0,830 года или 10 месяцев.

Таким образом, применение современных информационных систем и технологий позволит совершенствовать процессы управления, обеспечивая эффективность деятельности организации.

УДК 332.132

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Н. П. ДРАГУН, И. В. ИВАНОВСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Пространственное развитие согласно Основным положениям программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг.¹ является одним из его приоритетных направлений. Это обусловлено, во-первых, недостаточной однородностью и тенденцией увеличения поляризации экономического пространства страны, во-вторых, наличием в регионах потенциала развития, который в настоящее время используется не полностью, в-третьих, действием объективных пространственных механизмов (например, агломерационного эффекта), способствующих решению задач развития не только отдельных регионов, но и страны в целом.

В ряду факторов социально-экономического развития территорий важнейшее место занимает их географическое положение, характеризующее локализацию территории и ее экономических центров относительно как собственного географического центра, так и географических и экономических центров территорий более высокого порядка (регионов).

Исследуемый фактор может являться детерминантом двух важнейших направлений пространственного развития Республики Беларусь:

1) сокращения межрегиональной дифференциации, прежде всего, по уровню и качеству жизни населения;

2) развития регионов на основе использования пространственных эффектов.

Необходимость разработки практических мер в рамках названных направлений требует установления значимости и определения направления влияния географического положения территорий на уровень их социально-экономического развития. Это предопределило цель и задачи настоящего исследования.

В качестве индикаторов географического положения административно-территориальных единиц (АТЕ) базового уровня Республики Беларусь в исследовании использовались расстояния: административного центра АТЕ от географического центра региона; административного центра АТЕ от административного центра региона; административного центра АТЕ от ее географического центра; географического центра АТЕ от географического центра региона; географического центра АТЕ от административного центра региона. Определение вышеперечисленных географических центров и расстояний проводилось в ГИС-программе ArcGIS.

¹ <https://www.sb.by/articles/osnovnye-polozeniya-proekta-programmy-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-respubliki-belarus-na-2021-2025.html>

В результате исследования установлено следующее.

1. Устойчивая статистически значимая взаимосвязь географической локализации с уровнем социально-экономического развития и инвестиционной активности АТЕ. При этом более значимой является близкая локализация административного центра АТЕ от географического и административного центров области, менее значимой – близкая локализация административного от географического центра АТЕ.

2. Отрицательное влияние близкой локализации административного от географического центра АТЕ на уровень социально-экономического развития и инвестиционной активности районов, имеющих довольно развитые административные центры и характеризующихся относительно высоким удельным весом сферы услуг (неблагоприятных для сельскохозяйственного производства, городов 80+ и прилегающих к ним районов, туристско-рекреационных АТЕ), что может быть объяснено стагнацией экономики территорий, прилегающих к административным центрам данных АТЕ, в силу доступности услуг и рынка названных центров.

3. При разработке мер региональной политики, совершенствовании административно-территориального деления (АТД) целесообразно:

- сократить количество АТЕ, периферийных по отношению к географическому и административному центрам регионов. Это возможно как на основе разукрупнения регионов в результате изменения АТД, так и выделения и развития внутриобластных экономических районов в форме территориальных хозяйственных комплексов (их в Беларуси около двадцати);

- придать центрам экономического развития более высокий административный статус (см. выше), а также сократить расстояние между ними. Это целесообразно осуществлять как путем увеличения количества названных центров, например, стимулирования развития городов с численностью населения более 80 тыс. человек и прилегающих к ним районов или развития территорий со специальными режимами ведения хозяйственной деятельности (ИП «Великий Камень», ОЭЗ «Бремино-Орша» и др.), так и развития современных транспортных коммуникаций, прежде всего рельсового транспорта;

- разработать специальные меры по развитию территорий, прилегающих к крупным экономическим центрам (в данном случае – за исключением Минской агломерации), для преодоления отрицательного влияния данных центров на прилегающие территории в форме замедления развития на них организаций сферы услуг, перетока покупательной способности населения данных территорий на рынок центра;

- использовать агломерационные эффекты для развития АТЕ, прилегающих к г. Минску (Минской агломерации) и областным центрам, путем развития городов-спутников, их «умной» специализации в рамках агломерации, создания единых транспортных сетей, выноса производств из центров агломераций на прилегающие территории и другие.

УДК 332.1+316.42

АКТИВИЗАЦИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Н. С. ЖЕЛТОК

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Социально-экономическое развитие Республики Беларусь в значительной мере зависит от масштабов инновационной активности. Поэтому управление инновационным развитием должно основываться на выявлении мотивов инновационной деятельности и возможности воздействия на них посредством стимулов. И в этом направлении велика роль государства, которое располагает достаточными объемами финансирования и может влиять на активизацию инновационных процессов. Об этом свидетельствует практика развитых стран. Чтобы экономика Республики Беларусь динамично и устойчиво развивалась, государству самому необходимо освоить функцию инновационного развития. Эта функция должна включать решение следующих проблем:

- обеспечение эффективной доступности инновационных знаний;
- создание системы услуг для инновационного предпринимательства;
- наличие реального доступа к недорогим кредитам.

Не разработав политику поддержки инновационной активности, республика может потерять интеллектуальный потенциал. Накапливая инновационный потенциал, предприятия смогут получать более высокую добавленную стоимость.

Практика показывает, что без активизации инновационной активности невозможно обеспечить переход к новым технологическим укладам. Это подтверждено как мировой теорией, так и практикой развития экономики на инновационной основе. Для инновационного развития требуется сначала пройти этапы модернизации. Это необходимо потому, что производство продукции и услуг в республике поддерживается в основном на морально устаревшей и физически изношенной материальной базе. Высокий уровень износа основных производственных фондов непосредственно связан с финансовым положением большей части предприятий и организаций производственной и социальной сферы, не обладающих достаточными ресурсами для инвестирования своего развития. Более того, результаты анализа позволяют сделать обобщающий вывод о невысокой эффективности функционирования экономических механизмов. Динамичному росту инновационной активности мешают существующие проблемы правового и организационного характера.

Происходящая трансформация глобальной экономики дает нашей республике возможность совершить инновационный прорыв. Но для этого требуется корректировка государственной политики в сторону дальнейшего снижения административных и бюрократических барьеров.

УДК 338.24

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕХАНИЗМА ФИНАНСИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА

А. В. КАЗАНСКИЙ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Окончание действия «Государственной программы по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2017–2020 гг.», обсуждение новой программы «Дороги Беларуси 2012–2025 гг.», модернизация механизма финансирования дорожного хозяйства, введение транспортного налога вместо госпошлины за допуск транспортных средств к участию в дорожном движении дают повод рассмотреть тенденции развития механизма финансирования дорожного хозяйства, его эффективность.

В государственном регулировании механизм финансирования занимает важнейшее место. Состояние сети республиканских дорог общего пользования, ее развитие всецело зависят от объема государственного финансирования. На рис. 1 (в процентах) приведены данные о бюджетном финансировании дорожного хозяйства из республиканского бюджета. В расходах дорожного фонда учтены доходы республиканского дорожного фонда и направленные средства республиканского бюджета.

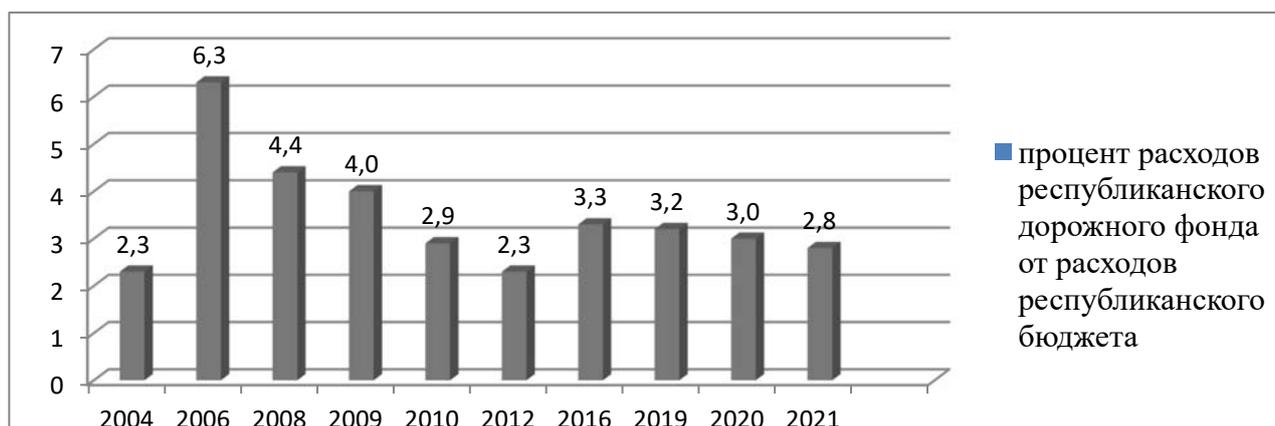


Рис. 1. Расходы на дорожное хозяйство, предусмотренные бюджетами Республики Беларусь в 2004–2021 гг.

В характеристике текущего состояния республиканских автомобильных дорог проекта программы «Дороги Беларуси» на 2021–2025 гг. отмечено, что транспортно-эксплуатационное состояние дорог не удовлетворяет в достаточной степени потребности народного хозяйства в автомобильных перевозках.

В 2020 г., по сравнению с 2008 г., в 23,4 раза сократилась протяженность капитально отремонтированных республиканских автомобильных дорог и в 3,5 раза протяженность дорог, на которых произведен текущий ремонт. Не обеспечивается восстановление ежегодного износа дорог. Снижение расходов на дорожное хозяйство в расходной части государственного бюджета не позволяло существенно улучшить состояние дорог.

Анализ расходов республиканского дорожного фонда выявил еще одну проблемную область. Она связана с размером средств, предназначенных на погашение кредитов банков и выплату процентов по ним (данные (в процентах) приведены на рис. 2). Рост расходов на обслуживание кредитов снижает возможности улучшения транспортно-эксплуатационного состояния дорог в ближайшей перспективе. Для усиления аргументации необходимости совершенствования механизма финансирования дорожного хозяйства следует дополнительно рассмотреть факторы, влияющие на состояние дорожной инфраструктуры: состав и интенсивность движения, динамику изменения количества эксплуатируемых грузовых и легковых автомобилей, грузо- и пассажирооборота.

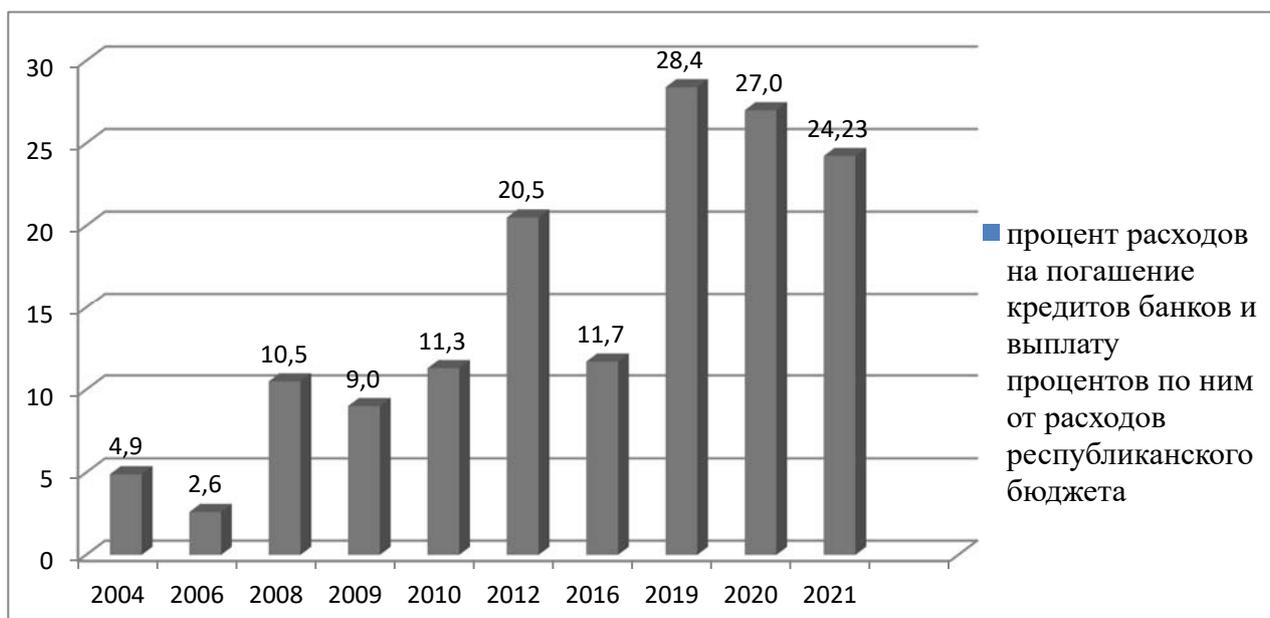


Рис. 2. Расходы на погашение кредитов банков и выплату процентов по ним, предусмотренные бюджетами Республики Беларусь в 2004–2021 гг.

Перед Республикой Беларусь стоит задача создания и содержания сети дорог, удовлетворяющей растущим потребностям экономики и общества в транспортных связях. Модернизация действующего механизма финансирования, формирование «дорожного фонда развития», предусматривающего наличие достаточного объема средств для финансирования дорожного хозяйства, является важнейшей задачей государственного регулирования транспортной инфраструктуры.

УДК 338.26.015

АНАЛИЗ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ ОАО «МОГОТЕКС»
ПО МЕТОДУ ДИББА–СИМКИНА

Л. А. КЛИМОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Метод Дибба–Симкина представляет собой универсальный и эффективный инструмент, позволяющий качественно проанализировать ассортиментный портфель организации. Получаемая в результате данного анализа классификация товаров помогает руководству предприятия выявить приоритетные позиции ассортимента, оценить эффективность сложившейся структуры ассортимента и пути ее оптимизации, определить основные направления развития отдельных товарных групп.

Матрица Дибба–Симкина строится на основе соотношения объема реализации продукции в стоимостном выражении и финансового вклада в покрытие затрат. Исходные данные для построения матрицы представлены в табл. 1.

Табл. 1. Исходные данные для построения матрицы Дибба–Симкина для ассортимента продукции ОАО «Моготекс»

Группа тканей	Номер на рис. 1	Цена реализации, р. / п. м	Переменные затраты, р. / п. м	Объем реализации, тыс. п. м.	Объем реализации V, р.	Финансовый вклад в покрытие затрат MDO, р.
Ткани плащевые	1	1,63	1,35	15 644,97	25 532,59	4 433,78
Ткани подкладочные синтетические	2	0,46	0,36	6 625,12	3 074,06	677,09
Ткани декоративные	3	3,52	2,91	2 395,35	8 438,82	1 457,57
Трикоткани «Метап»	4	0,65	0,51	1 070,83	692,83	149,27
Полотна трикотажные	5	4,53	3,64	1 567,17	7 102,41	1 395,09
Ткани из пряжи	6	2,43	1,94	2 993,15	7 258,39	1 451,68
Текстиль технический	7	0,71	0,50	2 544,99	1 809,49	541,57
Ткани со спецсвойствами	8	6,23	5,13	1 738,42	10 833,83	1 908,09
Ткани подкладочные искусственные	9	0,42	0,35	366,39	152,78	25,35
Ткани мебельные, тики смешанные	10	3,53	2,80	255,45	902,25	187,12
Ткани плат.-костюм., сорочечные	11	3,07	2,41	357,69	1 097,39	233,93
Полотна для жалюзи	12	3,31	2,85	3,68	12,19	1,70
<i>Среднеарифметическое значение</i>	–	–	–	–	5 575,59	1 038,52

Граница раздела в матрице по горизонтали будет соответствовать среднеарифметическому значению финансового вклада в покрытие затрат, в данном случае оно равно 10 385,22 р.; по вертикали – среднеарифметическому значению объемов реализации по группам ткани, в данном случае оно составляет 55 755,89 р. Матрица Дибба–Симкина для ОАО «Моготекс» представлена на рис. 1.

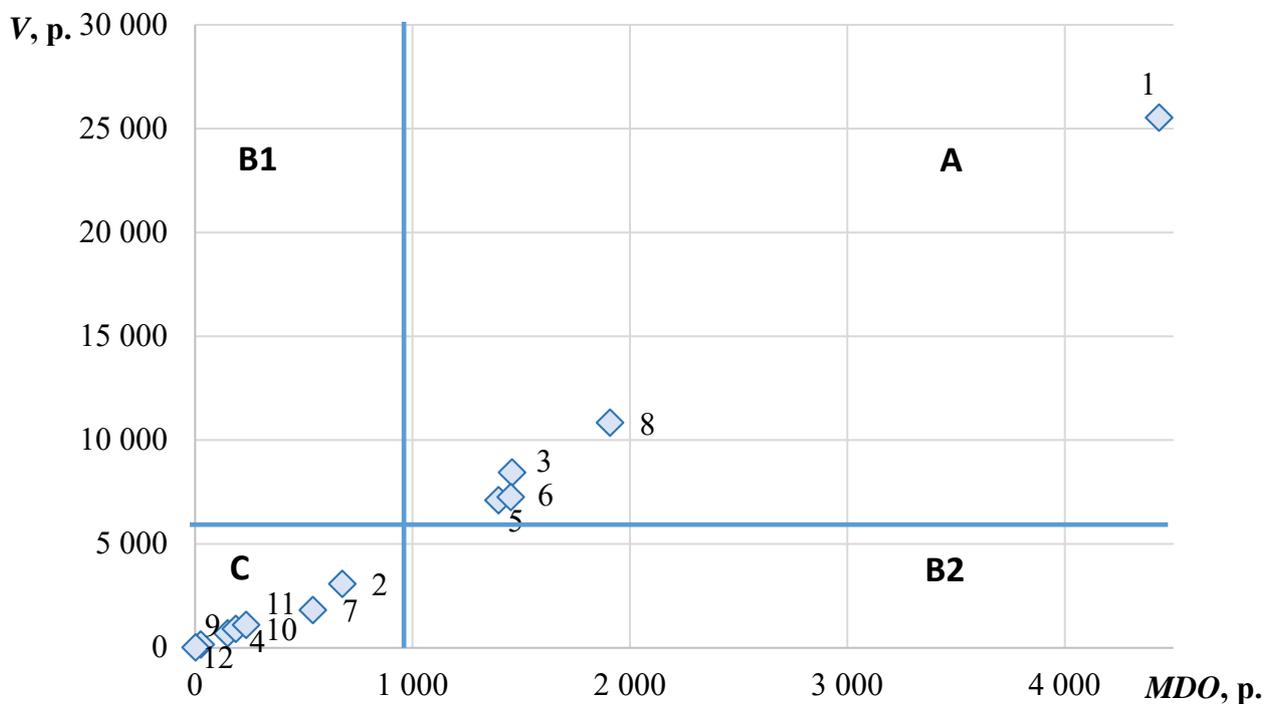


Рис. 1. Матрица Дибба–Симкина для ОАО «Моготекс»

Как видно на рис. 1, все ткани, выпускаемые предприятием, распределились на две группы.

Группа А (ткани плащевые, ткани декоративные, полотна трикотажные, ткани из пряжи, ткани со спецсвойствами) – наиболее ценная для предприятия группа; товары, входящие в эту группу, могут служить эталонами при выборе новой позиции для включения ее в ассортимент. Необходимо стремиться к росту количества товарных позиций в данной группе, т. к. увеличение продаж именно этих товаров способствует наибольшему росту прибыли предприятия.

Группа С (ткани подкладочные синтетические, трикоткани «Метап», текстиль технический, ткани подкладочные искусственные, ткани мебельные, ткани платьенно-костюмные, полотна для жалюзи) – наименее ценные для предприятия товары; руководству следует рассмотреть возможность вывода из ассортиментного портфеля ряда товаров из данной группы и введения товарных позиций, наиболее востребованных у потребителей, предварительно оценив экономическую эффективность исключения или значительного снижения объемов производства наименее прибыльных групп товаров (в частности, тканей подкладочных искусственных и трикотканей «Метап»).

УДК 339.137

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ АССОРТИМЕНТНОГО ПОРТФЕЛЯ ОАО «МОГОТЕКС» ПО ИНДЕКСУ КОНЦЕНТРИРОВАННОСТИ И ИНДИКАТОРУ НАПРЯЖЕННОСТИ

Л. А. КЛИМОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Количественными показателями оценки конкурентоспособности ассортиментного портфеля предприятия являются индекс концентрированности и индикатор напряженности:

CR3 – индекс концентрированности, показывает долю трех крупнейших позиций (категорий, брендов, поставщиков и т. д.);

HHI (индикатор Харфиндела–Хиршмана) – индикатор напряженности конкурентной среды, рассчитывается как сумма квадратов долей в портфеле (в процентах) всех позиций (категорий, брендов, поставщиков и т. д.).

Величина *HHI* может варьироваться в пределах от 0 (полная деконцентрация) до 10 000 (монопродуктовый портфель). Портфель ассортимента продукции предприятия считается неконкурентным, если значение индекса превышает 1 800 ед. (табл. 1).

Табл. 1. Характеристики ассортиментного портфеля по индексам концентрированности и напряженности

Характеристика ассортиментного портфеля	Индекс концентрированности <i>CR3</i>	Индикатор напряженности <i>HHI</i>
Неконцентрированный портфель	Менее 45 %	Менее 1 000
Умеренно концентрированный портфель	От 45 до 70 %	От 1 000 до 1 800
Высокая степень концентрации портфеля	Более 70 %	Более 1 800

Портфель продукции предприятия считается безопасным, когда в ассортименте товаров и/или услуг имеется:

– десять и более позиций товаров/услуг (торговых марок, брендов, категорий, поставщиков и т. д.);

– одна позиция не занимает более 31 % продаж в стоимостном выражении;

– две позиции не занимают более 44 % продаж в стоимостном выражении;

– три позиции не занимают более 54 % продаж в стоимостном выражении;

– четыре позиции не занимают более 63 % продаж в стоимостном выражении;

– десять позиций не занимают более 70 % продаж в стоимостном выражении.

Оценим ассортиментный портфель тканей ОАО «Моготекс» с помощью индекса концентрированности и индикатора напряженности (табл. 2).

Табл. 2. Расчет индекса концентрированности и индикатора напряженности ассортимента портфеля ОАО «Моготекс»

Номер группы	Группа тканей	Объем реализации, р.	Доля группы, %	Квадрат доли
1	Ткани плащевые	25 532,60	38,16	1 456,28
2	Ткани со специальными свойствами	10 833,84	16,19	262,19
3	Ткани декоративные	8 438,84	12,61	159,08
<i>Индекс концентрированности по трем крупнейшим позициям CR3</i>		–	66,97	–
4	Ткани из пряжи	7 258,40	10,85	117,69
5	Полотна трикотажные	7 102,43	10,62	112,69
6	Ткани подкладочные синтетические	3 074,06	4,59	21,11
7	Текстиль технический	1 809,49	2,70	7,31
8	Ткани плательно-костюмные, сорочечные	1 097,39	1,64	2,69
9	Ткани мебельные, тики смешанные	902,25	1,35	1,82
10	Трикотажные ткани «Метап»	692,83	1,04	1,07
<i>Индекс концентрированности по десяти крупнейшим позициям CR10</i>		–	99,75	–
11	Ткани подкладочные искусственные	152,78	0,23	0,05
12	Полотна для жалюзи	12,18	0,02	0,00
<i>Индикатор напряженности НИИ</i>		–	–	2 141,99

Как показывают данные табл. 2, ассортиментный портфель ОАО «Моготекс» имеет высокую степень концентрированности:

- 1) CR3 по трем крупнейшим позициям имеет значение более 54 % (66,97 %);
- 2) CR10 по десяти крупнейшим позициям составляет более 70 % (99,75 %).

Индекс напряженности равен 2 141,99, что выше нормативного значения ($НИИ > 1 800$), следовательно, ассортиментный портфель ОАО «Моготекс» является напряженным, т. е. изменение конъюнктуры рынка может повлиять на общий результат деятельности компании даже в краткосрочной перспективе, а временной лаг для принятия решений в рамках корректировки портфеля в случае изменения рыночной конъюнктуры является недостаточным.

Следовательно, необходимо работать в направлении снижения концентрированности и напряженности ассортимента портфеля продукции, в частности, снижать долю в объеме реализации тканей плащевых, тканей со специальными защитными свойствами, тканей декоративных, тканей из пряжи и увеличивать долю тканей, занимающих более низкие позиции в группах, а именно, полотна трикотажных, тканей плательно-костюмных, сорочечных, тканей подкладочных синтетических, текстиля технического.

УДК 338

ИССЛЕДОВАНИЯ РЫНКА И ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОЙ ПРОДУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. Г. КРОТОВА, С. Л. КОМАРОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Недостаточное количество парковочных мест – это проблема современного мира. Используя инновационный подход в решении данной проблемы, можно увеличить количество парковочных мест и сократить площади, занимаемые парковками.

Проведем сравнительный анализ по городам, таким как Минск и Могилев, Москва и Санкт-Петербург. Информация о численности жителей, количестве парковочных мест и зарегистрированных автомобилей получена из свободных источников и по данным Государственной автомобильной инспекции (ГАИ). Показатели приведены в табл. 1.

Табл. 1. Сравнительный анализ по городам

Критерий для сравнения	Город			
	Могилев	Минск	Москва	Санкт-Петербург
Численность населения, чел.	383 313	2 018 281	12 678 079	5 398 064
Количество автомобилей на 1 тыс., шт.	300	342	293	330
Количество автомобилей в городе, тыс., шт.	114 993	690 252	3 714 677	1 781 361
Количество парковочных мест на 1 тыс., шт.	2,3	2,5	81,8	2,8
Количество парковочных мест, шт.	2300	2500	81800	2800
Обеспеченность парковочными местами, %	2,00	0,36	2,20	0,16

Проведен расчет среднего количества людей, приходящегося на одно транспортное средство:

- Могилев – 3,33;
- Минск – 2,92;
- Москва – 3,41;
- Санкт-Петербург – 3,03.

Можно сделать вывод, что в среднем семья из трех человек является владельцем одного или более транспортных средств, а исходя из поправок, внесенных в ТКП 45-3.01-116–2008 и СНБ 3.03.02, для новой застройки закладывается норма в одно парковочное место на одну квартиру.

На сегодняшний день для г. Могилева актуальна проблема парковки транспорта сотрудников крупных предприятий в связи с тем, что в генеральном плане не предусмотрены парковочные места рядом с крупными предприятиями с учетом изменившихся требований.

Предприятия строились в середине 50–60 гг. XX в., когда уровень автомобилизации был ниже 10 % от численности всего населения города.

Однако предприятия могут воспользоваться своими ресурсами (котельные, ТЭЦ, ремонтные цеха и бригады для обслуживания роторной парковки) для заключения договора на пользование инновационной продукцией ОАО «Могилевлифтмаш» (роторной парковкой), используя разные финансовые схемы (кредит, лизинг и т. п.).

С целью исследования рынка потребителей была составлена анкета, в которой автомобилистам предложили ответить на ряд вопросов, связанных с парковками в г. Могилеве.

В качестве анкетированных выступили сотрудники Белорусско-Российского университета, работники завода ОАО «Могилевлифтмаш», работники ОАО «Химволокно». В анкетировании приняли участие 200 респондентов, имеющих личный автомобиль. Результаты представлены в табл. 2.

Табл. 2. Результаты анкетирования

Вопрос	Ответ респондентов		
	да	иногда	нет
Сталкиваетесь ли вы с проблемой парковки ежедневно?	80 %	15 %	5 %
Сталкиваетесь ли вы с проблемой припаркованных на тротуарах автомобилей?	90 %	8 %	2 %
Хотели бы вы личное парковочное место?	70 %	25 %	5 %
Хотели бы вы отслеживать через приложение свободные парковочные места?	85 %	10 %	5 %

Анализ на основе анкетирования показал большую заинтересованность владельцев автомобилей отслеживать свободные парковочные места в определенном районе проживания или работы.

В рамках генерального плана г. Могилева был спроектирован новый район в черте города на территории бывшей военной части, который в центральной части пересекается железной дорогой.

По правилам санитарных норм должна быть санитарная зона, отделяющая жилой комплекс от загрязняющих и вредных факторов. Поэтому в плане заложена многоуровневая парковка, которая должна стать барьером для жилых и социальных зданий. Однако из-за недостатка муниципального финансирования многоуровневый паркинг будет заменен на дорожные карманы вдоль железной дороги. Такого числа парковочных мест будет недостаточно для обеспечения нового района с учетом количества возводимого жилья в данном комплексе.

Проанализировав ситуацию в разных городах, можно сделать вывод, что количество транспортных средств увеличивается с каждым годом, а число парковок остается неизменным.

Становится актуальной проблема нехватки парковочных мест в разных городах как Республики Беларусь, так и за рубежом.

УДК 338

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ПРОДУКЦИИ МЕТОДОМ БЕНЧМАРКИНГА

А. Г. КРОТОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Автомобиль – неотъемлемая составляющая жизни современного человека, мы не представляем свою жизнь без авто. Развитие рынка автомобильного транспорта почти во всех мегаполисах и крупных городах связано с проблемой нехватки парковочных мест.

Появление парковочных комплексов с вместимостью более 100 автомобилей – это решение для крупных городов с численностью населения более 500 тыс., а многие мегаполисы имеют пределы расширения, за окончательные границы которых не собираются выходить. Вопросы градостроительства тесно связаны с проблемой уплотнения старых районов, а это, в свою очередь, сокращает число парковочных мест. Новые поправки в ТКП 45-3.01-116–2008 учитывают, что каждая новая квартира должна быть обеспечена парковочным местом.

Решить проблему с парковочными местами сможет новая продукция, разработанная ОАО «Могилевский завод лифтового машиностроения».

ОАО «Могилевлифтмаш» ставит приоритетные цели на изготовление инновационной и рентабельной продукции. Парковка карусельного типа, сконструированная и воплощённая в жизнь на современном оборудовании предприятия, стала первой в Республике Беларусь, что даёт преимущество на рынке сбыта страны. Такой современной и экономически выгодной парковкой заинтересовались инвесторы из Российской Федерации и Израиля. Таким образом, недавно сконструированная и выпущенная ОАО «Могилевлифтмаш» этажерка начинает пользоваться спросом за пределами Республики Беларусь, что является экономически выгодным результатом. Прибыль от реализации парковки, экономический эффект – это значительный доход предприятия и решение рассматриваемой проблемы – наличия свободных парковочных мест не только на территории страны, но и за её пределами. Могилевские инженеры конструированием парковки-этажерки решили довольно глобальную проблему загромождения автомобильных дорог и дворовых территорий.

Для сравнения инновационной продукции ОАО «Могилевлифтмаш» с продукцией зарубежных изготовителей использован такой вид маркетингового исследования, как метод бенчмаркинга, который заключается в сопоставлении потребительских характеристик отдельного вида изделий, изготавливаемых разными производителями, в установлении лучших значений их характеристик и использовании последних в качестве ориентиров при проектировании новых изделий или совершенствовании производимых. Сравнили парковки роторного типа, изготавливаемые в Беларуси, Китае, России, Турции.

На диаграмме представлены результаты метода бенчмаркинга (рис. 1).

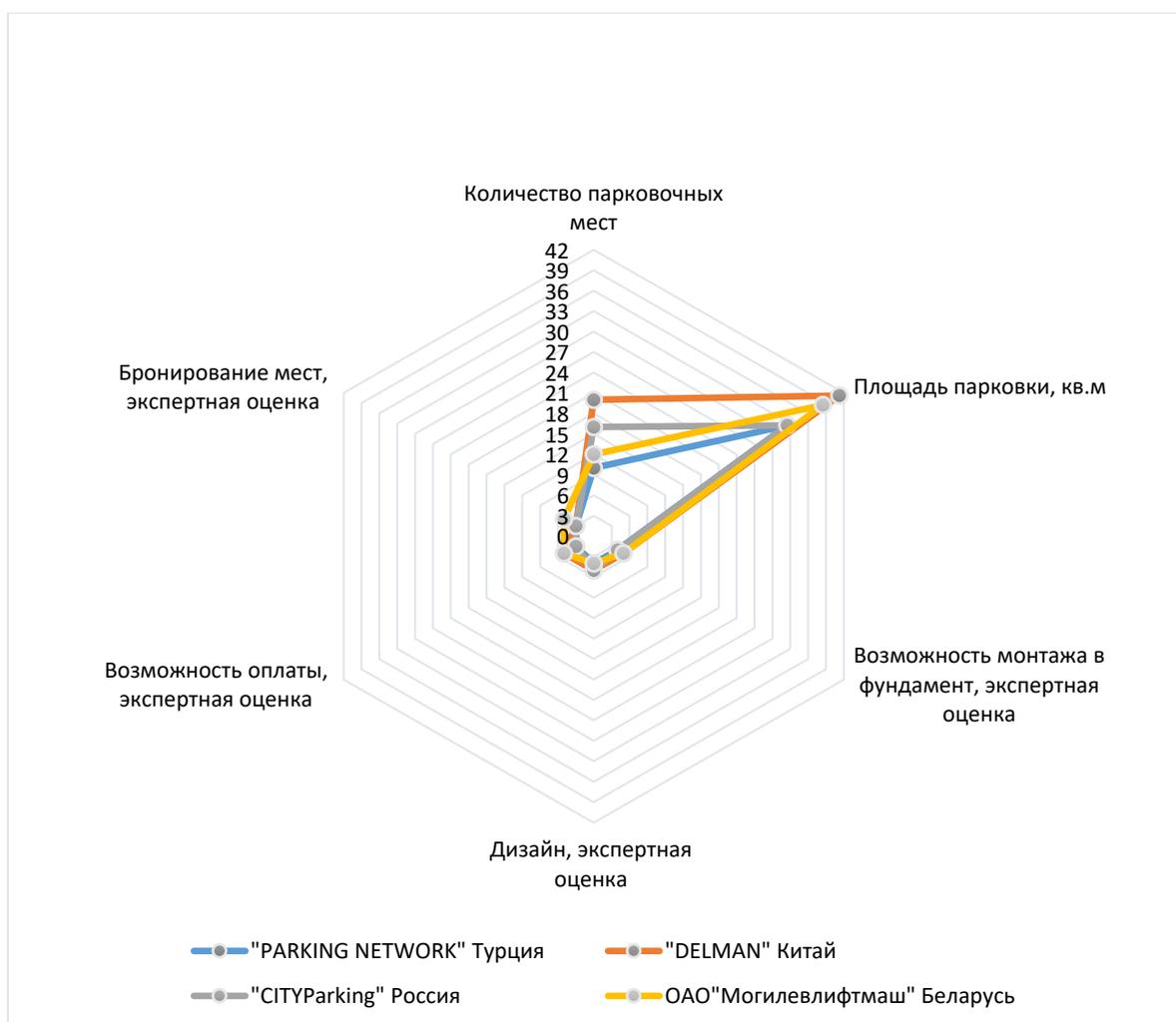


Рис. 1. Результаты по методу бенчмаркинга

Рассмотрев диаграмму, можно сделать вывод, что самая большая площадь многоугольника и, как следствие, самые высокие показатели конкурентоспособности у китайской фирмы DELMAN. Однако ОАО «Могилевлифтмаш» также не является аутсайдером и имеет показатели конкурентоспособности инновационной продукции (роторной парковки), сопоставимые с российским конкурентом.

Цена карусельной парковки для внутреннего рынка Республики Беларусь достаточно высокая в связи с тем, что страна испытывает последствия экономического кризиса, однако для внешнего рынка цена на данную продукцию является вполне приемлемой. Российские города-миллионники могут стать основным рынком сбыта инновационной продукции, потому что стоимость роторной парковки сопоставима со стоимостью однокомнатной квартиры в г. Москве (120 000 у. е.), а для застройщика это решение проблем с парковочными местами для двенадцати квартир. Но и для внутреннего рынка есть схемы продажи таких парковок. Покупателями роторной парковки могут стать крупные предприятия, не имеющие достаточно парковочных мест, но имеющие собственные ресурсы.

УДК 338.45

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. М. ЛОБАНОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Структура промышленного производства отдельной страны определяется большим количеством исторических, природно-климатических, социальных, политических факторов. Определённое межрегиональное структурное различие обрабатывающей промышленности обусловлено дислокацией предприятий-гигантов машиностроительного и химического комплексов, мощности которых многократно превосходят внутренние потребности республики.

Так, почти половину промышленного производства Могилевской области обеспечивают три отрасли: производство продуктов питания, напитков и табачных изделий (СА); производство резиновых и пластмассовых изделий, прочих неметаллических минеральных продуктов (СГ); производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки (СК). Стоит отметить увеличение доли производства продукции из дерева и бумаги с 2,7 до 8...10 % как результат масштабной модернизации деревообрабатывающей отрасли [1].

Основное направление расходования средств было связано с приобретением нового высокотехнологичного оборудования. Структура затрат на технологические инновации субъектов хозяйствования Могилевской области приведена на рис. 1.

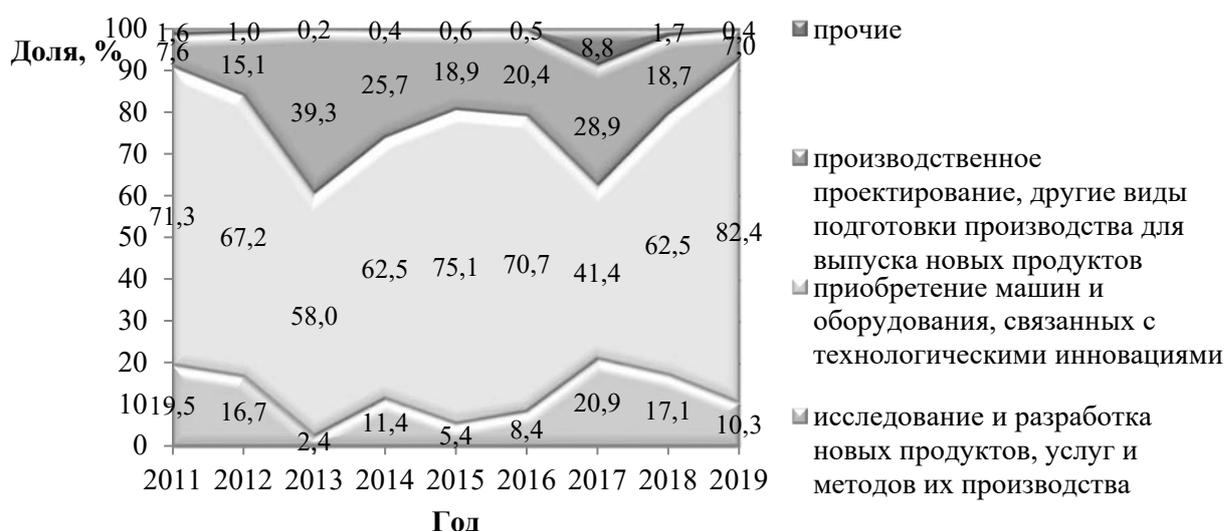


Рис. 1. Структура затрат на технологические инновации субъектов хозяйствования Могилевской области

Результатом эффективной модернизации является выпуск инновационной продукции с высокой добавленной стоимостью (ВДС), что приводит к ускорению окупаемости капиталовложений. Количество инновационно-активных

организаций в Могилевской области составляет менее 10 % от их общего количества в стране. Это соответствует той ситуации, что по многим показателям Могилевская область имеет наилучшие из всех областей показатели.

Ориентация инновационной продукции на внешний рынок и, преимущественно, на российский привела к определённой зависимости объёмов продаж от политической и, соответственно, экономической ситуации в соседней стране. Экономический кризис в России в 2014–2015 гг. отразился и на экспорте отечественной промышленной продукции. Но уже с 2015 г. наблюдается его стабильный рост. Так, с 2015 по 2020 гг. объём экспортируемой промышленной продукции предприятий Могилевской области вырос с 1,68 до 2,28 млрд долл. США.

Факторный анализ изменения ВДС в расчёте на одного работающего вследствие модернизации показал, что в тех отраслях, где произошли существенные обновления основных средств, прирост результирующего показателя обусловлен приростом объёмов выпуска продукции с более высоким уровнем добавленной стоимости. В том случае, если объём инвестиций в отрасль сопоставим с величиной годового износа, то прироста ВДС на одного работника либо не наблюдается, либо он обусловлен исключительно сокращением численности работающих.

Как показали исследования [2, 3], в последние годы имеет место замедление инвестиционных процессов, призванных обеспечить переход на новый технологический уровень производства. К дефициту инвестиционных ресурсов привела низкая отдача от инвестиций в основной капитал. Кроме того, существует и ряд других проблем [4], сдерживающих инновационные процессы и их результативность.

Таким образом, дальнейшая модернизация промышленного комплекса региона возможна только при ускорении отдачи на ранее вложенный капитал. Общим для всех отраслей направлением является наращивание производства и экспорта высокорентабельной продукции.

Реализация поставленной задачи для каждой отрасли имеет свои особенности, обусловленные спецификой и потенциалом конкретных промышленных предприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 28.01.2021.
2. **Федосенко, В. Н.** Результативность инновационной деятельности предприятий промышленности Республики Беларусь: достижения, проблемы / В. Н. Федосенко // Экономическая наука сегодня. – 2020. – № 11. – С. 132–138.
3. **Лобанова, Т. М.** Исследование влияния инвестиционных процессов на развитие отраслей обрабатывающей промышленности / Т. М. Лобанова // Весн. Магілёўскага дзярж. ун-та імя А. А. Куляшова. Сер. Д. Эканоміка, сацыялогія, права. – 2020. – № 2 (56). – С. 12–19.
4. **Лобанова, Т. М.** Инновационные аспекты конкурентоспособности экономики / Т. М. Лобанова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 26–27 апр. 2018 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018 – С. 457.

УДК 338.2

ПРОБЛЕМА ПРОСРОЧЕННОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТИ АГРООРИЕНТИРОВАННЫХ РАЙОНОВ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

О. Д. МАКАРЕВИЧ, Д. М. МАКАРЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В Могилевской области сельское хозяйство занимает значимое место, что связано с весомой долей данной экономической деятельности в структуре регионального производства. Большинство административных единиц для Могилевской области являются агроориентированными. Одной из проблем на современном этапе, сдерживающих развитие экономической деятельности, является наличие просроченной задолженности на региональном уровне.

В настоящее время особую роль в деятельности агроориентированных районов играют экономические риски, среди которых особо можно выделить несбалансированность дебиторской и кредиторской задолженности, т. е. асимметрию между суммой временно привлекаемых ресурсов и отвлекаемых активов.

Анализ динамики задолженности по Могилевской области за 2018–2019 гг. показал, что наблюдается рост кредиторской задолженности на 12,0 % и дебиторской на 28,6 %, при этом просроченная кредиторская задолженность возросла на 11,1 %, а просроченная дебиторская – на 17,8 %. Одной из основных проблем роста просроченной задолженности регионов является несовершенство управления денежными потоками, что требует разработки управленческих решений в рамках финансовой политики.

Субъекты хозяйствования, расположенные в районах Могилевской области, ввиду значительного недостатка собственных оборотных средств стремятся больше привлекать в оборот заемный капитал, что ухудшает их финансовое положение. Проблема также связана с тем, что наличие в организациях дебиторской задолженности, в том числе и просроченной, отвлекает свободные денежные средства из оборота, поэтому в данном исследовании проведено сопоставление результатов ABC-анализа регионов Могилевской области по уровню просроченной дебиторской и кредиторской задолженности. По результатам проведенного двойного ABC-анализа полученные группы объединены и представлены на рис. 1.

Анализ просроченной дебиторской и кредиторской задолженности показал, что наиболее проблемными регионами являются Славгородский, Кричевский, Круглянский, Климовичский, Горецкий, Глусский и Бобруйский районы. Неоплата дебиторской задолженности напрямую влияет на рост просроченной кредиторской задолженности. Следует отметить, что по регионам Могилевской области просроченная кредиторская задолженность значительно превышает дебиторскую, что является прямым свидетельством сложного финансового положения организаций регионов, большинство из которых являются субъектами хозяйствования АПК.

Группа		Признак – доля просроченной дебиторской задолженности		
		А	В	С
Признак – доля просроченной кредиторской задолженности	А	–	Климовичский район Горецкий район Глусский район Бобруйский район	Бельничский район Быховский район Кличевский район Дрибинский район
	В	Славгородский район Кричевский район Круглянский район	Чаусский район	Могилевский район Костюковичский район Шкловский район Осиповичский район
	С	Хотимский район	Чериковский район Мстиславский район Краснопольский район	Кировский район

Рис. 1. Обобщение классификаций районов по доле просроченной дебиторской и кредиторской задолженности с помощью ABC-анализа

Необходимость определения оптимального размера кредиторской задолженности требует организации четкого функционирования коммерческих связей предприятий с поставщиками. Практика показывает, что делать ставку только на самую низкую из предложенных цен не всегда является разумным. Может, например, оказаться, что цена низкая, но товара на складе практически никогда нет и приходится или увеличивать свои товарные запасы, или находиться постоянно под угрозой остаться без товара. Особое внимание должно уделяться умению правильно составлять контракты.

Для агроориентированных регионов особенно важным является разработка программ по управлению дебиторской задолженностью, особенно просроченной, которая заключается в решении таких вопросов, как оценка рисков неплатежа, формирование портфеля заказов, расчет сроков предоставления товарного кредита, оценка надежности дебиторов, установление стандартов по работе с дебиторами, разработка детальных графиков погашения дебиторской задолженности, системы поощрения и санкций для дебиторов и т. д.

Обобщив итоги исследования, можно сделать вывод о том, что проблема наличия просроченной кредиторской и дебиторской задолженности, особенностью которых является их общее основание (они базируются на разрыве во времени, которое происходит между товарной сделкой и ее оплатой), требует разработки комплекса мероприятий в области финансовой политики и финансовой дисциплины для обеспечения роста финансовых показателей как на уровне отдельных предприятий, так и на региональном уровне. При этом следует отметить, что контроллинг движения финансовых ресурсов может стать действенной системой, которая позволит оценивать возможности контрагентов, риск неоплаты задолженностей с обеих сторон.

УДК 338.2

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

О. Д. МАКАРЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Основная цель стратегии развития распределительной деятельности промышленного предприятия – обеспечение доступности продукции для потенциальных потребителей. Для ее достижения необходимо проведение аналитической работы, заключающейся в выявлении потребности целевого рынка, определении эффективных каналов распределения, а также оптимизации логистического сервиса и доставки продукции потребителям. Для эффективного решения этих задач необходимо всесторонне изучить и оценить существующую систему распределения продукции предприятия, для чего немаловажным является установление тесноты и формы связи между факторными признаками и конечным финансовым показателем эффективности деятельности с помощью корреляционно-регрессионного анализа. По результатам проведенного анализа обосновывается стратегическое развитие распределительной деятельности, для чего необходимо построить дерево целей, где, помимо генеральной цели, предусматриваются и подцели, способствующие достижению миссии предприятия.

В рамках данного исследования изучена распределительная деятельность промышленного предприятия, по результатам которой установлена зависимость рентабельности совокупного капитала от факторов развития распределительной деятельности (доли экспорта в реализации и коэффициента оборачиваемости запасов готовой продукции). Результаты показывают, что при увеличении коэффициента оборачиваемости запасов на 1 % предприятие получит рост рентабельности капитала на 0,59 %. Рост доли экспорта на 1 % будет способствовать дополнительному росту рентабельности на 1,8 %. Следовательно, для большего роста рентабельности капитала рекомендуется разработать мероприятия по завоеванию новых внешних рынков распределения продукции и оптимизации запасов готовой продукции.

По результатам проведенного анализа системы распределения готовой продукции и ее продвижения на рынок для рассматриваемого предприятия основными стратегическими подцелями являются внедрение стандартов фирменных магазинов в торговых объектах, создание новых продуктов, продвижение бренда, повышение эффективности работы дистрибьюторов.

На основании данных подцелей был разработан стратегический план, включающий в себя четыре раздела (рис. 1).

Раздел 1 «Маркетинг и продажи» включает в себя план мероприятий по реализации стратегических подцелей, приведенных выше.

Раздел 2 «Экономика и финансы» предполагает ежемесячно измерять динамику рентабельности инвестиций, рентабельности коллекции/ продукта.

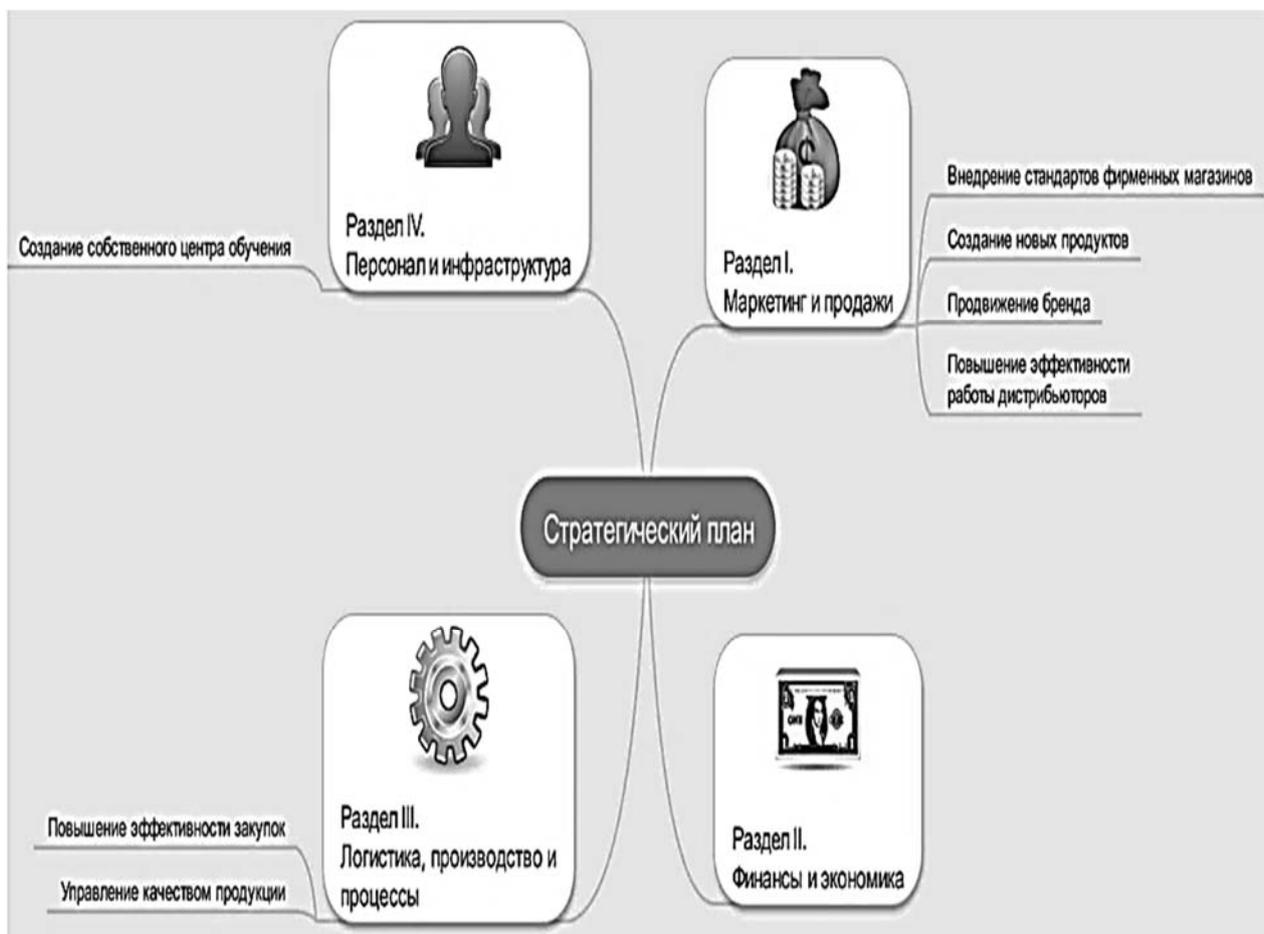


Рис. 1. Стратегический план развития распределительной деятельности промышленного предприятия

Раздел 3 «Логистика, производство и бизнес-процессы» включает в себя рассмотрение таких направлений, как повышение эффективности закупок и управление качеством.

В разделе 4 «Персонал и инфраструктура» предлагается создать центр обучения, на базе которого предлагается два вида обучения: электронное и традиционное.

Деятельность предприятия зависит от того, как она организована, поэтому составление стратегического плана и его соблюдение позволяют осуществлять деятельность любой организации более эффективно.

Таким образом, на уровень эффективности функционирования распределительной деятельности промышленного предприятия большое влияние оказывает состояние его внешней и внутренней среды, удовлетворенность клиентов и другие факторы, поэтому предприятие проводит анализ этих факторов с целью увеличения спроса, снижения запасов готовой продукции на складе и определения направлений совершенствования стратегического развития. Совершенствование плана стратегического развития позволяет ставить более высокие цели и достигать их.

УДК 657:336.743

К ВОПРОСУ УЧЕТА КУРСОВЫХ РАЗНИЦ

Т. В. МЕДВЕДСКАЯ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Финансовый результат организации включает в себя прибыль (убыток) от текущей деятельности (в том числе от реализации продукции, товаров, работ, услуг), а также от инвестиционной и финансовой деятельности. Зачастую при наличии положительного финансового результата от текущей деятельности организация является убыточной за счет влияния курсовых разниц.

Понятие курсовых разниц приведено в п. 2 НСБУ № 69, а в п. 7 стандарта предусмотрено, что суммы курсовых разниц отражаются по дебету (кредиту) счетов учета денежных средств, расчетов и других счетов и кредиту (дебету) счета 91 «Прочие доходы и расходы», что показано в табл. 1 [2].

Табл. 1. Отражение в учете положительных курсовых разниц

Дебет	Кредит	Содержание операций по отражению курсовых разниц
Отражение положительных курсовых разниц, входящих в состав доходов по финансовой деятельности		
50, 51, 52, 55, 57, 58	91.1 (прочие доходы)	При переоценке безналичных и наличных денежных средств в иностранной валюте
62, 71, 76		При переоценке дебиторской задолженности в иностранной валюте по переданным активам, работам, услугам
Отражение положительных курсовых разниц, входящих в состав расходов по финансовой деятельности		
91.4 (прочие расходы)	60, 66, 67, 76	При переоценке кредиторской задолженности, возникшей при приобретении активов, работ, услуг, и кредитов в иностранной валюте

При таком способе отражения курсовых разниц снижение курса белорусского рубля при превышении обязательств в иностранной валюте над валютными активами приведет к тому, что организация может существенно ухудшить финансовый результат как от финансовой деятельности, так и за отчетный период.

Для снижения влияния колебаний курса белорусского рубля и, следовательно, улучшения финансовых результатов деятельности коммерческих организаций Указом Президента Республики Беларусь «О пересчете стоимости активов и обязательств» от 12 мая 2020 г. № 159 им было предоставлено право относить курсовые разницы, образовавшиеся с 1 января 2020 г. по 31 декабря 2022 г., на счета 97 «Расходы будущих периодов» и 98 «Доходы будущих периодов». Следует отметить, что положения Указа № 159 применяются только в целях бухгалтерского учета и в отношении активов и обязательств, выраженных в иностранной валюте [3]. Согласно ст. 174 и 175 Налогового кодекса Республики Беларусь, возникающие курсовые разницы включаются в состав внереализационных доходов (расходов),

т. е. для целей налогообложения прибыли положения Указа № 159 не применяются [1].

В ходе исследования была произведена оценка целесообразности применения положений Указа № 159 для двух коммерческих организаций:

1) «А», у которой доходы от курсовых разниц от пересчета активов и обязательств превышают соответствующие расходы;

2) «Б», у которой расходы от курсовых разниц от пересчета активов и обязательств превышают соответствующие доходы.

Результаты исследования приведены в табл. 2.

Табл. 2. Оценка целесообразности применения положений Указа № 159

Организация «А»		Показатель отчета о прибылях и убытках	Организация «Б»	
Без учета положений Указа № 159	С учетом положений Указа № 159		Без учета положений Указа № 159	С учетом положений Указа № 159
301	301	Прибыль (убыток) от текущей деятельности	38 110	38 110
251	-125	Прибыль (убыток) от инвестиционной и финансовой деятельности	-15 016	-7 955
552	176	Прибыль (убыток) до налогообложения	23 094	30 155

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– списание курсовых разниц на доходы и расходы будущих периодов улучшит финансовый результат для тех организаций, у которых расходы от курсовых разниц превышают доходы. Однако следует отметить, что такое завышение показателей прибыли является «формальным», т. к. курсовые разницы все равно будут числиться на счетах расходов и доходов будущих периодов и в дальнейшем подлежат списанию;

– при превышении стоимости активов, выраженных в иностранной валюте, над стоимостью обязательств возникает ситуация, когда доходы от курсовых разниц больше расходов. Это приводит к уменьшению прибыли (увеличению убытка) от финансовой деятельности и, соответственно, прибыли (убытка) до налогообложения. При этом налоговая база по налогу на прибыль не изменяется.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Налоговый кодекс Республики Беларусь (Особенная часть) [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 29 дек. 2009 г., № 71-3: с изм. и доп.: текст по состоянию на 29 дек. 2020 г. // Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 01.02.2021.

2. Национальный стандарт бухгалтерского учета и отчетности «Влияние изменений курсов иностранных валют»: постановление Мин-ва финансов Респ. Беларусь, 29 окт. 2014 г., № 69: с изм. и доп.: текст по состоянию на 10 авг. 2017 г. // Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 01.02.2021.

3. О пересчете стоимости активов и обязательств: Указ Президента Респ. Беларусь, 12 мая 2020 г., № 159 // Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 01.02.2021.

УДК 338.2

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. Г. НЕЧАЕВА, Т. А. БОРОДИЧ, О. П. АНДРЕЕВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Оценка транспортного потенциала региона включает в себя оценку транспортной инфраструктуры, технико-экономических и финансовых показателей работы транспорта. Полностью сбалансированная система оценки транспортного потенциала региона дает возможность для дальнейшего его совершенствования и активного использования в системе стратегического и тактического планирования.

Проведенный анализ транспортного потенциала Могилевской области указывает на достаточно развитую транспортную инфраструктуру региона.

В 2019 г. наблюдается рост коэффициента Энгеля, что указывает на повышение обеспеченности региона транспортной сетью.

Индекс густоты сети имеет незначительную тенденцию к росту (на 0,19 %), но в то же время его значение выше единицы, что указывает на более высокую плотность дорог в Могилевской области относительно среднего республиканского значения.

Снижение плотности грузовых перевозок указывает на уменьшение эффективности использования транспортной сети региона.

Динамика грузооборота общественного транспорта Могилевской области за 2016–2019 гг. свидетельствует о росте данного показателя, что на фоне снижения объема перевозок в 2017 и 2019 гг. относительно предыдущего периода указывает на повышение использования грузового транспорта региона на более дальние расстояния.

Снижение темпов роста грузооборота во многом обусловлено последствиями мирового финансового кризиса и, как следствие, снижением спроса на услуги транспорта по перевозке грузов.

В то же время снижение объемов перевозок пассажирским транспортом и низкие темпы развития качества общественных пассажирских перевозок указывают на недостатки транспортной системы Могилевской области.

Транспортная деятельность в Могилевской области по перевозке пассажиров нестабильна и имеет тенденцию к снижению. Количество организаций по оказанию общественных транспортных перевозок снижается. Резкий скачок тарифов на перевозки пассажиров сдерживают социальные факторы, однако повышение тарифов – это не единственный фактор снижения транспортной деятельности. Такими причинами выступают высокая степень износа подвижного состава, повышение стоимости топлива, устаревший подвижной состав, дороговизна его ремонта и обслуживания, увеличение

личного транспорта среди населения, низкие темпы развития качества общественных перевозок.

Основа для принятия всех важнейших решений по развитию и техническому обустройству транспортной системы региона – это прогноз ожидаемых перевозок.

Ключевым в процессе прогнозных и плановых расчетов является определение потребности в перевозках и возможностей транспортных предприятий региона по их выполнению.

В экономическом прогнозировании широко применяется метод математической экстраполяции, который предполагает распространение закона изменения функции из области ее наблюдения на область, лежащую вне отрезка наблюдения.

Для прогнозирования с помощью экстраполяции необходимо представить имеющийся ряд наблюдений некоторого показателя, а затем подобрать к этим данным кривую известных функций так, чтобы разброс наблюдений по обе стороны от нее был наименьшим.

На основании метода экстраполяции было проведено прогнозирование таких ключевых показателей работы общественного транспорта Могилевской области, как грузооборот и пассажирооборот.

В результате расчетов наиболее подходящей функцией для построения тренда грузооборота была выбрана степенная функция, а для пассажирооборота – логарифмическая, т. к. коэффициент аппроксимации данных функций более близок к единице.

Формула для прогнозирования грузооборота выглядит следующим образом:

$$G_{об} = 1\,178,1 \cdot t^{0,273}, \quad (1)$$

где $G_{об}$ – прогнозируемый грузооборот, млн т·км; t – прогнозируемый период.

Формула для прогнозирования пассажирооборота имеет вид:

$$P_n = -116,22 \cdot \ln(t) + 1\,399,607, \quad (2)$$

где P_n – прогнозируемый пассажирооборот, млн пасс.-км.

Таким образом, при сохранении тенденций 2010–2019 гг. в 2020 г.:

– грузооборот общественного транспорта Могилевской области составит 2 267,2 млн т·км, а в 2021 г. – 2 321,7 млн т·км;

– пассажирооборот общественного транспорта Могилевской области составит в 2020 г. 1 120,9 млн пасс.-км, а в 2021 г. – 1 110,8 млн пасс.-км.

На основе полученных прогнозных значений показателей грузооборота и пассажирооборота можно планировать деятельность транспорта региона, разрабатывать мероприятия по повышению эффективности его деятельности.

УДК 336.7

АКТУАЛЬНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ ПОПРАВКИ НА РИСК ПРИ ОЦЕНКЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ

Л. В. ОЛЕХНОВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Для оценки инвестиционных проектов принято использовать показатель чистой текущей стоимости проекта (далее – NPV). Важное значение при определении данного показателя имеет ставка дисконтирования.

Факторы, которые влияют на величину ставки дисконтирования, следующие:

- ставка по депозитам финансово устойчивых коммерческих банков;
- доходность государственных ценных бумаг;
- ставка рефинансирования Национального банка.

Сформированная исходя из представленных ориентиров ставка дисконтирования будет являться безрисковой.

Однако в условиях высокой колеблемости ключевых макроэкономических показателей государства, показателей банковской системы и предприятий реального сектора экономики необходимостью является внесение поправки на риск.

Интересен в данном случае опыт экспертов в предлагаемых ими методиках выбора премии за риск.

1. Методика компании «Альт-Инвест». Она заключается в том, что необходимо разделять премии за риск инвестиционных проектов, поддерживающих существующее производство, и новых инвестиционных проектов. То есть существующее производство будет иметь минимальный риск по сравнению с новым проектом.

2. Методика расчета ставки П. Л. Виленского, В. Н. Лившица, С. А. Смоляка, предлагающих к безрисковой ставке добавлять премию за риск, которая может достигать высокого значения, например, 50 %.

3. Финским ученым Я. Хонко была разработана методика расчета премий за риск для различных классов инвестиционных проектов. Данные премии за риск представлены в агрегированном виде, и инвестору необходимо выбрать в соответствии с целью инвестиции поправку на риск.

В настоящее время риски возрастают, что не может не беспокоить инвесторов. Для того чтобы оценить чистую текущую стоимость проекта, необходимо идентифицировать и учесть все возможные риски, с которым он может столкнуться в период реализации проекта.

В табл. 1 представлены данные для определения чистой текущей стоимости инвестиционного проекта. Расчет NPV производился с учетом ставки дисконтирования, равной 17 %, а также ставки дисконтирования, скорректированной на риск в размере 5 %, равной 22 %. Данная ставка включает премию за риск.

Табл. 1. Чистая текущая стоимость проекта

В рублях

Период	Стартовая инвестиция	Денежный поток	Чистый денежный поток при ставке дисконтирования $k = 17\%$	Чистый денежный поток с учетом поправки на риск в размере 5%
0	500 000			
1		100 000	85470,1	81967,2
2		150 000	109577,0	100779,4
3		200 000	124874,1	110141,4
4		250 000	133412,5	112849,8
5		300 000	136833,3	110999,8
NPV			90 167	16 737,5

Таким образом, чистая текущая стоимость проекта при ставке дисконтирования 17% равна 90 167 тыс. р.

Корректировка ставки дисконтирования на риск значительно снизила показатель NPV. Разница составила 73 429, 5 тыс. р.

Поправка на риск не всегда может иметь постоянную величину на протяжении всего рассматриваемого периода. Она может повышаться. Процент повышения премии за риск зависит от текущего состояния экономики и уровня странового риска.

С учетом традиционного роста риска во времени премия за риск должна возрастать по годам дисконтирования. Ожидаемый чистый денежный поток по проекту может быть постоянным в течение, например, 5 лет срока жизни проекта, но риск денежного потока растет во времени. Особенно в условиях существующей нестабильной экономической ситуации в стране и мире.

Для оценки странового риска специалистами Мирового банка разработана таблица, включающая в себя перечень важнейших факторов риска и шкалу их количественной оценки.

Согласно разработанной модели, страновой риск формируется из трех основных групп факторов, порождающих риски. Это группы факторов, которые связаны:

- с активами;
- с социально-экономической ситуацией;
- с финансами.

Сложившаяся экономическая ситуация требует взвешенной политики в выборе инвестиционной стратегии. При реализации инвестиционного проекта необходимо четко осознавать, что инвестиционная деятельность осуществляется в условиях неопределенности, в результате которой финансовые потоки могут сильно отличаться от прогнозируемых. Поэтому инвесторам важны продуманный подход к анализу надежности проекта, идентификация всех возможных рисков и их объективная оценка.

УДК 336.7

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТАТОЧНОСТЬЮ НОРМАТИВНОГО КАПИТАЛА КОММЕРЧЕСКИХ БАНКОВ

Л. В. ОЛЕХНОВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В Беларуси действуют 24 банка, при этом 13 из них Национальный банк относит к системно значимым. На долю двух крупнейших государственных банков (Беларусбанк и Белагропромбанк) приходится около 70 % активов банковской системы.

В условиях нестабильной экономики значительно повышается актуальность укрепления надежности коммерческих банков, повышения достаточности их капитала. Достаточность нормативного капитала банка – это его способность погашать потери за свой счет.

Достаточность нормативного капитала всей банковской системы Республики Беларусь на начало 2021 г. составляет 17 % при пруденциальных требованиях 12,5 %. Однако видимый значительный запас прочности не свидетельствует о том, что банковская система находится в стабильном состоянии.

Чистая прибыль банков за январь – ноябрь 2020 г. составила 943,8 млн р. По сравнению с аналогичным показателем за январь – ноябрь 2019 г. эта величина оказалась на 13,8 % ниже. На рис. 1 представлены показатели достаточности нормативного капитала ОАО «Приорбанк», ОАО «Технобанк», ОАО «Паритетбанк».

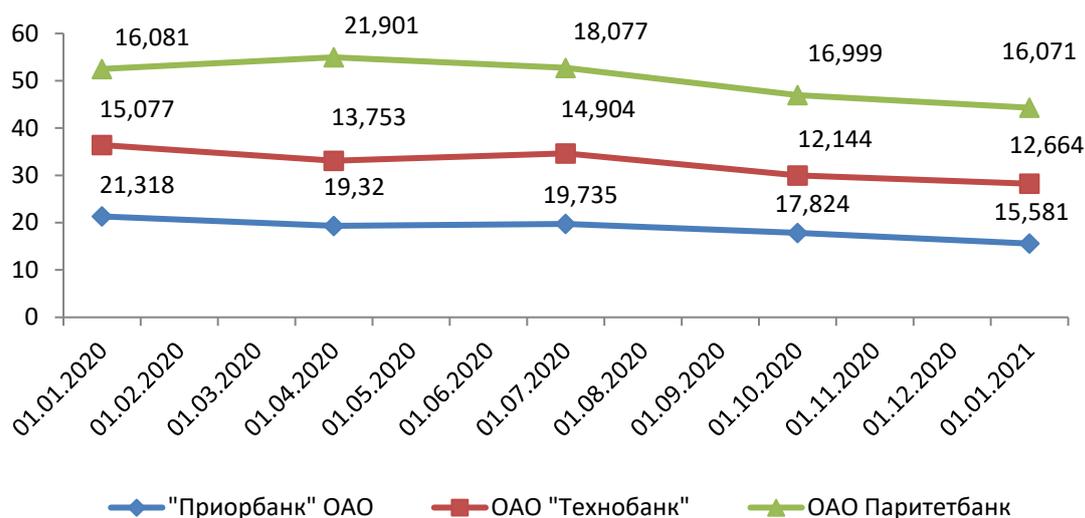


Рис. 1. Достаточность нормативного капитала коммерческих банков Республики Беларусь (в процентах)

Согласно данным рассматриваемых банков, наблюдается снижение показателя достаточности нормативного капитала банка, и это является негативной тенденцией, которая может привести к тому, что банки не смогут покрывать риски за счет капитала, снизится их надежность и, как следствие, доверие со стороны клиентов. Безопасность работы банков напрямую влияет на безопасность экономики страны.

В 2020 г. наблюдалось уменьшение рублевой ресурсной базы коммерческих банков. Причем снижение привлеченных средств произошло быстрее, чем банки смогли произвести корректировку своих кредитных операций. Как следствие, у банков снизились возможности по поддержанию нормативно установленного объема ликвидных средств в Национальном банке. Это провоцирует повышение риска несбалансированной ликвидности. Национальный банк как общественно значимый институт уделяет значительное внимание управлению рисками и следует современным стандартам и лучшим практикам в данной области. Национальный банк актуализировал необходимость применения стресс-тестирования всей банковской системы страны, а также внес изменения в нормативные документы. 3 февраля 2020 г. Национальный банк принял Постановление № 27, которым изменил свое Постановление № 172 от 31 октября 2006 г. Изменения были необходимы для совершенствования порядка составления и представления банками пруденциальной отчетности в Национальный банк. На период до 31 декабря 2020 г. включительно изменялись отдельные пруденциальные требования. При этом в случае снижения уровня ликвидности банков Национальный банк готов увеличить сроки рефинансирования и предоставить банкам кредиты на срок от трех до шести месяцев по ставке рефинансирования.

К основным видам рисков, способных оказать существенное влияние на финансовое состояние банка, относятся кредитный риск, риск ликвидности, рыночные риски, процентный риск банковского портфеля, операционный риск, стратегический риск. В условиях нестабильной экономики коммерческие банки должны проявить повышенное внимание к современным способам управления рисками. В настоящее время является актуальным:

- проведение самостоятельного анализа собственного риск-профиля и выявление наиболее существенных рисков;
 - построение эффективной системы взаимодействия службы риск-менеджмента с бизнес-подразделениями коммерческих банков;
 - расстановка приоритетности в задачах и методах по управлению операционным риском в коммерческих банках;
 - применение новых технологий при оценке кредитного риска, использование сервиса геолокации;
 - изучение и применение современных методик стресс-тестирования рисков.
- При этом внутренняя процедура оценки достаточности капитала должна быть адекватна новым условиям деятельности банка, изменяющимся характеру и масштабу осуществляемых операций, уровню и сочетанию принимаемых рисков.

УДК 338.5

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ЗАТРАТ НА ПРОИЗВОДСТВО ПРОДУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. Н. ПАНКОВА, О. В. БАЛЬЧЕВСКАЯ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Одним из направлений повышения эффективности функционирования промышленного комплекса Могилевской области является снижение уровня затрат на производство и реализацию продукции. В табл. 1 представлена динамика уровня затрат промышленных предприятий области.

Табл. 1. Анализ уровня затрат на производство и реализацию продукции промышленных предприятий Могилевской области

Наименование района (города)	Объем производства продукции, тыс. р.		Затраты на производство и реализацию продукции, тыс. р.		Уровень затрат на производство продукции, %		Изменение уровня затрат, %
	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	
Бельничский	7 093	7 971	7 024	7 702	99,0	96,6	2,5
Бобруйский	2 323	2 975	2 250	2 913	96,9	97,9	-1,1
Быховский	83 060	76 695	73 591	68 472	88,6	89,3	-0,8
Глусский	3 545	4 698	3 524	4 431	99,4	94,3	5,4
Горецкий	142 445	118 450	136 016	111 843	95,5	94,4	1,1
Дрибинский	3 153	3 587	3 141	3 450	99,6	96,2	3,6
Кировский	3 278	3 946	3 275	3 904	99,9	98,9	1,0
Климовичский	87 879	93 823	73 049	79 337	83,1	84,6	-1,7
Кличевский	3 954	4 131	3 920	4 056	99,1	98,2	1,0
Костюковичский	195 115	179 534	187 795	181 931	96,2	101,3	-5,0
Краснопольский	3 019	3 374	3 034	3 229	100,5	95,7	5,0
Кричевский	187 437	166 779	160 823	149 050	85,8	89,4	-4,0
Круглянский	8 454	9 731	8 085	9 492	95,6	97,5	-2,0
Могилевский	546 262	465 120	418 077	381 599	76,5	82,0	-6,7
Мстиславский	10 556	10 573	9 689	9 752	91,8	92,2	-0,5
Осиповичский	397 078	381 677	349 074	372 707	87,9	97,6	-10,0
Славгородский	3 173	3 818	3 167	3 770	99,8	98,7	1,1
Хотимский	3 870	3 905	3 665	3 874	94,7	99,2	-4,5
Чаусский	6 149	7 208	7 728	7 143	125,7	99,1	26,8
Чериковский	4 033	4 818	3 998	4 795	99,1	99,5	-0,4
Шкловский	226 944	231 761	211 595	219 142	93,2	94,6	-1,4
г. Бобруйск	1 228 838	1 232 434	1 140 223	1 163 349	92,8	94,4	-1,7
г. Могилев	2 695 648	2 849 745	2 547 272	2 719 933	94,5	95,4	-1,0
Итого по промышлен- ному комплексу	5 853 306	5 866 753	5 360 015	5 515 874	91,6	94,0	-2,6

Из табл. 1 видно, что в целом по области можно констатировать снижение уровня затрат предприятий промышленного комплекса. Вместе с тем в девяти (39,1 %) регионах области наблюдается рост уровня затрат. Для выработки направлений снижения уровня затрат в табл. 2 изучена их структура.

Табл. 2. Структура затрат на производство и реализацию продукции промышленных предприятий Могилевской области

Наименование района (города)	Затраты на производство и реализацию, тыс. р.		Доля материальных затрат, %		Доля затрат на оплату труда с отчислениями на социальные нужды, %		Доля амортизации, %	
	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.
Белыничский	7 024	7 702	46,0	42,5	44,1	44,0	6,7	8,9
Бобруйский	2 250	2 913	26,6	27,3	62,2	61,6	6,1	6,4
Быховский	73 591	68 472	70,7	65,8	18,3	16,7	3,2	4,4
Глусский	3 524	4 431	31,0	31,2	55,3	54,1	8,2	7,9
Горецкий	136 016	111 843	84,0	80,2	12,2	14,7	2,2	3,1
Дрибинский	3 141	3 450	49,9	45,5	39,8	42,1	3,9	4,4
Кировский	3 275	3 904	41,2	35,6	48,0	54,2	2,3	3,0
Климовичский	73 049	79 337	76,3	76,9	15,2	14,0	4,9	5,1
Кличевский	3 920	4 056	48,4	44,6	45,5	44,4	3,3	8,8
Костюковичский	187 795	181 931	67,3	70,6	14,8	12,6	13,9	14,3
Краснопольский	3 034	3 229	41,3	33,1	51,2	55,7	6,1	9,9
Кричевский	160 823	149 050	62,8	63,8	13,6	12,8	20,8	20,4
Круглянский	8 085	9 492	52,4	50,9	32,6	32,6	6,2	10,1
Могилевский	418 077	381 599	73,6	70,1	12,8	11,9	5,5	11,5
Мстиславский	349 074	372 707	79,3	82,2	13,8	11,5	5,0	4,5
Осиповичский	3 167	3 770	38,4	42,2	35,7	38,3	3,5	6,3
Славгородский	3 665	3 874	47,4	42,5	48,2	46,8	1,2	6,1
Хотимский	7 728	7 143	52,2	43,2	39,8	41,4	6,3	12,6
Чаусский	3 998	4 795	40,6	40,7	40,7	39,2	13,1	15,1
Чериковский	211 595	219 142	83,4	76,7	11,4	11,7	2,6	8,1
г. Бобруйск	1 140 223	1 163 349	65,2	67,6	24,4	22,2	5,1	5,9
г. Могилев	2 547 272	2 719 933	70,3	73,9	19,9	17,1	6,0	5,8
Итого по промышленному комплексу	5 360 015	5 515 874	70,4	72,3	19,2	17,2	6,1	6,8

Из табл. 2 видно, что промышленное производство в области является материалоемким, как и в Белыничском, Горецком, Дрибинском, Славгородском и Чаусском районах, допустивших рост уровня затрат на производство. В Глусском, Кировском и Краснопольском районах промышленное производство является трудоемким.

Таким образом, при разработке планов развития материалоемким районам следует включить в них комплексы мероприятий по сокращению материальных затрат промышленных предприятий, включающие поиск новых поставщиков материальных ресурсов, изменение норм расхода материалов для обеспечения наиболее рационального и эффективного их использования в производстве, передачу на аутсорсинг наиболее материалоемких производственных операций.

При разработке планов развития трудоемким районам следует включить в них комплексы мероприятий по сокращению затрат на оплату труда и отчислений на социальные нужды за счет оптимизации избыточной среднесписочной численности работников, повышения уровня их профессиональной подготовки и квалификации, внедрения КРІ (ключевых показателей эффективности) как одного из инструментов оптимизации затрат на оплату труда.

УДК 338.2

ОБОСНОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ЕГО КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

Т. В. ПУЗАНОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Активное развитие производств легкой промышленности в развивающихся странах при значительной государственной поддержке и наличии собственного сырья оказало влияние на перераспределение производительных сил отрасли с центром производства в странах Юго-Восточной и Средней Азии. В этих условиях важнейшей задачей предприятия легкой промышленности является обеспечение его экономической безопасности и конкурентоспособности. В этом контексте логистическая концепция развития любого субъекта хозяйствования является одним из важнейших инструментов, обеспечивающих оптимизацию ограниченных ресурсов при управлении материальными потоками.

В структуре обрабатывающей промышленности Республики Беларусь как основы промышленного производства, на долю которой приходится около 80 % общего объема промышленного производства, производство текстильных изделий, изделий из кожи и меха составляет около 4 %.

ОАО «Лента» является членом концерна «Беллегпром» и в системе легкой промышленности Республики Беларусь это ведущее предприятие по производству текстильно-галантерейных изделий: лент, тесьмы, шнуров, текстильной застежки, гардинного полотна, штучных гардинных изделий. Основные конкуренты предприятия, обладающие достаточными производственными мощностями, находятся за пределами Республики Беларусь: в Польше, России, Тайване, Китае, Турции. Основное конкурентное преимущество производителей текстильной галантереи и гардинного полотна – как правило, более низкий уровень цен на продукцию.

При выявлении конкурентных преимуществ важными факторами являются внешняя и внутренняя среда предприятия, состояние которых необходимо контролировать. Для изучения факторов микросреды проведен анализ пяти сил Портера, факторов внешней среды – PEST-анализ, совокупности сред – SWOT-анализ.

Результат анализа пяти сил Портера показал, что наиболее высокую угрозу предприятию при выходе на новые производственные мощности представляет жесткая ценовая конкуренция со стороны уже существующих на рынке игроков. При этом работа с существующими покупателями и поставщиками всё же должна оставаться одним из главных приоритетов, а также должна основываться на постоянном обновлении ассортимента, поиске новых покупателей, новых рынков сбыта, выводе на рынок новых продуктов. По данным PEST-анализа были определены важнейшие направления маркетинговой стратегии

предприятия: постоянное внедрение новых технологий производства и стимулирование продаж. По данным SWOT-анализа, усилия необходимо сконцентрировать на оперативном мониторинге рынка для реализации ценовой политики и инвестировании в маркетинговые мероприятия.

Конкурентоспособность предприятия во многом определяется конкурентоспособностью выпускаемой продукции, анализ которой для ОАО «Лента» проведен с помощью методики с применением единичных и групповых показателей конкурентоспособности продукции, оцениваемых с позиции потребителей в сравнении с основными конкурентами предприятия – гардинной фабрикой «Моздокские узоры» и ООО «Фитекс». В результате оценены основные конкурентные преимущества ОАО «Лента»: высокое качество продукции и его постоянный контроль; высокий процент обновления рисунков гардинного полотна и изделий при более низкой средней цене конкурентов.

Таким образом, в целом предприятию для сохранения и укрепления своих конкурентных позиций требуется осуществление деятельности в области распределительной логистики в следующих направлениях:

- ассортиментная политика. Перспективное направление в развитии ассортимента и увеличении доли рынка ОАО «Лента» в Российской Федерации – производство текстильной галантереи для пошива военного имущества (одежды, снаряжения). Данное направление привлекательно тем, что закупка данного ассортимента происходит в основном в рамках гособоронзаказа и отличается большими объемами закупок и платежеспособностью покупателей;

- дистрибуционная политика: проведение политики клиентинга, увеличение объемов поставки в Узбекистан, Казахстан, Таджикистан;

- разнообразная по организационным формам логистика, основанная на своевременном размещении заказов в производстве, оптимальном управлении запасами, обеспечении выполнения заказов потребителей;

- ценовая политика: контроль за ценовой политикой конкурентов и корректировка цен реализации продукции, обеспечение единства цен в дистрибуционной сети в пределах региона.

При наличии развитой товаропроводящей сети предприятию требуется для расширения рынков сбыта, увеличения объемов продаж на экспорт расширение дилерской сети в Российской Федерации (Южный и Приволжский округа), Монголии и Туркменистане. По величине критического уровня продаж были выбраны оптимальные виды вариантов каналов сбыта (одноканальные и многоканальные), обеспечивающие наименьшие затраты на их содержание, что позволит обеспечить прирост прибыли до 27 %.

Таким образом, для анализируемого промышленного предприятия наиболее выгодными являются прямые хозяйственные связи, когда связующим звеном между потребителем и предприятием выступают только розничная сеть магазинов и взаимодействие с посредниками (дилерами), т. к. это уменьшает затраты, связанные с распределением товаров. Для экспортно ориентированного предприятия, такого как ОАО «Лента», важнейшим решением, укрепляющим его экономическую безопасность и конкурентоспособность, является эффективное расширение рынков сбыта.

УДК 338

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПУТЕЙ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Т. В. ПУЗАНОВА, В. В. ПАНТЮХОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Товаропроизводители должны строить свою деятельность исходя из главного принципа – наиболее полное удовлетворение требований потребителей. А этого можно достичь только с экономически эффективной, качественной и конкурентоспособной продукцией, производство которой определяет финансовое благополучие производителей.

В качестве объекта исследования в работе рассматривается предприятие ОАО «МОЖЕЛИТ» – монополист по производству желатина, основными видами продукции которого являются желатин пищевой и технический ГОСТ 11293–2017, преципитат кормовой ТУ ВУ700049410.002–2008, жир животный технический ГОСТ 1045–73, концентрат соединительнотканых белков «БЕЛПРО». На сегодняшний день производство желатина имеет перспективы его дальнейшего развития ввиду того, что потребителями желатина являются более 30 отраслей народного хозяйства. Анализ риска невостребованной продукции на предприятии выявил присутствие остатка продукции по трем ассортиментным позициям: жир технический, желатин пищевой, преципитат, причем большую часть занимает желатин (66 %).

На рынке Беларуси в качестве конкурентов ОАО «МОЖЕЛИТ» присутствуют такие предприятия, как «GELITA», «Hangzhou xiaoshan Jinxiang Gelatin Co», «ITALGELATINE», ЗАО «Минераловодский желатиновый завод», ОДО «Лисичанский желатиновый завод», при этом анализ структуры рынка показал, что темп прироста доли рынка ОАО «МОЖЕЛИТ», «GELITA» и «ITALGELATINE» увеличился, что свидетельствует об укреплении их конкурентных позиций.

Результаты анализа конкурентной среды и выявления стратегических намерений основных конкурентов ОАО «МОЖЕЛИТ» приведены в табл. 1.

Табл. 1. Анализ конкурентной среды

Конкурент	Доля рынка, %	Стратегическое намерение	Конкурентная стратегия
ОАО «МОЖЕЛИТ»	11,84	Доминировать	Защитная
«GELITA»	24,53	Перегнуть лидера	Агрессивная
«ITALGELATINE»	21,21	Войти в число лидирующих	Рискующая
«Hangzhou xiaoshan Jinxiang Gelatin Co»	31,62	Сохранить положение	Консервативный последователь
ОДО «Лисичанский желатиновый завод»	10,79	Сохранить положение	Консервативный последователь

Защитная конкурентная стратегия ОАО «МОЖЕЛИТ» характеризуется проведением постоянного анализа конкурентов и их действий по занятию ниши рынка желатина, которую сейчас занимает ОАО «МОЖЕЛИТ». Для достижения доминирующей позиции необходимо постоянно совершенствовать используемое на предприятии оборудование, улучшать показатели качества, предлагать доступные цены потребителю, разрабатывать и внедрять мероприятия по расширению ассортимента выпускаемой продукции.

Количественная оценка уровня конкурентоспособности исследуемого объекта на основе метода построения радара позволила выявить его слабые стороны – ассортимент выпускаемой продукции и средняя цена на рынке.

SWOT-анализ среды ОАО «МОЖЕЛИТ» показал оценку положения марки на рынке и позволил определить дальнейшую стратегию развития предприятия в целом. На фоне того, что основные показатели экономической деятельности ОАО «МОЖЕЛИТ» отражают достаточно стабильное функционирование предприятия, производственные мощности предприятия задействованы практически полностью при высоком износе оборудования. На рынках наблюдается стабильный спрос на различный ассортимент желатина, однако предприятие не в состоянии удовлетворить его в необходимом объеме (отсутствие оборудования для фасовки готовой продукции в требуемых объемах).

В целях увеличения объемов производства и реализации продукции ОАО «МОЖЕЛИТ» целесообразна модернизация линии калибровки и фасовки выпускаемой продукции. Это не только позволит повысить конкурентоспособность продукции, но и предоставит возможность выхода на новые рынки сбыта. В целях обоснования соответствующего инвестиционного проекта на предприятии ОАО «МОЖЕЛИТ» рассмотрены варианты приобретения фасовочно-упаковочного оборудования: фасовочный автомат «Саше» и упаковочный полуавтомат ПА-04. Выбор осуществлялся на основе определения наиболее востребованных размеров упаковки путем проведения опроса потребителей продукции и анализа технических характеристик оборудования.

По результатам оценки показателей эффективности инвестиционного проекта по внедрению аппарата фасовки можно сделать вывод о его целесообразности, т. к. за расчетный период в 8 лет значение чистой приведенной стоимости больше нуля, динамический срок окупаемости составляет 2,5 года, а внутренняя норма доходности составляет 45 %, что свидетельствует о его эффективности.

Анализ чувствительности проекта к изменению внешних и внутренних факторов позволил выявить наиболее значимые из них, а оценка устойчивости инвестиционного проекта на основе сформированных сценариев возможного развития событий показала его устойчивость к изменению выявленных факторов среды и низкий уровень риска его реализации.

Таким образом, в стратегии развития предприятия с учетом динамики изменений в его внешней и внутренней среде предлагается реализация инвестиционного проекта, который позволит расширить ассортимент производимой продукции, не только удержать, но и увеличить долю рынка продукта за рубежом и повысить конкурентоспособность предприятия ОАО «МОЖЕЛИТ».

УДК 338.24

ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕГИОНОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Т. В. РОМАНЬКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Промышленность является одной из основных отраслей экономики каждого региона Республики Беларусь и оказывает влияние на социально-экономическое положение страны.

Одним из структурных элементов промышленного потенциала региона является инвестиционный потенциал. Его исследованию посвящены работы многих авторов, в которых представлен огромный перечень показателей оценки инвестиционной привлекательности региона. Однако крайне мало внимания уделено изучению инвестиционного потенциала промышленности регионов. Поэтому для оценки инвестиционного потенциала промышленности регионов Республики Беларусь предлагается использовать наиболее важные показатели, представленные в табл. 1.

Табл. 1. Показатели оценки инвестиционного потенциала промышленности регионов Республики Беларусь

Показатель	Формула расчета	Обозначение
Объем инвестиций в основной капитал промышленности в расчете на душу населения региона [1]	$I_{\text{НВ}}^{\text{Д}} = \frac{I_{\text{НВ.ПР}}}{\text{Ч}_{\text{Н}}}$	где $I_{\text{НВ.ПР}}$ – объем инвестиций в основной капитал промышленности региона, р.; $\text{Ч}_{\text{Н}}$ – численность населения региона, чел.
Доля инвестиций, направленных в машины, оборудование и транспортные средства промышленных организаций региона	$D_{\text{ИНВ}}^{\text{М}} = \frac{I_{\text{НВ}}^{\text{М}}}{I_{\text{ИНВ.ПР}}} \cdot 100 \%$	где $I_{\text{НВ}}^{\text{М}}$ – объем инвестиций в машины, оборудование, транспортные средства промышленных организаций, р.
Размер инвестиций, приходящийся на одного работника промышленности региона	$I_{\text{НВ}}^{\text{ППП}} = \frac{I_{\text{НВ.ПР}}}{\text{Ч}_{\text{ППП}}}$	где $\text{Ч}_{\text{ППП}}$ – численность промышленно-производственного персонала региона, чел.

Оценивать уровень инвестиционного потенциала промышленности регионов предлагается в следующем порядке:

- 1) расчет показателей в разрезе регионов Республики Беларусь;
- 2) преобразование рассчитанных показателей в индексный вид, т. к. все показатели (табл. 1) прямо влияют на степень развития инвестиционного потенциала, т. е. чем выше их значение, тем больше степень развития инвестиционного потенциала промышленности региона; будет использоваться следующая формула:

$$I_{ij} = \frac{Z_{\text{ФАКТ}ij}}{Z_{\text{max}}}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{ФАКТ}ij}$ – фактическое значение i -го показателя региона j ; Z_{max} – максимальное значение i -го показателя среди регионов;

3) расчет уровня развития инвестиционного потенциала промышленности каждого региона по средней геометрической:

$$Y_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n I_{ij}}, \quad (2)$$

где n – число анализируемых индексов;

4) определение степени развития инвестиционного потенциала промышленности на основании его уровня. Для этого предлагается использовать следующую градацию [2]:

- высокая степень развития;
- средняя-высокая степень развития;
- средняя степень развития;
- средняя-низкая степень развития;
- низкая степень развития.

Она позволяет установить более точное значение степени развития инвестиционного потенциала промышленности региона и разработать конкретные мероприятия по ее повышению, т. к. критерии «высокая степень развития», «средняя степень развития» и «низкая степень развития» будут отражать конкретные значения показателей, а критерии «средняя-высокая», «средняя-низкая» – зону неопределенности исследуемых показателей, которые покажут наметившуюся тенденцию роста или снижения степени развития инвестиционного потенциала промышленности региона (табл. 2);

5) ранжирование регионов Республики Беларусь по степени развития инвестиционного потенциала промышленности;

6) разработка стратегической карты, в которой будет определен вектор развития инвестиционного потенциала промышленности в разрезе регионов.

Табл. 2. Градации степени развития инвестиционного потенциала промышленности регионов

Степень развития потенциала	Градация степени				
	Высокая	Средняя-высокая	Средняя	Средняя-низкая	Низкая
$СР_{\text{ин.п}}$	$\geq 0,9$	0,8...0,7	0,6...0,5	0,4...0,3	$\leq 0,2$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ларионов, А. О.** Оценка промышленного потенциала региона / А. О. Ларионов // Проблемы развития территорий. – Москва, 2015. – Вып. 2/76. – С. 45–59.
2. **Романькова, Т. В.** Методические аспекты оценки транзитного потенциала региона // Т. В. Романькова // Весн. Магілёўскага дзярж. ун-та імя А. А. Куляшова. Сер. Д. Эканоміка, сацыялогія, права. – 2020. – № 1 (55). – С. 20–23.

УДК 338.45

ФАКТОРЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ АВТОТРАНСПОРТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Н. В. РУБАНОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Под устойчивым развитием автотранспортной организации необходимо подразумевать функционирование организации при достижении максимального социально-эколого-экономического эффекта и возможности перехода в качественно новое состояние путем формирования и регулирования отношений с внутренней и внешней средой.

Факторы, определяющие устойчивость организации, можно разделить на две группы: внешние и внутренние.

Внешние факторы, как правило, зависят не от деятельности предприятия, а от изменения внешней среды. Внешние факторы не поддаются регулированию со стороны руководства организаций, поэтому, чтобы обеспечить устойчивость организации, необходимо гибкое приспособление к ним. К внешним факторам устойчивости автотранспортной организации можно отнести политическую стабильность, демографическую ситуацию в стране, развитие науки и техники, развитие транспортной инфраструктуры, политику государства в области налогообложения. Одним из ключевых внешних факторов устойчивости автотранспортной организации является конкурентная среда. Например, в случае, когда автотранспортная организация удовлетворяет спрос потребителей, не имея прямых конкурентов, ее устойчивая деятельность в области оказания услуг во многом определяется состоянием и динамикой факторов внутренней среды. Положение изменяется в случае, когда на рынке появляются конкуренты. Тарифы на услуги, объемы реализации каждого предприятия будут зависеть от действий всех участников рынка.

Особыми внешними факторами, определяющими эффективность работы транспорта, являются транспортная доступность и транспортная обеспеченность. Существенные различия в Республике Беларусь наблюдаются по показателям транспортной обеспеченности железнодорожным и автомобильным транспортом. Это и очевидно. В Республике Беларусь наиболее развита сеть автомобильных дорог. На начало 2020 г. автомобильные дороги общего пользования имели протяженность 101331 км, в то время как протяженность железных дорог составила 5491 км [1]. Наиболее высокие показатели транспортной обеспеченности железнодорожным транспортом в Брестской и

Витебской областях, которые составляют соответственно 30,88 и 29,98 км на 1000 км² территории. Транспортная обеспеченность автомобильным транспортом выше в Минской и Гродненской областях и составляет соответственно 555,46 и 595,58 км на 1000 км² территории.

Внутренние факторы формируются во внутренней среде организации, в ее подсистемах. Внутренние факторы можно разделить на несколько групп:

- технологические, обеспечивающие функционирование всех звеньев производства;

- организационные, определяющие уровень специализации производства, стратегию и тактику организации, уровень использования кадрового потенциала, инновационную и инвестиционную деятельность, степень и совершенство менеджмента и маркетинга, деловой активности предприятия;

- экономические, определяющие производительность факторов производства, затраты на оказание услуг, выручку организации от оказания услуг;

- социальные, определяющие развитие организации и ее потенциал в социальном аспекте, т. е. материальное благосостояние работников, условия труда, развитость социальной инфраструктуры и т. д.

Организации автомобильного транспорта имеют свою специфику. Во-первых, более низкие технико-экономические показатели по сравнению с железнодорожным транспортом. В 2020 г. грузооборот железнодорожного транспорта составил 42420 млн т·км, или 34,4 % от общего объема, в то время как автомобильного – 28778 млн т·км, или 23,4 % [2]. Во-вторых, низкий уровень производительности труда вследствие малой грузоподъемности автомобилей. В-третьих, значительно выше затраты на перевозки. В 2019 г. средняя себестоимость перевозки 10 т·км грузов железнодорожным транспортом составила 0,37 р., автомобильным – 1,44 р. [1]. Очевидно, что в 2020 г. различия сохраняются.

Таким образом, перечисленные факторы, безусловно, оказывают влияние на устойчивость организации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспорт в Республике Беларусь, 2020 [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/transport/ofitsialnye-publikatsii_11/index_17391/. – Дата доступа: 31.01.2021.

2. Грузооборот по видам транспорта [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/transport/godovye-dannye/>. – Дата доступа: 31.01.2021.

УДК 336.7

ВЫБОР МЕТОДА ОПЛАТЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Н. А. СЕРГЕЙЧИК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В мировой практике при управлении реализацией продукции предприятия применяются разные методы оплаты:

- установление системы штрафов за просрочку платежа;
- предоставление товарного кредита с установлением процентов;
- продажа долга (использование факторинга);
- предоставление скидок при предоплате или отсрочки платежа без предоплаты.

В отечественных условиях, устанавливая систему штрафов или взимая задолженность в бесспорном порядке, можно оказаться без клиентской базы; предоставление товарного кредита с установлением процентов или без них не является гарантией соблюдения должником обязательств по срокам оплаты; продажа долга также имеет больше недостатков, чем преимуществ. На наш взгляд, в настоящее время наиболее применяемыми методами являются скидки и отсрочки платежей, т. е. клиентам предоставляется альтернативный выбор.

При выборе скидки с цены товара (без косвенных налогов) при предоплате или срока отсрочки платежа без предоплаты предлагается использовать следующую методику. Так как скидка – это в любом случае потеря некоторой величины дохода предприятия, то задачей является нахождение величины отсрочки платежа, при которой потери от предоставления скидки при предоплате будут равны потерям от предоставления отсрочки платежа без предоплаты. Тогда уравнение этой зависимости можно представить следующим образом:

$$РП \times \text{Скидка} = (\text{Кредит} = РП) \frac{\text{СПК}_{\text{аннуит.}}}{360} \cdot D_{\text{отс.}}, \quad (1)$$

где РП – сумма реализуемой продукции без косвенных налогов; СПК_{аннуит.} – годовая аннуитетная ставка процентов за пользование кредитом, учитывающая погашение основного долга и начисленные проценты; D_{отс.} – отсрочка платежа, дн.

Преобразовывая формулу (1), получим

$$\text{Скидка} = \frac{\text{СПК}_{\text{аннуит.}}}{360} \times D_{\text{отс.}}. \quad (2)$$

Используя формулу (2), можно составить матрицу численных вариантов для принятия управленческих решений.

УДК 669.018

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СЗАО «МОГИЛЕВСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»

К. А. ТОКМЕНИНОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В Республике Беларусь в настоящее время имеется два вагоностроительных завода, выпускающих грузовые вагоны: СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод» и СЗАО «Осиповичский вагоностроительный завод». На СЗАО «Осиповичский вагоностроительный завод» планировался также выпуск железнодорожных цистерн и танк-цистерн, предназначенных для перевозки нефтепродуктов на морском и железнодорожном транспорте без перелива в другие емкости на всем пути от поставщика до потребителя.

СЗАО «Осиповичский вагоностроительный завод» образовано в соответствии с указом в марте 2008 г. на базе Осиповичского вагонного депо. Завод является основным активом ЗАО «Гранд Экспресс». Согласно действующему договору, основную долю инвестиций – 170 млн долл. США – вносит российский участник. Параллельно для освоения производства танк-цистерн предполагалось реализовать проект компании СЗОО «ОВЗ-Транс» с вложением еще 168 млн долл. США.

Проект должен был быть направлен на обеспечение импортозамещения при пополнении парка подвижного состава Белорусской железной дороги. Планировался выпуск двух тысяч танк-цистерн в год.

В силу ряда причин проект не был реализован. СЗАО «Осиповичский вагоностроительный завод» находится в настоящее время в состоянии банкротства, имущество распродается.

Анализ сложившейся ситуации показывает, что основной причиной является низкая конкурентоспособность продукции из-за высокой себестоимости, вызванная большими материальными затратами.

Предполагался выпуск продукции по классической технологии из стального проката. Следует отметить, что в Беларуси нет металлургического производства для производства необходимого проката, поэтому он является объектом экспорта. Кроме того, для производства цистерн и танк-цистерн требуется дорогостоящее крупногабаритное оборудование, что также приводит к удорожанию инвестиционного проекта.

В рамках двух дипломных проектов на кафедре «Экономика и управление» была обоснована целесообразность освоения указанной продукции на СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод» с заменой стального проката в качестве материала цистерн и танк-цистерн на полимерный композиционный материал (КМ) стеклопластик.

Указанный материал состоит из двух компонентов: армирующей основы – стекловолокна (70 % объемных) и полимерной матрицы на базе эпоксидной смолы ЭД-20 (30 % объемных). Названные компоненты выпускаются в Республике Беларусь.

Следует отметить, что основной технологией изготовления изделий вида «кокон» (цистерн) из КМ является спиральная намотка. Она полностью была освоена еще в 80-е гг. XX в. в военно-промышленном комплексе. В настоящее время начинает широко использоваться во многих отраслях народно-хозяйственного комплекса. Производство железнодорожных цистерн серийно освоено на АО «Уралвагонзавод» компанией АО «Уралкриомаш».

При обосновании инвестиционного проекта по организации производства цистерн из КМ на СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод» были определены капитальные затраты, связанные с приобретением основного и вспомогательного оборудования. Компания «Гонконг Тайсинь», занимающаяся экспортом в Россию и страны СНГ оборудования, материалов, осуществляет поставку оборудования для спиральной намотки. В качестве намоточного станка для изделий длиной до 15 м и диаметром окружности до 4 м был предложен станок DN1000-4000*15000 с необходимым вспомогательным оборудованием. При этом срок выполнения заказа на выпуск технологической линии составляет 40–50 календарных дней с момента поступления предоплаты, срок изготовления оправки – от одного до четырех месяцев. Стоимость контракта на поставку составляет 315 тыс. долл. США.

Технико-экономическое обоснование инвестиционного проекта показало его высокую эффективность. Внутренняя норма рентабельности составит 21,66 %. Поскольку данное значение выше ставки дисконтирования (7,5 %), данный проект является прибыльным. Индекс рентабельности – 33 %. Полный срок окупаемости проекта – 2,07 года. После этого периода чистая прибыль в месяц при намеченном объеме производства 85 шт./мес. будет составлять 208 393,872 долл.

Следует отметить, что производственный потенциал на предприятии используется слабо ввиду низкой загрузки производственных мощностей: всего 25,2 % по состоянию на 2019 г. Это дополнительно подтверждает обоснованность предложения по освоению производства цистерн из КМ.

УДК 744.4:004.92

ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ

В. М. АКУЛИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Использование современных педагогических технологий в техническом вузе направлено на формирование компетенций специалиста. Важной задачей педагогики в высшем техническом образовании является разработка целостной системы предоставления необходимой информации, помогающей сформировать у студентов устойчивую заинтересованность и стремление к знаниям.

Педагогические технологии можно рассматривать как совокупность способов, методов, методик, алгоритмов и средств, используемых при организации и управлении образовательным процессом. При этом образование можно рассматривать как процесс и результат усвоения систематизированных знаний, умений и навыков. Такие аспекты качества обучения, как условия учебы, организация учебного аудиторного и внеаудиторного времени, самостоятельной работы студентов, направлены на повышение уровня обучения [1–3].

Составляющими элементами обучения являются большой объем и разнообразие рассматриваемых вопросов, предусмотренных дисциплиной «Инженерная графика». При изучении студентами теоретического материала необходимо научить студентов учиться, важным при этом становится проявление активности в процессе учебы.

Предложена форма, структура и содержание занятий по инженерной графике. Структура учебного процесса разделена на несколько тематических блоков с подразделами. При изучении тем «Соединения резьбовые», «Шпоночно-шлицевые соединения», «Эскизы деталей типа зубчатое колесо и вал» на практических занятиях предусмотрено индивидуальное пользование методическими пособиями, государственными стандартами ЕСКД, а также сопровождение презентациями мультимедийных курсов по соответствующей тематике, что позволяет ускорить темп занятий.

Используемая методика позволяет сосредоточить внимание, активизирует ранее полученные знания, обеспечивает оптимальную организацию учебного занятия. Это помогает установить логическую связь между новым

тематическим материалом и изученным ранее и реализовать ее при подготовке и выполнении расчетно-графических работ.

Регулярное использование разработанных тестовых заданий для контроля знаний по каждой теме выравнивает участие студентов в учебном процессе и позволяет своевременно выявить допускаемые ошибки. При этом четко прослеживается зависимость итоговых оценок от уровня учебных достижений в семестре. Такая организация и управление образовательным процессом повышают результативность преподавания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Акулич, В. М.** Методика и организация преподавания инженерной графики / В. М. Акулич // Вторые международные Косыгинские чтения «Энергоресурсо-эффективные экологически безопасные технологии и оборудование» (ISTS EESTE-2019): материалы Междунар. науч.-техн. симп., Москва, 29 окт. – 1 нояб. 2019 г. – Москва: РГУ им. А. Н. Косыгина, 2019. – С. 245–249.

2. **Акулич, В. М.** Совершенствование технологии обучения и организация учебного процесса / В. М. Акулич // Качество подготовки специалистов в техническом вузе: проблемы, перспективы, инновационные подходы: материалы IV Междунар. науч.-метод. конф., Могилев, 15–16 нояб. 2018 г. – Могилев: МГУП, 2018. – С. 122–124.

3. **Акулич, В. М.** Тестирование в проекционном черчении / В. М. Акулич // Инновационные технологии в инженерной графике: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 24 апр. 2020 г. – Брест: БрГТУ; Новосибирск: Новосибир. гос. архитектурно-строит. ун-т (СИБСТРИН), 2020. – С. 3–6.

УДК 378.22

МЕСТО И РОЛЬ МАГИСТРАТУРЫ В СОВРЕМЕННОМ БЕЛОРУССКОМ ВУЗЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Г. Я. АЛЕКСЮТИНА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Магистратура является неотъемлемым компонентом в системе высшего образования. Магистерское образование в Европе осуществляется с XVIII в., хотя степень магистра появилась еще во времена зарождения средневековых университетов в XII–XIII вв. и использовалась в числе прочих научных степеней для обозначения преподавательского состава. Диплом магистра и доктора был пропуском в гильдию преподавателей.

Старейшее высшее учебное заведение в истории белорусского образования, Виленский университет (основан в 1579 г.), получило возможность готовить магистров в 1803 г. по указу императора Российской империи. В 1918 г. подготовка магистров во всех университетах России была отменена. До начала болонских реформ во многих странах Европы магистерского образования как такового не было.

В Республике Беларусь в 1994 г. приказом Министерства образования было утверждено Положение о многоуровневой системе высшего образования, которое вернуло степень магистра и магистерское образование уже в новом контексте. За долгие годы существования магистратуры не сложилось четкого представления об особом месте специалистов-магистров на рынке труда и востребованности их особых квалификаций. Многие на своем опыте убедились, что степень магистра не гарантирует абсолютный успех, хотя и должна открывать больше возможностей трудоустройства, карьерного роста и пр. Некоторое время в связи с активной интеграцией белорусской системы образования в международную систему наблюдался рост числа магистрантов. Однако в настоящий период наметилась тенденция к некоторому снижению спроса на магистерское образование. Это обусловлено изменениями законодательно-правовой базы в сфере образования Республики Беларусь, демографической ситуацией в стране и другими причинами [2, с. 114].

Сегодня белорусская магистратура, как и вся система образования, вынуждена искать ответы на новые вызовы современности. В европейской системе образования магистратура по-прежнему является важной ступенью в подготовке исследовательских кадров. Меняется отношение к магистерскому образованию у работодателей и у самих обучающихся как к серьезной долгосрочной инвестиции.

До недавнего времени в Беларуси существовало четкое различие между двумя типами магистерских программ: исследовательской (научно-

ориентированной) и профессиональной (практико-ориентированной). В новой редакции Кодекса об образовании Республики Беларусь внесены изменения: в магистратуре будет осуществляться обучение и подготовка научно-ориентированных специалистов для системы образования. Положительный опыт ряда стран по подготовке педагогических кадров через магистратуру может быть успешно реализован и в нашей образовательной системе. Так, анализируя общие тенденции развития педагогического образования в Западной Европе, эксперты отмечают некоторые схожие подходы: увеличение роли психолого-педагогического знания, педагогической практики; использование в учебном процессе методов активного обучения, учет принципов личностно ориентированного обучения [1, с. 21].

Педагогизация и гуманитаризация магистерского образования в технических вузах не подменяют универсальной модели подготовки магистров, которая ориентирована на развитие у обучающихся исследовательских качеств, творческих способностей, инновационного мышления. Для тех из них, кто посвятит себя преподавательской деятельности, особое значение приобретает изучение дисциплины «Педагогика и психология высшего образования», которая нацелена на формирование у магистрантов универсальной педагогической компетенции: осуществление педагогической деятельности в учреждениях образования, освоение и внедрение эффективных образовательных и информационно-коммуникативных технологий, педагогических инноваций. Включение в магистерские программы комплексного гуманитарного знания позволяет упрочить междисциплинарные связи в содержании инженерно-технического образования, расширить профессиональные компетенции специалистов.

Полагаем, что практика магистерского образования в Республике Беларусь нуждается в дополнительной экспертной оценке и анализе, сопоставлении её практики с практикой кадровых решений в общей структуре занятости в различных сферах экономики. Также полагаем, что тенденцией к актуализации роли и места магистерского образования в системе высшего образования может стать педагогическое и научно-ориентированное профилирование обучающихся по магистерским программам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шишов, С. Е.** Основные тенденции развития педагогического образования в Западной Европе / С. Е. Шишов, А. Е. Абыкасымова // Высшее образование сегодня. – 2015. – № 6. – С. 19–21.
2. **Байбардина, Т. Н.** Современные подходы в маркетинговом управлении магистерской подготовкой в белорусских учреждениях высшего образования / Т. Н. Байбардина, О. А. Бурцева, Л. С. Наливайко // Новые парадигмы развития маркетинговых инструментов в условиях трансформации современной экономики: монография / Под ред. С. В. Карповой. – Москва: Финансовый ун-т, 2020. – С. 104–121.

УДК 37.017.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ГУМАНИТАРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РАБОТЕ КЛУБА «НАСЛЕДИЕ»

В. В. АРТЁМЧИК

Белорусско-Российский университет

Могилёв, Беларусь

На современном этапе общественного развития технологии социального взаимодействия представляют широкие возможности для саморазвития, самовыражения, воздействия на общественное мнение, выявления интересов индивидов, консолидации их вокруг конкретных тематических проектов и организации системы взаимодействия без пространственных и хронологических ограничений.

Гуманитарное образование в техническом вузе способно не только обеспечить передачу минимально необходимых знаний, на основе которых развиваются определенные ценностные установки и навыки социального взаимодействия, но и показать значимость способностей к самоорганизации и организации командной работы и управленческой деятельности в рамках решения учебных задач и выполнения социальных функций в общественной, политической, экономической и других сферах жизни общества. Привлечение студентов к реализации проектной деятельности в гуманитарной сфере развивает инициативу, изобретательность, целеустремленность, что совместно с техническими знаниями, умениями и навыками является показателем высокой эффективности будущего специалиста.

Клуб «Наследие», действующий при кафедре «Гуманитарные дисциплины» Белорусско-Российского университета (объединяющий студентов университета), и Социально-культурное общественное объединение «Наследие» (объединяющее выпускников и сотрудников университета) реализуют ежегодно ряд мероприятий регионального и международного уровней. Партнерами по организации данных мероприятий являются ГУДО «Центр туризма и краеведения детей и молодежи «Паруса» г. Могилёва», могилевские областные отделения Союза писателей Беларуси и Белорусского союза художников, представительство Россотрудничества в Республике Беларусь, Новосибирский центр белорусской культуры, Смоленская областная организация Российского союза молодежи, департамент по международному сотрудничеству Югры, главное управление идеологической работы и по делам молодежи Могилевского облисполкома, фонды «Тотальный диктант» и «Живая классика».

В Международном молодежном конкурсе социального кино «Мотивация – Евразия» ежегодно принимает участие около 60 минифильмов из Беларуси, России, Казахстана, Армении, США. Конкурс позволяет узнать о том, что волнует молодежь, показать своеобразие и потенциал регионов Союзного государства Беларуси и России как основы для развития молодежного сотрудничества в различных сферах. Ютьюб-канал, на котором размещаются видеоролики победителей, имеет более 25000 просмотров, что является

удовлетворительным показателем для гуманитарного проекта, который инициирован и реализуется студентами технического учебного заведения.

В Международном молодежном конкурсе рисунков «Мир ЕАЭС» с 2017 по 2019 гг. приняли участие более 1000 чел. из Беларуси, России, Казахстана. Выставки работ прошли в Могилеве (в рамках Пятого форума регионов Беларуси и России), Брянске, Минске, Новосибирске.

Интеллектуально-познавательный марафон «Мы вместе» для учащихся старших классов общеобразовательных школ г. Могилева проводится в течение учебного года, состоит из пяти конкурсов (исторический квест, исследовательский кейс-проект по молодежным проблемам с последующей защитой, художественный регионоведческий проект, конкурс видеороликов, туристический поход по местам боевой славы). В 2020/2021 учебном году к этому проекту присоединились старшеклассники из Смоленска. Проект был представлен на молодежных конференциях в Минске, Смоленске, Брянске, Москве, Ханты-Мансийске, на Республиканском семинаре-совещании «Состояние и перспективы развития туристско-краеведческой работы с обучающимися в Республике Беларусь», Всероссийском конкурсе-мониторинге «Практики организации воспитательной работы с обучающимися образовательных организаций высшего образования».

Уже несколько лет действует онлайн-проект в ВК «Новые поэты», который объединяет непрофессиональных поэтов из Беларуси и России, имеет более 2000 подписчиков и используется для литературных онлайн-конкурсов совместно с Союзом писателей Беларуси.

Нами организованы и проведены межрегиональные форумы творческой молодёжи (2018–2019 гг. по итогам творческих конкурсов, упомянутых ранее), Межрегиональный форум спортивно-патриотических клубов Могилевской и Смоленской областей. Их целью являлась консолидация молодежи и молодежных организаций белорусско-российского приграничья, выработка программ взаимодействия и сотрудничества.

На протяжении нескольких лет студенты при участии двух сотрудников университета организуют региональные площадки международных акций «Тотальный диктант», исторический «Диктант Победы» и международного конкурса юных чтецов «Живая классика».

В 2021 г. студенты первого и второго курсов организовали и провели первый в истории университета конкурс «Лучший первокурсник» (на инженерно-экономическом факультете). По итогам конкурса были поощрены лучшие студенты по результатам сессии и участия в спортивной, творческой и общественной жизни за первый семестр обучения.

Реализация данных проектов позволяет удовлетворять спрос на социальную активность в студенческой среде, развивать лидерские качества, актуализировать значимость гуманитарного образования, устанавливать новые контакты и находить новые темы для последующих мероприятий, развивать навыки конструктивного взаимодействия с государственными и негосударственными организациями, активно участвовать в белорусско-российском и международном молодежном гуманитарном сотрудничестве.

УДК 796.8

ПРОБЛЕМА КОНТРОЛЯ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ АРМРЕСТЛЕРОВ

М. Л. БУДАЕВ, М. Ф. ГРИГОРЬЕВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Актуальной проблемой в армрестлинге является вопрос контроля уровня тренированности, особенно в подготовительный период. Наиболее информативным принято считать результативность выступления спортсмена на соревнованиях определенного уровня как индикатор роста спортивной квалификации, проявляющийся в присвоении разрядов и званий. Успешность соревновательной деятельности характеризует уровень подготовленности спортсмена относительно других занимающихся. При этом следует отметить, что одним из основных недостатков данного способа является качественный показатель всех участвующих в соревнованиях спортсменов. Уровень их подготовленности и спортивного мастерства может существенно варьироваться, и спортсмен с одним и тем же уровнем физической, технической и тактической подготовленности может занять любое итоговое место. Одним из факторов, снижающих показатель информативности соревновательного способа определения уровня подготовленности спортсменов, является система проведения соревнований в армрестлинге до двух поражений, в которой достоверно определяется только первое и второе место. Распределение остальных мест в значительной степени зависит от жеребьевки. Также значимым является фактор судейства, который, в свою очередь, вносит существенные корректировки в распределение итоговых мест, занятых спортсменами на соревнованиях.

Особое место в структуре тренировочного процесса в армрестлинге занимают общеподготовительные, специально-подготовительные и соревновательные упражнения [1]. В связи с этим рекомендуем систему контроля за подготовленностью спортсмена, состоящую из контрольных упражнений силового характера, наиболее полно соответствующих по совокупности характеристик основным способам борьбы в армрестлинге. Рост силовых показателей относительно собственного веса спортсмена будет свидетельствовать о качественных изменениях. В качестве средства контроля за подготовленностью спортсмена можно применять антропометрические измерения наиболее важных для армрестлинга параметров и на основании динамики их изменения производить корректировки в индивидуальном тренировочном плане спортсмена. Разработка и внедрение в тренировочный процесс определенного комплекса силовых контрольных упражнений и антропометрических измерений осуществляется исходя из индивидуальных особенностей спортсмена и совершенствованного способа борьбы [2].

С целью определения информативности способов оценки подготовленности армрестлеров проведено исследование взаимосвязи контрольных упражнений специальной подготовки (пронация с лямкой на блоке через пальцы, боковое движение с вращающейся ручкой на блоке), антропометрических показателей

(окружность плеча, окружность предплечья; рука согнута на 90 град) соревновательным способом по системе до двух поражений с результатами в борьбе спортсменов высших спортивных разрядов по круговой системе в абсолютной весовой категории (рис. 1).

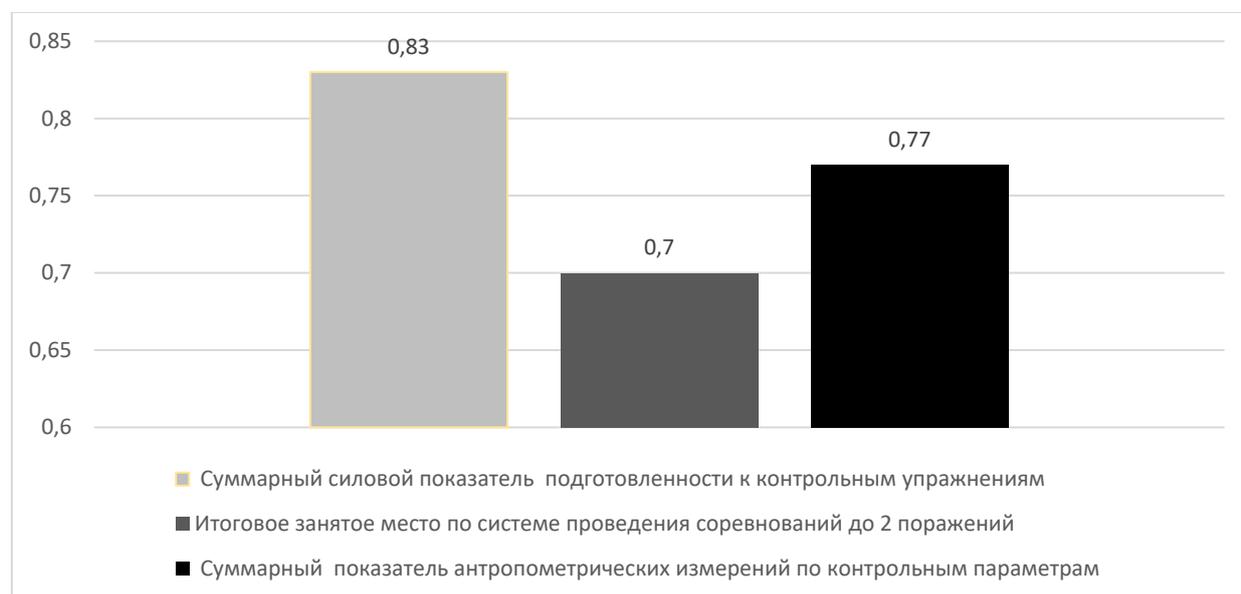


Рис. 1. Корреляция способов контроля за подготовленностью спортсмена с результативностью выступления на соревнованиях по круговой системе

В результате полученных данных об эффективности исследуемых способов контроля уровня спортивного мастерства спортсменов делаем вывод о том, что наиболее эффективным является способ контроля силовой подготовленности по контрольным упражнениям и контроля за динамикой развития профильных мышц способом антропометрических измерений. Итоговое занятое место на соревнованиях по системе до двух поражений среди исследованных параметров имеет наименьшую взаимосвязь со справедливым распределением итоговых занятых мест и, соответственно, является недостаточным средством оценки уровня фактической физической подготовленности спортсмена. Рекомендуем комплексное применение исследованных способов контроля за уровнем физической подготовленности, что позволит наиболее полно оценивать процесс индивидуальной подготовки спортсмена и вносить в него коррективы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будаев, М. Л. Сложности и индивидуальности армрестлинга как спортивной дисциплины / М. Л. Будаев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. – С. 62–63.
2. Будаев, М. Л. Динамика физической подготовленности студентов Белорусско-Российского университета, занимающихся армрестлингом / М. Л. Будаев, Д. Н. Самуйлов, В. С. Попроцкий // Научно-методическое обеспечение физического воспитания и спортивной подготовки студентов вузов: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 1–2 нояб. 2018 г. – Минск: БГУ, 2018. – С. 77–80.

УДК 796.8:796.09

ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ НА СОРЕВНОВАНИЯХ ПО АРМРЕСТЛИНГУ

М. Л. БУДАЕВ, М. Ф. ГРИГОРЬЕВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В армрестлинге остро стоит вопрос о справедливости определения итоговых мест по системе проведения соревнований до двух поражений. Рассмотрение данного вопроса актуально в связи с дальнейшим использованием полученных данных при составлении требований для присвоения спортивных званий и разрядов, определения как личных, так и командных мест [1].

Объектами исследований выступали 10 условных соперников, имена которых соответствуют в числовом выражении их силовым показателям и уровню спортивного мастерства. Так, к примеру, спортсмен 100 всегда сильнее спортсмена 99, спортсмен 99 всегда сильнее спортсмена 98 и т. д.

Проведено восемь случайных жеребьевок с участием одних и тех же условных спортсменов, между ними проведены соревнования. Выявлена корреляционная связь между местами, которые должны были занять условные спортсмены согласно своим значениям абсолютных силовых показателей, спортивному мастерству, и фактически занятыми местами, определенными исходя из особенностей распределения мест по системе до двух поражений.

Данное исследование показало, что система проведения соревнований по армрестлингу по системе до двух поражений имеет существенные недостатки в определении итоговых мест участников соревнований. Достоверно определяются только первое и второе место. Распределение остальных мест зависит от проведенной жеребьевки и имеет большое отклонение от достоверного распределения. Корреляция справедливого распределения мест к фактически занятым в зависимости от жеребьевки составила от 0,64 до 0,94. В связи с этим рекомендуем использовать систему проведения соревнований до двух поражений только в качестве способа отбора спортсменов на предварительных соревнованиях для участия в соревнованиях более высокого уровня с другой системой проведения соревнований, например, по круговой системе, с небольшим количеством участников, прошедших предварительный отбор [2]. Также следует отметить, что зачастую третье итоговое место также определяется неверно. Проблема присвоения спортивных разрядов и званий в армрестлинге по системе проведения

соревнований до двух поражений является актуальной в связи с тем, что достоверность занимаемых мест с третьего и ниже зависит от жеребьевки [3]. Спортсмен, который должен стать шестым из десяти участников при проведении соревнований по круговой системе, может стать третьим при проведении соревнований по системе до двух поражений. Спортсмен, который должен стать девятым из десяти по круговой системе, по системе до двух поражений может стать пятым и т. д., и это при условии осуществления идеального судейства, что на практике достаточно сложно осуществимо из-за различных обстоятельств. Подсчет командного первенства, присвоение спортивных разрядов, подсчет итогового места по сумме двоеборья по системе проведения соревнований до двух поражений являются недостаточно эффективными [4]. Присвоение разрядов и званий на основании результатов, полученных по системе проведения соревнований до двух поражений, возможно только за первое и второе место.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Будаев, М. Л.** Динамика физической подготовленности студентов Белорусско-Российского университета, занимающихся армрестлингом / М. Л. Будаев, Д. Н. Самуйлов, В. С. Попрцкий // Научно-методическое обеспечение физического воспитания и спортивной подготовки студентов вузов: материалы Междунар. науч. практ.-конф., Минск, 1–2 нояб. 2018 г. – Минск: БГУ, 2018. – С. 77–80.

2. **Будаев, М. Л.** Окружность запястья как фактор для отбора занимающихся армрестлингом / М. Л. Будаев, М. Ф. Григорьев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 431.

3. **Будаев, М. Л.** Проблема судейского захвата в армрестлинге / М. Л. Будаев, М. Ф. Григорьев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 432.

4. **Будаев, М. Л.** Перспективы занятий физической культурой по специализации «Армрестлинг» / М. Л. Будаев, В. С. Попрцкий // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 454–455.

УДК 316:378.4

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЛУЧЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ
(ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПРОСА ВЫПУСКНИКОВ)

Н. В. ВОЛОГИНА, Е. А. МИНЧЕНЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Проблемы совершенствования подготовки специалистов и удовлетворенности качеством полученного образования требуют всестороннего анализа и изучения, в том числе с помощью социологических методов, позволяющих получить достоверную информацию о мнениях и оценках потребителей образовательных услуг. С этой целью в Белорусско-Российском университете в мае 2020 г. с помощью электронной анкеты были опрошены 72 выпускника, закончивших вуз в 2017–2019 гг.

Абсолютное большинство опрошенных (90,3 %) на момент опроса были трудоустроены, вопрос трудоустройства не был решен для 8,3 %, а 1,4 % указали, что отсутствует необходимость в трудоустройстве. По информации опрошенных, большинство (62,5 %) трудоустроены по специальности; более четверти опрошенных (27,8 %) отметили, что трудоустроены не по направлению подготовки.

Более половины опрошенных (59,7 %) указали, что они в той или иной мере были знакомы с задачами и (или) проблемами будущей профессиональной деятельности: «знакомы детально» – 22,2 %, «достаточно знакомы» – 37,5 %. Вариант ответа «знаком, но недостаточно» указали 31,9 %, «не знаком» – 8,3 %.

Опрошенным выпускникам было предложено оценить, насколько компетенции, сформированные при освоении образовательной программы по направлению подготовки (специальности), соответствуют их профессиональной деятельности. По мнению 44,4 % опрошенных, сформированные у них в процессе учебы компетенции «полностью» (9,7 %) или «в основном» (34,7 %) соответствуют их профессиональной деятельности. 40,3 % опрошенных указали на «частичное соответствие», а 11,1 % – на «полное несоответствие». Не определились с ответом – 4,2 %.

43 % опрошенных выпускников указали, что их практические навыки, полученные в Белорусско-Российском университете, в той или иной мере соответствуют требованиям, предъявляемым при трудоустройстве (9,7 % – полностью соответствуют, 33,3 % – в основном соответствуют). Почти третья часть респондентов – 30,6 % – оценили свои практические навыки как «частично соответствующие», а 18,1 % – отметили, что они полностью не соответствуют.

Свою теоретическую подготовку, полученную в Белорусско-Российском университете, респонденты оценили выше, чем практическую. 13,9 % отметили, что она полностью соответствует, а 40,3 % – в основном соответствует требованиям, предъявляемым при трудоустройстве; 30,6 % указали, что она соответствует частично, а 11,1 % – полностью не соответствует.

Каждый второй из опрошенных выпускников заинтересован в продолжении

контактов с Белорусско-Российским университетом. Среди возможных форм сотрудничества наиболее часто опрошенные отмечают обучение по программам дополнительного профессионального образования (33,3 %), участие своей организации в совместной с Белорусско-Российским университетом исследовательской, проектной, инновационной и другой деятельности (13,9 %), работу в качестве преподавателя (11,1 %), также некоторые указали участие в деятельности ассоциации выпускников (4,2 %).

Более половины опрошенных (53,4 %) в той или иной мере удовлетворены профессиональной деятельностью по направлению подготовки, полученной в Белорусско-Российском университете: полностью удовлетворены 21,9 %, в основном удовлетворены 31,5 %. В то же время удовлетворен частично каждый третий – 35,6 %, полностью не удовлетворены – 6,8 %.

Ответы на вопрос «Считаете ли Вы полученное образование и практические навыки востребованными в Вашем регионе и видите ли Вы возможность профессиональной реализации без смены места жительства?» распределились в следующем порядке: треть опрошенных (34,2 %) считают, что полученное образование позволяет реализовать свой потенциал в регионе постоянного проживания; более трети (37 %) указали, что профессия востребованная, но малооплачиваемая, для трудоустройства нужен переезд; каждый десятый (9,6 %) считает, что в нашем регионе переизбыток таких специалистов. При этом каждый пятый (19,2 %) отметил, что не будет работать по профессии.

Сравнительный анализ ответов выпускников, получивших диплом Российской Федерации, и выпускников, получивших диплом Республики Беларусь, показывает, что между ними больше сходства, чем различий. Тем не менее некоторые различия присутствуют. Выпускники с дипломом РБ чаще трудоустроены по направлению подготовки (специальности). Выпускники с дипломом РФ несколько более удовлетворены профессиональной деятельностью по направлению подготовки (специальности).

Таким образом, более чем половина опрошенных оценили теоретическую подготовку, полученную в Белорусско-Российском университете, как в целом соответствующую (54,2 %) требованиям, предъявляемым при трудоустройстве; более половины опрошенных (53,4 %) в той или иной мере удовлетворены профессиональной деятельностью по направлению подготовки; более половины опрошенных (59,7 %) указали, что они в той или иной мере были знакомы с задачами и (или) проблемами будущей профессиональной деятельности.

Значительная часть респондентов указали, что компетенции, сформированные при освоении образовательной программы по специальности, в основном или полностью соответствуют (44,4 %) их профессиональной деятельности; 43 % опрошенных выпускников отметили, что их практические навыки в той или иной мере соответствуют требованиям, предъявляемым при трудоустройстве.

Тем не менее чувствуют себя подготовленными для самостоятельной работы по профессиональной деятельности третья часть опрошенных (29,2 %), а частично подготовленными – более половины (51,4 %).

УДК 796.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ БЕГА

А. В. ДОРОЩЕНКО, О. П. МАКАРЕНКО, В. В. СЫЧЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Совершенствование техники бега на короткие дистанции происходит при использовании равномерного темпа с различной интенсивностью. Стремление бежать с достаточно предельной скоростью при слабо освоенной технике и плохой тренированности зачастую приводит к чрезмерным энергозатратам организма спортсмена. С целью предотвращения данного фактора на первых занятиях необходимо использовать тренировочный бег в 1/2 и 3/4 интенсивности, т. к. это способствует контролю над своими движениями [1–3]. Следовательно, с каждым последующим занятием скорость бега должна возрастать. Если спортсмен ощущает напряжение в мышцах и связанность движений, то необходимо снижение скорости. Важно отметить, что автоматизация техники бега способствует снижению избыточной напряженности мышечного аппарата, посредством чего спортсмен непринужденно может достигать наивысшей скорости.

В связи с этим при совершенствовании физической и технической подготовленности студентов следует применять расширенный спектр тренировочных заданий с различными средствами, в разнообразных условиях и местах подготовки. Это может способствовать более быстрому достижению улучшения результатов, минуя стабилизацию скорости и снижение достигнутых итогов. Наиболее ценными являются упражнения, которые предусматривают использование оптимальных отягощений и способствуют при небольшой скорости сформировать динамическую структуру, сходную со структурой бега с максимальной скоростью. Желательно, чтобы такое отягощение варьировалось от двух до четырех килограммов.

Наравне с этим при силовой подготовке спортсменов рекомендуется использовать бег в облегченных условиях. Например, бег с небольшого склона, бег с применением отягощений и др. Данные упражнения при многократном дублировании дают положительный эффект, т. к. способствуют максимальному повышению скорости и помогают «запомнить» ее на новом уровне. Наряду с этим, скорость в данных условиях должна быть максимально приближена к скорости спортсмена, которую он мог бы показать в обычных условиях.

В подготовке бегунов на короткие дистанции предлагается использовать упражнения, вызывающие более длительное силовое воздействие на опорно-двигательный аппарат.

Рекомендовано применять такие упражнения, как приседания, полуприседания, подскоки со штангой на плечах и т. д.

Очень эффективными являются задания на «спрыгивание-выпрыгивание» (30...60 см), проделываемые с быстрым отталкиванием и высоким отскоком, а также прыжковые упражнения, выполняемые с высокой интенсивностью в обычных условиях и с отягощениями, которые должны превышать показатели, получаемые при беге с максимальной скоростью [4].

Таким образом, в интересах результативного освоения техники бега спортсменом и повышения его спортивного мастерства тренировочные задания должны быть с определенной ориентацией на поставленные задачи и проводиться 2–3 дня подряд. Поэтому в подготовке бегунов предпочтение должно отдаваться изначально комплексному развитию всех физических качеств. Однако не следует забывать и упражнения, которые способствуют совершенствованию скоростно-силовых способностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дорощенко, А. В.** Мониторинг результативности команды БРУ на республиканских универсиадах 2012–2013 годов в отдельных видах многоборья / А. В. Дорощенко, В. Ф. Писаренко // Вестн. Череповецкого гос. ун-та. – 2014. – № 3 (56). – С. 164 – 168.
2. **Дорощенко, А. В.** Подготовка пловцов в Белорусско-Российском университете / А. В. Дорощенко, А. В. Кучерова, В. Ф. Писаренко // Актуальные проблемы медицины: материалы Респ. науч.-практ. конф. и 22-й итоговой сессии ГГМУ, Гомель, 14–15 нояб. 2013 г. – Гомель: Гомел. гос. ун-т, 2014. – С. 225–228.
3. **Губа, В. П.** Особенности индивидуализации двигательных способностей в подготовке юных спортсменов / В. П. Губа // Физическая культура воспитание, образование, тренировка. – 2009. – № 2. – С. 41–44.
4. **Железняк, Ю. Д.** Основы научно-методической деятельности в физической культуре и спорте: учебное пособие / Ю. Д. Железняк, П. К. Петров. – Москва: Академия, 2002. – С. 146–264.

ТРАВМАТИЗМ В ДЗЮДО

А. В. ДОРОЩЕНКО, Н. А. ПЕРЕЦ, А. Н. ПЕРЕЦ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Дзюдо, как и любое единоборство, состоит из болевых и удушающих приемов, бросков и удержаний, которые, к сожалению, зачастую сопровождаются травмами. Наиболее травматические броски изучаются в стиле ката. В различных литературных источниках на эту тематику [1, 2] общее число получаемых травм на 1000 поединков для одного борца колеблется от 25,2 до 148. Такой разброс можно объяснить тем, что у каждого научного деятеля определение «травма» изучалось по-разному. У одних к травме относились различные синяки, ссадины, т. е. любые повреждения, у других фиксировались только факты уже оказанной медицинской помощи спортсменам.

В научной работе [3] отражена статистика травм, которые были зарегистрированы в травматологических отделениях больниц Канады, где дзюдо сравнительно с другими видами восточных единоборств получило третье место – 99 травм, второе место тхэквондо – 129 травм, первое место карате – 299 травм. В общем, исходя из проанализированных исследований можно сделать вывод, что дзюдо является вполне травмоопасным видом спорта [4–6].

Далее мы рассмотрим статистику травм, полученных спортсменами во время соревновательных схваток в Белорусско-Российском университете, за 2018–2020 гг., которая отражена в табл. 1. В научном эксперименте участвовали 26 спортсменов-дзюдоистов.

Табл. 1. Распределение процентов по степени часто получаемых травм в дзюдо (n = 26)

Название	Процент
Голова	20,4
Шея	4,2
Лицо	8,1
Рот/зубы	8,1
Верхняя конечность	43,8
Плечо	12,5
Локоть	8,2
Пальцы	23,1
Нижняя конечность	35,8
Колено	17,2
Голеностоп	9,3
Стопа / пальцы стопы	9,3

Анализируя данную таблицу, мы видим, что на верхние конечности приходится 43,8 % всех травм, на нижние – 35,8 %. Травмы головы во время соревновательных схваток составили всего 20,4 %. В результате вышеизложенного мы можем сделать вывод, что верхние конечности травмируются чаще, чем нижние. Это связано с особенностями данного вида спорта, т. к. все приемы приходится в основном на верхний плечевой пояс.

Таким образом, чтобы снизить травматизм среди студентов, занимающихся дзюдо, необходимо варьирование специфических тренировок и дней отдыха. Это формирует оптимальный режим, гарантирующий высокую действенность тренировочных занятий и надежность спортивных результатов. Взаимодействие дублируемых циклов может быть различным. Например, на одном этапе подготовки студентов тренировочная программа может выполняться на идентичном уровне интенсивности и объема, а на другом этапе идет увеличение нагрузки от цикла к циклу. Довольно часто такое повышение тренировочной нагрузки осуществляется в течение трех микроциклов, а четвертый служит для снижения нагрузки с целью полного восстановления организма.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дорощенко, А. В.** Совершенствование структуры проведения технико-тактических действий в поединке / А. В. Дорощенко, А. М. Шахлай // Мир спорта. – 2019. – № 2 (75). – С. 50–56.
2. **Barrault, D.** Accidents et incidents survenus au cours des de compétitions de judo [in French] / D. Barrault, B. Achou, R. Sorel // Symbioses. – 1983. – Vol.15, № 3. – P. 144–152.
3. **Phillips, J. S.** Injury surveillance in taekwondo and judo during physiotherapy coverage of the Seventh All-Africa Games / J. S. Phillips, J. M. Frantz, S. L. Amosun, W. Weitz // South African Journal of Physiotherapy. – 2001. – Vol. 57, № 1. – P. 32–34.
4. **Перец, Н. А.** Мотивация студентов Белорусско-Российского университета к занятиям дзюдо и самбо / Н. А. Перец // Весн. Мазыр. дзярж. пед. ун-та ім. І. П. Шамякіна. – 2014. – № 2 (43). – С. 73–80.
5. **Дорощенко, А. В.** Совершенствование технического мастерства дзюдоистов высокого класса / А. В. Дорощенко // Мир спорта. – 2018. – № 2 (71). – С. 46–51.
6. **Дорощенко, А. В.** Повышение плотности проведения результативных технических действий в поединке / А. В. Дорощенко, А. М. Шахлай // Ученые записки: сб. науч. тр. – Минск: БГУФК, 2018. – Вып. 21. – С. 99–110.

УДК 008:316.722

ТРАНСФОРМАЦИЯ СОВРЕМЕННОЙ КУЛЬТУРЫ: ОТ ПОСТМОДЕРНИЗМА К ИНФОРМАЦИОННОМУ ЭТАПУ РАЗВИТИЯ

А. П. ДУБИНИНА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Культура первых десятилетий XXI в. определяется двумя тенденциями: во-первых, глобализационные сдвиги, приводящие к унификации информации и культуры и способствующие всё большему распространению массовой культуры; во-вторых, наблюдается разнообразие и многообразие манифестаций культуры, что, в свою очередь, содействует развитию различных региональных и национальных культур, сохранению национальных языков, формированию культурного единства наций и народностей. Ситуация такого плана обозначается постмодернистской в современной культуре и анализируется впервые у Ж.-Ф. Лиотара в работе «Ответ на вопрос: что такое постмодерн?». Французский философ затрагивает и сферу искусства, говоря о том, что постмодернистский этап развития искусства «определяет эру воображения и экспериментов, время сатиры» [3]. Ж.-Ф. Лиотар полагает, что «постмодернизм является частью модернизма, но мобильная постмодернистская часть выходит на первый план и обновляет модернизм плюрализмом форм и технических приемов, сближением с массовой культурой» [3]. Далее французский философ Ж. Деррида предлагает свой метод деконструкции для анализа форм современной культуры.

Метод деконструкции французского структуралиста явился в свое время инновационным методом для анализа и понимания процессов в науке, культуре эпохи постмодернизма. В рамках постструктуралистских исследований также получили широкое распространение концепции «симулякра и симуляции» двух выдающихся мыслителей – Ж. Делёза и Ж. Бодрийара. Ж. Делёз дает представление о симулякре как неудачной копии, имеющей эффект подобия, который создается с помощью имитации (симуляции). Теория симулякра и симулякров сегодня является эффективным методом исследования всей культурной системы и отдельных её феноменов. Основные идеи концепции симулякра и симуляции были изложены в знаменитом труде «Анти-Эдип. Капитализм и шизофрения», созданном Ж. Делёзом в соавторстве с Ф. Гваттари. Кроме того, Ж. Делёз представил в философии постмодернизма особый метод анализа культуры, который получил название «шизоанализа», т. е. такого анализа культуры и общества, который не укладывается ни в какие ранее существовавшие схемы [6].

Исследования в области сверхиндустриальной цивилизации и на этапе её перехода в информационную цивилизацию Э. Тоффлера имеют неоспоримую значимость для понимания процессов в современном мире. В своих знаменитых работах «Столкновение с будущим», «Доклад об экоспазме», «Третья волна»

Э. Тоффлер предрекает порабощение человека техникой, неизбежность тотальной рационализации. По мнению философа, «мир переживает новую технологическую революцию, ведущую к непрерывному обновлению социальных отношений и созданию сверхиндустриальной цивилизации» [5, с. 318]. Он показал будущее общество, где основой является электроника и ЭВМ, космическое производство, использование глубин океана и биоиндустрия. Это у Э. Тоффлера есть общество «третьей волны», которое завершает «первую волну» (аграрную) и «вторую волну» (промышленную). Так, по мнению исследователя, вся история человечества предстает не как переход от одной общественно-экономической формации к другой, а как переход от одного технологического уровня к другому, и важнейшими этапами прогресса общества являются научно-технические инновации и восхождение к более высокому уровню развития техники.

Канадский философ, культуролог Г. М. Маклюэн во второй половине XX в. вводит в гуманитарный оборот понятие «электронное общество» (1962 г.), меняя задачу «изучения современной культуры и общества, человека по отношению к месту и роли в ней электронных компьютерных средств общения и коммуникации» [4, с. 13]. Не менее важными концепциями в осмыслении социокультурных процессов информационного этапа развития общества являются теории Д. Белла, Ё. Масуды. По мнению Ё. Масуды, «нормой в новом обществе становится виртуальная жизнь в сети Интернет: творчество, развлечения, отдых, купля-продажа, повышение квалификации, образование, отдых, профессиональная сфера» [6]. Итак, современный этап культурного развития являет собой момент развития преимущественно европейской цивилизации, а основные черты современной мировой культуры являются чертами европейской культуры, сегодня наблюдается отказ от традиционных способов познания мира, стираются границы между искусством, религией, наукой, философией. Модели культурного развития в большей степени приобретают формы культурной универсализации, которые в будущем могут привести к единству человеческой культуры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глобальная культура и культурная «экспансия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://culture.wikireading.ru/61857>. – Дата доступа: 11.01.2021.
2. Делёз, Ж. Анти-Эдип: Капитализм и шизофрения: пер. с фр. / Ж. Делез, Ф. Гваттари. – Екатеринбург: У-Фактория, 2007. – 672 с.
3. Лиотар, Ж.-Ф. Состояние постмодерна [Электронный ресурс] / Ж.-Ф. Лиотар. – Режим доступа: http://www.gumer.info/bogoslov_Buks/Philos/liot/index.php. – Дата доступа: 11.01.2021.
4. Маклюэн, Г. М. Понимание медиа: внешние расширения человека: пер. с англ. / Г. М. Маклюэн. – Москва: Искусство, 2003. – 464 с.
5. Тоффлер, Э. Третья волна / Э. Тоффлер. – Москва: АСТ, 2009. – 800 с.
6. Уэбстер, Ф. Теории информационного общества / Ф. Уэбстер. – Москва: АСПЕКТ ПРЕСС, 2004. – 467 с.

УДК 378

ГУМАНИТАРНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ КАК ВАЖНАЯ ЧАСТЬ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ МАТЕМАТИКОВ

В. Г. ЗАМУРАЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Многие из тех, кто учился в вузах по специальностям, которые обычно не относят к гуманитарным, хорошо помнят несколько пренебрежительное отношение как студентов, так и некоторых преподавателей к гуманитарным учебным дисциплинам. Будущие инженеры, физики, математики зачастую воспринимают гуманитарные предметы как нечто лишнее, бесполезное, навязанное сверху и совершенно им ненужное.

Подобное отношение студентов к предметам гуманитарного блока часто провоцируется самими вузами и даже преподавателями этих предметов. Место гуманитарных курсов в учебных планах, не учитывающее ни междисциплинарных связей, ни внутренней логики самих планов и часто продиктованное одним лишь желанием объединить на лекциях как можно большее количество учебных групп в один поток; рабочие программы, содержание которых никак не учитывает специфики направления подготовки; «понимание» преподавателями якобы не слишком большой важности истории, философии или культурологии для будущего инженера, программиста или математика; слишком формальный либо, наоборот, слишком жесткий подход преподавателей к аттестации студентов при явной перегруженности программы – всё это не способствует повышению авторитета гуманитарных дисциплин среди студентов.

Между тем гуманитарная составляющая является важной частью подготовки специалиста любого профиля. Изучение дисциплин гуманитарного блока не только способствует формированию у выпускников ряда универсальных компетенций, расширению кругозора, развитию воображения, самостоятельности мышления, укреплению гражданской позиции, повышению культурного уровня и развитию личности, но и помогает формировать профессиональные компетенции. Способность грамотно, аккуратно и правильно излагать свои мысли, аргументированно отстаивать свою точку зрения, делать выводы на основе нескольких доказательств – качества, необходимые и ученому, и практику. В полной мере это относится и к математикам. Как писал в своем очерке «Математическое и гуманитарное: преодоление барьера» известный советский математик, заслуженный профессор Московского государственного университета Владимир Андреевич Успенский, «математик и гуманитарий обладают различными стилями мышления, и ознакомление с иным стилем обогащает и того, и другого» [1].

Учебный план программы бакалавриата по прикладной математике (профиль – разработка программного обеспечения) в Белорусско-Российском

университете включает в себя довольно большой блок гуманитарных дисциплин: их доля в общем объёме программы составляет около 18 % [2].

Одной из важнейших для будущих математиков является гуманитарная дисциплина «Критическое мышление», включенная сегодня в программы многих университетов мира. Наблюдательность, открытость ума, способность критически анализировать информацию и корректно оценивать утверждения – базовые требования, предъявляемые к любому математику. Учебным планом предусмотрено изучение данной дисциплины в первом учебном семестре. Кроме того, на первом курсе запланировано изучение студентами гуманитарных дисциплин «История» и «Философия».

На втором курсе гуманитарный блок учебного плана включает в себя дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» и «Правоведение», на третьем – «Культурология», на четвертом – «Деловая коммуникация», «Основы управления интеллектуальной собственностью», «Социальная психология», «Тайм-менеджмент», «Управление продуктом и проектами».

Планом предусмотрен также ряд гуманитарных факультативов. Это «Университетоведение», «Коррупция и её общественная опасность», «Охрана труда», «Основы управления интеллектуальной собственностью».

«Физическая культура» и «Элективные курсы по физической культуре» не являются в привычном смысле гуманитарными. Они призваны сформировать у студентов и выпускников способность поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности. Эти дисциплины предусмотрены учебным планом с первого по четвертый семестр.

Особое место в подготовке будущих математиков-программистов занимает изучение иностранного (английского) языка. Учебный план по прикладной математике включает в себя общий курс английского языка объемом 14 зачетных единиц (з. е.), изучаемый в течение первых шести семестров, и элективные дисциплины «Научный перевод» и «Технический перевод» объемом 3 з. е., изучаемые в седьмом семестре. Кроме того, планом предусмотрено преподавание со второго по седьмой семестры факультативного предмета «Разговорный иностранный язык» объемом 12 з. е. При качественном входном контроле уровня знаний и при правильной организации обучения такого количества учебных часов должно быть вполне достаточно для приемлемого овладения английским языком с любого уровня начальной подготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Успенский, В. А.** Математическое и гуманитарное: преодоление барьера / В. А. Успенский. – Москва: МЦНМО, 2011. – 48 с.
2. Электронная библиотека Белорусско-Российского университета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e.biblio.bru.by/handle/1212121212/11134>. – Дата доступа: 04.02.2021.

УДК 338.24

МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВОЛОНТЕРСКОМ ДВИЖЕНИИ

А. В. КАЗАНСКИЙ, Н. Е. КОРНЕЕВА, Т. В. ПРОТАСОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Государственной программой «Образование и молодежная политика в Республике Беларусь» на 2016–2020 гг. в качестве приоритетов в идеологической и воспитательной работе определялись формирование у молодежи активной гражданской позиции и патриотизма, развитие волонтерского (добровольческого) движения. Развитие механизмов поддержки волонтерского движения предусмотрено Планом мероприятий по реализации Концепции содействия развитию добровольчества (волонтерства) в Российской Федерации до 2025 г.

Волонтерский клуб в университете создан в 2001 г., занимается реализацией проектов, направленных на решение социально значимых проблем общества.

Появление новых социальных проблем (Covid-19, рост различного вида зависимостей, увеличение количества детей, нуждающихся в паллиативной помощи) стимулирует появление новых направлений и задач, которые могут решаться через проектную волонтерскую деятельность.

Предлагаемая нами модель волонтерской проектной деятельности в учреждении высшего образования основывается на общечеловеческих ценностях, морально-нравственных устоях белорусского общества.

Цель: методическая поддержка молодежных инициатив и реализация их в форме проектов.

Задачи:

- формирование устойчивого интереса, мотивирующего к волонтерской деятельности;
- развитие компетенций в области разработки и управления проектами;
- развитие креативного и критического мышления, способности к социальному взаимодействию;
- развитие эмоционально-чувственной сферы студентов, обучающихся на инженерных специальностях.

Модель организации проектной деятельности, по нашему мнению, должна включать в себя следующие блоки:

- концептуально-целевой;
- содержательно-процессуальный;
- оценочно-результативный.

Концептуально-целевой блок предполагает формирование цели и задач, отображает научно-методологические принципы, концептуально определяющие волонтерскую проектную деятельность.

Содержательно-процессуальный блок отражает поэтапную реализацию волонтерской проектной деятельности, а также его содержательное наполнение и педагогическое сопровождение. Он включает в себя следующие этапы:

– *мотивационный*. Одной из первоочередных проблем организации волонтерской проектной деятельности является мотивация студентов, в том числе волонтеров и руководителей, к добровольному и активному участию в разработке и реализации волонтерских проектов. Обеспечивается доступность контактной информации о волонтерской проектной деятельности на официальном сайте учреждения высшего образования, в социальных сетях и других средствах массовой информации;

– *информационно-обучающий*. Отражает необходимость подготовки обучающегося к участию в проектной деятельности. На данном этапе осуществляется активное обучение проектной деятельности через использование инновационных образовательных технологий. Развиваются компетенции в области управления проектами, социально значимого проектирования, обучение должно быть регулярным и полноценным, с пропагандирующим позитивным эффектом. Организовывается обучение специальным знаниям и умениям в соответствующей проектной области, развиваются организаторские и коммуникативные способности, приобретаются навыки делового общения;

– *практической реализации*. Включает конкретную практико-ориентированную проектную деятельность, направленную на решение социальных проблем в обществе. Данная деятельность реализуется в соответствии с разработанным планом мероприятий, установленными временными рамками и распределенными обязанностями.

Оценочно-результативный блок ориентирован на системный анализ конкретных результатов волонтерского проекта. В ходе реализации проекта осуществляется его мониторинг. Предполагает анализ личностных результатов участия волонтера в проекте, оценку социально-личностных и коммуникационных компетенций участников. Оцениваются обретенный опыт планирования и организации коллективного общественно полезного дела, развитие творческих способностей, удовлетворенность волонтеров участием в проектной деятельности, позитивные отзывы о реализации проекта, работа волонтерской организации. Результаты анализа используются для регулирования деятельности волонтерского объединения.

Разработанная модель отличается практикоориентированностью, учетом социальных процессов, происходящих в обществе, позволяет сформировать механизм управления проектной деятельностью, повысить результативность волонтерского движения и воспитательной работы университета в целом. Участие в реализации проектов способствует формированию корпоративной культуры и получению опыта работы в коллективе, содействует самореализации, самоутверждению молодых людей, развитию рефлексивных и регулятивных умений.

УДК 378.147

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ

О. Е. КОВАЛЕНКО, Т. В. МЕДВЕДСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Благодаря развитию информационных технологий все более популярной и востребованной становится дистанционная деятельность. Пандемия COVID-19 стала толчком развития дистанционного образования. Внедрение в образовательный процесс Белорусско-Российского университета системы дистанционного обучения Moodle не позволило его остановить в условиях самоизоляции.

К преимуществам работы в системе Moodle можно отнести:

– круглосуточную доступность к учебным курсам. Это особенно актуально в условиях занятости студентов заочной формы обучения, а также студентов дневной формы при их самоизоляции;

– возможность контроля преподавателем посещаемости курса, что осуществляется путем просмотра отчетов системы Moodle «Журнал событий», «Завершение элементов курса». Более прогрессивным способом контроля лекционных занятий является тестирование как путем создания самостоятельного теста с ограничением по времени исполнения, так и путем импортирования его в лекцию;

– возможность проведения различных видов аттестационных работ, в том числе аудиторных контрольных работ, зачетов и экзаменов. При этом форма проведения аттестации довольно разнообразна (модули «Опрос», «Задание», «Тест»);

– возможность контроля работы профессорско-преподавательского состава. Система сохраняет информацию о дате создания учебного курса, его обновлении, о результатах проведения и объективности текущей аттестации студентов.

Однако, несмотря на преимущества дистанционного обучения, имеются следующие проблемы:

– дистанционное обучение не заменит аудиторного, т. к. нет живого общения с преподавателями и сокурсниками. Последнее предполагает обсуждение материала, вызывающего вопросы, изложение материала «своими словами», приведение многочисленных примеров, проведение деловых игр и т. д.;

– затрудненность восприятия отдельными студентами информации в электронном виде. Может происходить снижение внимания и сосредоточенности, исключение моторной памяти, которая присутствует при конспектировании лекционного материала;

– затрудненность для большинства студентов организовать систематическую самостоятельную работу, т. к. при дистанционном обучении возникает ряд факторов, отвлекающих от учебного процесса;

– невозможность определения онлайн личности студента. Если производить контроль посещения и просмотра учебного курса система позволяет, то зафиксировать факт самостоятельного выполнения проверочных заданий с ее помощью невозможно.

Изучение возможностей системы дистанционного обучения Moodle, а также приобретенный опыт ее использования позволяют предложить следующие пути решения выявленных проблем:

– проблема живого общения частично решается при помощи специальных инструментов системы Moodle. Например, модуль «Форум» дает возможность вести дискуссии в процессе изучения курса. Тема обсуждения задается в виде сообщения, автоматически рассылаемого студентам при помощи электронной почты. Модуль «Чат» дает возможность студентам проводить совместные обсуждения в реальном времени через интернет. Чаты можно использовать для проведения онлайн-консультаций преподавателя со студентами. Кроме этого, для организации общения со студентами также можно использовать социальные сети и мессенджеры;

– для нейтрализации затрудненности восприятия лекций в электронном виде рекомендуется использовать различные средства выделения текста и разбиение информации на небольшие блоки с одновременным контролем усвоения. Это можно осуществить при помощи модулей «Лекция» и «Задание». В модуле «Лекция» переход на следующую страницу (или вопрос) лекции разрешается при успешном ответе на тест. В модуле «Задание» можно потребовать от студентов делать краткие выводы по вопросам лекции в тетради и отправлять на проверку фотографии конспектов;

– для организации систематической самостоятельной работы система дистанционного обучения Moodle позволяет установить сроки начала и окончания доступности элементов курса, а также продолжительность их выполнения. При этом преподаватель может контролировать выполнение студентами элементов курса, организовывать доступ к следующим темам курса при выполнении определенных условий и учитывать при проведении аттестации не только результаты, но и своевременность выполнения заданий;

– проблему контроля самостоятельности выполнения аттестационных заданий частично можно решить путем использования специальных программ для проведения видеоконференций, таких как Zoom, Skype, Jitsi Meet. Однако здесь может возникнуть проблема ограничения технических возможностей устройств, которые используют обучаемые. Веб-камеры и камеры смартфонов не позволяют полностью контролировать окружающее пространство.

Таким образом, проблема самостоятельности выполнения заданий остается актуальной. Поэтому нельзя исключать при дистанционном проведении аттестации непосредственную беседу преподавателя со студентом. Во время беседы опытный преподаватель всегда сможет оценить уровень подготовки студента, даже если он использовал какие-то вспомогательные средства в виде шпаргалок и учебников.

УДК 314

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО
ФАКУЛЬТЕТА ПО АДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО КУРСАС. Л. КОМАРОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В Белорусско-Российском университете в декабре 2010 г. был открыт инженерно-экономический факультет, который начал подготовку специалистов по образовательным программам Российской Федерации по пяти специальностям. Первый же выпуск специалистов, которым были вручены дипломы государственного образца Российской Федерации, состоялся в 2008 г.

С каждым годом количество студентов, желающих учиться по программам Российской Федерации, становится все больше. Политика учреждения образования, направленная на открытие востребованных на рынке образовательных услуг новых специальностей, дает свои результаты. Конкурс на российские специальности становится все выше. Количество специальностей выросло к 2020 г. до девяти, в планах на 2021 г. – прием абитуриентов по двенадцати специальностям.

Работа на инженерно-экономическом факультете по адаптации студентов первого курса к обучению в университете связана с серьезной многовекторной работой как среди преподавателей, так и среди студентов старших курсов.

Подобрать кураторов для академических групп – это один из главных векторов работы. Далек не каждый сотрудник профессорско-преподавательского состава готов и сможет работать куратором группы. Конечно, есть опытные преподаватели, приход которых в группу радость как студенту, так и самому преподавателю, и когда удается получить согласие такого педагога и его руководства на работу, то студенты получают замечательного куратора на три года. Ему не жалко своего времени, сил, энергии для общения и помощи студентам. За десять лет работы многие сотрудники университета становились лучшими кураторами от инженерно-экономического факультета Белорусско-Российского университета и были отмечены грамотами и премиями. Особо хочется выделить Э. И. Ясюковича, А. Н. Хустенко, Е. И. Викторovu, О. В. Бальчевскую, Т. И. Силину, С. М. Караневич, О. В. Седлухо, Е. Г. Галкину, О. А. Пичугову. Эти кураторы готовы поддержать студентов в любых их начинаниях, пойти с ними на выставку, в поход, посетить молодого человека в больнице, помочь и словом, и делом. Такие люди – золотой фонд нашего коллектива. Умные, отзывчивые, настоящие наставники и те, которых приятно и хочется называть «куратор».

Другой вектор воспитательной работы на факультете – это подбор студента-куратора, который поддержит студента-первокурсника в его первых шагах в университете. Самыми трудными становятся первые дни в университете.

Ощущения молодого человека, чаще несовершеннолетнего, трудно передать словами. Это серьезный стресс, нуждающийся в корректировке и адаптации. Комплекс ощущений перехода в новый этап жизни. Ты стал студентом, тебе вручили студенческий билет, но ты в новом коллективе, в новом здании, новая схема обучения, не имеющая ничего общего со школьной. Как справиться с расписанием, не потеряться в корпусах университета, не опоздать, найти библиотеку, столовую, всюду успеть и все запомнить. Студент-старшекурсник – один из главных помощников в начале обучения. Именно к нему как к старшему брату обращаются студенты в первые дни своей новой жизни. Помощь сверстника быстрее и понятнее, чем помощь взрослого человека.

Приход руководства деканата в группы первого курса в первую неделю обучения – еще один вектор сотрудничества и адаптации студента первого курса. Познакомиться с группой, рассказать о правилах внутреннего распорядка, особенностях обучения по российским стандартам, льготах и пятибалльной системе – главные задачи сотрудников деканата. Дать ощущение студенту, что он всегда может обратиться в деканат со своей проблемой, его услышат и окажут помощь в решении его проблем.

Проведение конкурса «Давайте познакомимся» – особый вектор в работе по адаптации студента. Проведение этого конкурса через месяц после начала обучения заставляет студентов сплотиться, не бояться обратиться к своим старшим коллегам, научиться жить в новых условиях и в новом коллективе.

За десять лет проведения конкурса «Давайте познакомимся» было придумано много идей, которыми хочется поделиться. Это бесценный опыт.

Конкурс включает три части: творческую, игровую, коммуникативную. Если раньше мы считали, что их нужно разделить, то сейчас успешно их компилируем. Приглашается жюри, в составе которого заместитель ректора, курирующий обучение студентов по российским стандартам, руководители студий и кружков университета, воспитательный отдел и декан инженерно-экономического факультета. Программа конкурса выглядит следующим образом. Каждой группе приходится подготовить три номера художественной самодеятельности, визитку своей группы, эмблему или видеоролик о своей специальности. В конкурс включены «хитрые» вопросы, ответы на которые без помощи куратора трудно отыскать. Есть творческое состязание для студента-куратора.

В первые годы конкурс проходил только для первокурсников, последние пять лет на это мероприятие в актовом зале приглашаются все старшие курсы. Они еще не знакомы с первым курсом, но бурно соперничают своей специальностью. Поддержка зала – еще одна составляющая, которую первокурсники ощущают в этот день. Волнуются все, результатов ждут до самого конца. С этого мероприятия никто не уходит раньше времени.

Многовекторность работы по адаптации студентов первого курса может стать хорошим опытом в работе всех учреждений образования.

УДК 796.011.3

ИССЛЕДОВАНИЕ МОТИВАЦИИ К ЗАНЯТИЯМ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ У СТУДЕНТОВ ВУЗА ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Е. А. КОПЫЛОВА, Т. В. АФАНАСЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Студенты – это основной трудовой резерв нашей страны. Их здоровье и благополучие является залогом здоровья и благополучия всей нации. Сохранение и укрепление здоровья молодых людей остается одной из важных проблем современного общества. В настоящее время в связи с высоким уровнем урбанизации, комфорта, научно-технического прогресса двигательная активность понижена, ухудшение здоровья, наличие хронических заболеваний у студентов препятствуют активной и полноценной жизни.

Занятие физической культурой способствует сохранению и укреплению здоровья. Поэтому первостепенное значение приобретает изучение мотивации, интересов и потребностей современной молодежи к занятиям физической культурой и спортом.

Цель работы – определить и оценить степень мотивированности студентов Белорусско-Российского университета к занятиям физической культурой и спортом, выявить доминирующие виды мотивации.

Задачи: провести анкетирование студентов, проанализировать полученные данные студентов, занимающихся в группах общефизической подготовки (ОФП) и в учебно-тренировочных группах (УТГ) по баскетболу и настольному теннису, сделать соответствующие выводы по результатам исследования.

Среди студентов в 2019/2020 учебном году был проведен социологический опрос, в котором приняли участие 100 студентов различных курсов и факультетов. Из них 50 занимаются в группе ОФП и 50 – в учебно-тренировочных группах по баскетболу и настольному теннису.

В анкете определялись: пол; наличие мотивации к занятиям физической культурой; наиболее эффективные виды мотивации к занятиям физической культурой и спортом; самостоятельные занятия физическими упражнениями дополнительно к учебной программе.

Для исследования были предложены следующие виды мотивов:

- оздоровительные мотивы (формирование здорового образа жизни и укрепление здоровья, профилактика заболеваний);
- соревновательно-конкурентные мотивы (совершенствование собственных спортивных достижений);
- коммуникативные мотивы (улучшение коммуникации между социальными группами, новые знакомства с людьми, которые разделяют интересы студентов в спорте);
- административные мотивы (своевременная сдача зачета);
- познавательные-развивающие мотивы (познание возможностей своего организма и его улучшение с помощью физической культуры и спорта);

- психолого-значимые мотивы (приобретение уверенности в себе, снятие эмоционального напряжения);
- воспитательные мотивы (развитие морально-волевых качеств);
- эстетические мотивы (улучшение внешнего вида и впечатления, производимого на окружающих);
- профессионально ориентированные мотивы (развитие психофизической подготовки к будущей профессии).

Оценка результатов производилась по шкале от 1 до 5 баллов с последующим определением процентного соотношения результатов анкетирования. Результаты исследования приведены в табл. 1.

Табл. 1. Сравнительный анализ полученных данных в результате анкетирования студентов по видам мотивации в группе ОФП и УТГ

Вид мотивов	Группа ОФП		УТГ	
	Балл	%	Балл	%
Оздоровительные	184	12,6	200	11,7
Соревновательно-конкурентные	80	5,5	207	12,1
Коммуникативные	154	10,3	190	11,1
Административные	220	15,0	143	8,4
Познавательные-развивающие	162	11,1	191	11,2
Психолого-значимые	161	11,0	204	12,0
Воспитательные	157	10,7	198	11,6
Эстетические	161	11,0	184	10,8
Профессионально ориентированные	187	12,8	190	11,1
Итого	1466	100,0	1707	100,0

Исследование показало, что основной мотивацией посещения занятий по физической культуре в группе ОФП является административный мотив (15,0 %), т.е. получение зачета. В УТГ этот показатель на последнем месте (8,4 %), в приоритете – соревновательно-конкурентные (12,1 %), психолого-значимые (12,0 %) и оздоровительные мотивы (11,7 %). В группе ОФП, помимо административного мотива, наибольшую долю занимают профессионально ориентированные (12,8 %) и оздоровительные мотивы (12,6 %).

Дополнительно занимаются физической культурой 31 % студентов с учетом своих интересов и предпочтений.

Будущие специалисты должны четко понимать, что осознанное отношение к своему здоровью посредством занятия физической культурой – это эффективный способ к саморазвитию и реализации себя в профессии.

Полученные результаты помогут преподавателям скорректировать и направить свою деятельность на развитие недоминирующих мотивов, которые имеют важное значение для гармоничного развития личности студентов.

УДК 008

ВОЙНА КАК ТРИГГЕР ТВОРЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ

О. П. КОРОЛЮН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Социокультурный кризис конца XIX – начала XX в. представляет собой уникальный феномен. В этот сложный исторический период можно было наблюдать и духовное перерождение, и утрату надежд, и своеобразное опустошение, все это стало основными проявлениями кризисного состояния общества.

Искусство – наиболее ранимая и значимая часть духовного воспроизводства, которая отражает развитие самых важных ценностей человеческого существования. Каждая историческая эпоха рождает свое смысловое пространство искусства, которое обычно формируется уровнем и состоянием культуры в тот или иной период истории. Первая мировая война стала одним из главных факторов, который повлиял как на творчество отдельных людей, так и на формирование целой инновационной эпохи, в контексте совершенно иных форм, задач и концепций.

В XX в. важную роль играл тот социально-политический фон, на котором искусство существовало. Есть мнение, что начало XX в. следует отсчитывать именно от начала Первой мировой войны. Томас Манн писал о Первой мировой войне: «...это историческая веха, отметившая конец одного мира и начало чего-то совершенно нового» [1, с. 245]. «Современный мир, – писал в конце 1915 г. русский философ Л. М. Лопатин, – переживает огромную историческую катастрофу, – настолько ужасную, настолько кровавую, настолько чреватую самыми неожиданными перспективами, что перед ней немеет мысль и кружится голова... В свирепствующей теперь небывалой исторической буре не только реками льется кровь, не только крушатся государства ... не только гибнут и восстают народы, – происходит и нечто другое ... Крушатся старые идеалы, блекнут прежние надежды и настойчивые ожидания ... А главное, непоправимо и глубоко колеблется самая наша вера в современную культуру: из-за ее устоев вдруг выглянуло на нас такое страшное звериное лицо, что мы невольно отвернулись от него с недоумением. И поднимается неотступный вопрос: да что же такое, в самом деле, эта культура? Какая ее материальная, даже просто жизненная ценность?» [2].

Дадаизм неслучайно возник в 1916 г. в Цюрихе, на территории нейтральной Швейцарии. Этот город называли «столицей изгнания». Сюда

приезжали многочисленные потоки людей, которые уехали из своих стран, пытаясь избежать мобилизации, разрухи и ужасов войны. В это время в Швейцарии жили и творчески себя реализовывали те, кто выступал против войны, например, такие как Ромен Роллан, Герман Гессе и др. В Швейцарию приезжали поэты, художники, музыканты, эмигрировавшие из разных стран Европы. Ханс Арп, один из основателей дадаизма, вспоминал: «В то время Цюрих был оккупирован армией революционеров, реформаторов, поэтов, художников, композиторов-модернистов, философов, политиков и апостолов мира из разных стран» [1, с. 253]. Большинство дадаистов непосредственно участвовали до приезда в Швейцарию в военных действиях Первой мировой войны. Бретон, Супо, Элюар, Арагон, Френкель, Хильсум – вот неполный список тех, кто знает, что такое поле сражений. Дадаизм был по-настоящему интернационален и включал в свои ряды людей – выходцев из разных стран: Тристан Тцара, Марсель Янко, например, были румынами, Хуго Балль, Рихард Гюльзенбек – немцами, Жан Ганс Арп – французом. Космополитизм и антимилитаризм дада очень контрастировал с национализмом, свойственным для этого нелегкого военного времени Франции, Италии и Германии. «Чтобы в этой раскаленной атмосфере суметь навязать новые идеи, приходилось кричать как можно громче. Тон задавали апостолы войны и глашатаи победы... Попытки заглушить царящие в то время ура-патриотические речи были небезопасны и предполагали исключительную мощь легких. Дадаисты к этому времени, как известно, встали в решительную оппозицию всем «вожкам» и той цивилизации, которая пожелала, допустила и воспела войну. При этом они выбрали язык насмешки, абсурда, почти буффонады» [3]. Дадаисты считали мораль и разум своеобразной ширмой для звериных инстинктов человека. Логика и рационализм для них были главными виновниками войн и конфликтов. Служение дада – это есть своеобразное «самообеззараживание» человека.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Андреева, Л. Г.** Зарубежная литература XX века: учебник для вузов / Л. Г. Андреева. – Москва: Высшая школа, 2004. – 559 с.
2. **Франк, С. Л.** Памяти Л. М. Лопатина [Электронный ресурс] / С. Л. Франк // Путь. – 1930. – № 24. – Режим доступа: <http://www.odinblago.ru/path/24/6>. – Дата доступа: 20.01.2021.
3. **Седельник, В. Д.** Дадаизм и дадаисты [Электронный ресурс] / В. Д. Седельник. – Москва, 2005. – Режим доступа: <http://www.dali-genius.ru/library/dadaizm-i-dadaisty2.html>. – Дата доступа: 16.01.2021.

УДК 669.018.8

ОБОСНОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРЕЧНЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В ПРАКТИКУМЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ»

И. А. ЛИСОВАЯ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Коррозия металлов» для специальности 1-36 01 04 «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов» составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-36 01 04–2019 и учебного плана рег. 1 36-1-016-2 от 15.02.19 г.

Задачей учебной дисциплины является ознакомление с теоретическими основами коррозии металлов и неметаллических материалов, со способами защиты от коррозии.

Учебно-методическая карта дисциплины для очной формы обучения включает следующие лабораторные работы: электрохимическая коррозия (4 часа); исследование электрохимической коррозии металлов методом снятия поляризационных кривых (2 часа); перенапряжение выделения водорода на различных электродах (2 часа); перенапряжение выделения кислорода на различных электродах (2 часа); анодное окисление алюминия (2 часа); электрохимическое осаждение (2 часа); электрохимическое полирование металлов (2 часа).

Итого семь лабораторных работ, что согласуется с учебным планом дисциплины, согласно которому на лабораторный практикум отводится 16 академических часов.

В данном перечне лабораторных работ основной акцент сделан на изучение электрохимической коррозии, протекающей в растворах электролитов. Тогда как это лишь одна из разновидностей коррозионных разрушений. С целью качественной и количественной оценки кинетики химической коррозии (высокотемпературной газовой и протекающей в средах-неэлектролитах) считаю возможным и необходимым включить в практикум лабораторные работы: химическая коррозия металлов; определение скорости высокотемпературной коррозии стали по цветам побежалости; определение скорости коррозии металлов массовым методом. В последнюю работу можно также включить определение глубинного, токового и других показателей коррозии.

По мнению автора, это в большей степени соответствует результатам освоения учебной дисциплины, согласно которым обучающийся должен владеть не только основными понятиями и законами коррозии металлов, знаниями о механизмах коррозионных процессов в целях защиты машин и аппаратов от коррозионного разрушения, но и современными методами теоретического и экспериментального исследования коррозионных процессов, а также приборами для их изучения. Дополненный и измененный лабораторный практикум поможет студентам повысить уровень своих знаний в области теории коррозии и защиты металлов от коррозии.

УДК 378

**ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В БЕЛАРУСИ:
НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ****Ю. Н. ЛОПАЦКИЙ**

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Создание высшего технического образования в Беларуси началось в декабре 1920 г., когда Постановлением ВРК БССР Минское политехническое училище было преобразовано в Белорусский политехнический институт. До этого времени на территории Беларуси более пятидесяти лет не существовало высших учебных заведений. Это свидетельствовало об отсутствии в нашей стране на протяжении длительного времени источников формирования национальной интеллигенции в целом и инженерно-технических работников в частности.

В связи с масштабным процессом проведения индустриализации в 20-е гг. XX в. возрастает потребность в инженерно-технических кадрах. Поэтому открываются высшие учебные заведения, в которых начинается подготовка специалистов с техническим образованием. В начале 30-х гг. XX в. во всех вузах технического профиля республики обучалось 2511 студентов, что составило 25 % от общего количества всех студентов нашего государства [1, с. 65–66].

В послевоенные годы система высшего технического образования республики была восстановлена и активно развивалась. Возобновили работу БПИ и лесотехнический институты в Минске. В 1953 г. в Гомеле был открыт Белорусский институт инженеров железнодорожного транспорта, в 1954 г. – Белорусский институт механизации сельского хозяйства. В 1960 г. в народном хозяйстве БССР работали 21 тыс. инженеров и 45,4 тыс. техников. Они составили 24 % всех дипломированных специалистов республики [2, с. 65].

В связи с быстрым развитием отраслей народного хозяйства в республике возрастает потребность в инженерных кадрах. Возникла необходимость в новых вузах. В 1961 г. открывается Могилевский машиностроительный институт, в 1964–1965 гг. был основан Минский радиотехнический институт. В 60-е гг. XX в. началась подготовка инженеров в Витебском технологическом институте, приступил к обучению специалистов Белорусский лесотехнический институт. В 1966 г. был образован Брестский инженерно-строительный институт, в 1973 г. открыт Новополоцкий, а в 1980 г. – Гомельский политехнические институты. В 1973 г. на базе технологического факультета Могилевского машиностроительного института создается Могилевский технологический институт. В результате таких преобразований в стране во второй половине 80-х гг. XX в. из 33 вузов республики 15 готовили инженеров [3, с. 29].

На современном этапе в Республике Беларусь сложились необходимые условия для устойчивого социального развития страны и формирования среды, благоприятной для реализации творческого потенциала личности. Именно образование в условиях становления информационного общества становится одним из детерминирующих факторов эффективного функционирования нашего

общества и государства. Новые социально-экономические и политические условия суверенной республики в значительной степени обусловили необходимость разработки собственной национальной образовательной модели с опорой на продуктивное восприятие положительного опыта, накопленного в системе образования на предыдущих этапах развития страны.

В условиях государственной независимости Республики Беларусь национальная система высшего образования, в том числе и технического, развивается в русле мировых тенденций. Определяющей чертой инженерного образования является его массовый характер. Количество студентов в вузах промышленности и строительства увеличилось с 55,3 тыс. чел. в 1990/1991 учебном году до 106,8 тыс. в 2007/2008 учебном году, в вузах транспорта и связи – с 4,6 тыс. до 12,5 тыс. [4, с. 211]. Приоритетную роль в обеспечении страны инженерными кадрами выполняют технические университеты, формирующие инновационную направленность учебно-образовательного процесса.

Главной чертой современного высшего технического образования является его глобальность. Она отражает наличие интенсивного взаимодействия между государствами в различных сферах общественной жизни. Образование из категории национальных приоритетов высокоразвитых стран переходит в категорию мировых приоритетов. В этой взаимосвязи следует отметить интеграцию образования РБ в единое образовательное пространство, что детерминировано условиями динамичных межгосударственных интеграционных процессов в сфере образования и явлений объективной реальности современного мира. Формирование единого образовательного пространства Беларуси и России и других стран СНГ выражается в согласовании и унификации образовательных стандартов, программ, процедур аттестации научных кадров.

На Могилевщине система высшего технического образования имеет важное значение в обеспечении формирования научно-технического и производственно-промышленного потенциала региона и страны. Количественный и качественный рост инженерных кадров во многом определяет уровень и темпы научно-технического прогресса, является одним из условий устойчивого, динамичного развития Могилевщины. Подготовка инженеров технического профиля в Могилевском регионе осуществляется в Белорусско-Российском университете, на отдельных факультетах Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, в Могилевском государственном технологическом университете.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Василевская, Н. В.** Формирование производственно-технической интеллигенции БССР. 1921–1941 гг. / Н. В. Василевская. – Минск: Наука и техника, 1986. – 155 с.
2. **Фирсова, Е. И.** Подготовка специалистов для народного хозяйства и культуры БССР / Е. И. Фирсова. – Минск: Наука и техника, 1983. – 170 с.
3. Подготовка инженерных кадров в БССР в 60–80-е годы / Под общ. ред. Т. Е. Солодкова. – Минск: Наука и техника, 1988. – 168 с.
4. Статистический сборник Республики Беларусь 2008. – Минск, 2008. – 600 с.

УДК 94(476)

ИСТОРИЧЕСКАЯ ПАМЯТЬ. О МЕСТЕ И РОЛИ ДИСЦИПЛИНЫ
«ВЕЛИКАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ВОЙНА СОВЕТСКОГО НАРОДА
(В КОНТЕКСТЕ ВТОРОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ)»

С. Е. МАКАРОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Беларусь, занимая место на историческом изломе между Западом и Востоком, остро ощутила на себе геополитическую борьбу внешних сил за влияние на ее территории. Белорусское общество оказалось на стадии переоценки ценностей, трансформации мировоззрения. Разрыв в белорусском обществе наиболее зримо проявился в дни празднования 75-летия Великой Победы. В условиях информационной войны, «войны памяти» делаются попытки исказить историческую правду о событиях Великой Отечественной войны: отрицается всенародный характер борьбы против «коричневой чумы»; преуменьшается роль СССР в разгроме фашизма; идет манипуляция сознанием людей через создание мнимых образов.

Прочным фундаментом жизнестойкости государства является его историческая политика. Она обеспечивает процесс самоорганизации общества с целью сохранения идентичности и оптимизации дальнейшего развития, его консолидации, выступает системно-образующим фактором духовно-морального развития личности [1, с. 5].

В Республике Беларусь сложилась стройная образовательная система по изучению истории Великой Отечественной войны. Фундаментом исторического знания выступают не только средства массовой информации, но и в первую очередь учебники, учебные пособия, учебные методические комплексы, разработанные профессиональными историками. Согласно новым учебным программам история Великой Отечественной войны изучается в 9-м классе, а затем на уровне нового проблемно-теоретического обобщения в 11-м классе средней школы. В Республике Беларусь, единственной на постсоветском пространстве, в высших учебных заведениях изучается спецкурс «Великая Отечественная война советского народа (в контексте Второй мировой войны)». Эта преемственность способствует углублению знаний по данному вопросу и способствует формированию активной жизненной позиции у будущих специалистов. В канун празднования 75-летия Великой Победы в Беларуси и России издано множество сборников документов. Совместно с российскими коллегами издано учебное пособие для учителей, фундаментальный том «Созвездие героев земли белорусской», сборники документов «Страна в огне» [2–4].

Мировоззренческая платформа о периоде Второй мировой войны у современной молодежи чаще всего формируется под влиянием интернет-пространства. Наличие обилия отечественных и зарубежных сборников

документов еще не говорит о том, что молодые люди будут тщательно их изучать. Следует учитывать «клиповое мышление» молодежи, ее привычку «сидеть» в интернете и довольствоваться лишь набором фактов-картинок.

На VII Форуме регионов Беларуси и России подчеркивалось, что необходимо пересмотреть методически подачу материалов по истории войны в образовательном процессе по следующим направлениям: модернизация учебных пособий с широким привлечением интернет-ресурсов; включение в учебные планы и программы обязательного посещения знаковых памятных мест, связанных с событиями Великой Отечественной войны [4].

При организации самостоятельной работы студентов по изучению истории Великой Отечественной войны, как свидетельствует практика учебных заведений, эффективными в формировании гражданственности, патриотизма являются разнообразные виды работ: написание эссе, рефератов, посещение музеев, библиотек, выставок, использование современных технологий. Участие студентов в конкурсах творческих работ по военной тематике на базе научно-практических конференций пробуждает заинтересованность молодежи в изучении истории своей семьи, своего народа, стремление внести вклад в дело сохранения памяти о роли повседневного героизма людей в победе над фашизмом. Привлечение студентов к научной работе по военной тематике способствует развитию навыков самостоятельного творческого мышления и письменного изложения собственного мнения по наиболее спорным вопросам. На основе имеющегося богатого историко-библиографического наследия Великой Отечественной войны больше внимания следует уделять анализу места личностного фактора в победах на фронтах и в тылу.

Политика памяти – это вопрос нашей национальной безопасности. 2021 год объявлен Годом народного единства. Устойчивость белорусского государства зависит от того, насколько в каждом его гражданине сформированы такие качества, как идейность, нравственность, патриотизм. О Великой Победе советского народа в годы Великой Отечественной войны нужно говорить с позиций исторической правды [5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Болбас, В. С.** Патрыятызм як найважнейшая педагагічная каштоўнасць / В. С. Болбас, Г. У. Болбас // Адукацыя і выхаванне. – 2020. – № 5. – С. 3–9.
2. **Шаблыко, Т.** Правда памяти, правда истории / Т. Шаблыко // Беларуская думка. – 2020. – № 5. – С. 28–36.
3. **Артизов, А.** Война в зеркале документов / А. Артизов // Историк. – 2020. – № 10. – С. 70–75.
4. **Фролов, М.** Цена Победы / М. Фролов // Союзное государство. – 2020. – № 11 (165). – С. 4–7.
5. **Осипов, М.** Философия Великой Победы / М. Осипов // СБ. Беларусь сегодня. – 2020. – 15 дек.

УДК 37.091.2:811

ЛИНГВОКУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКИЙ И ОБУЧАЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ ИНТЕРАКТИВНОГО КАБИНЕТА-МУЗЕЯ В АСПЕКТЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ЯЗЫКОВ

Н. В. МУРАДЯН

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современный кабинет-музей – это интерактивное пространство для студенческой аудитории в техническом вузе, в котором осуществляется познавательная, учебная и досуговая деятельность в специально организованной среде. Все экспонаты находятся в открытом доступе, что неприемлемо для традиционных музеев.

Интерактивный кабинет-музей был создан преподавателями кафедры «Гуманитарные дисциплины» Н. В. Мурадян и В. В. Панежа на базе Белорусско-Российского университета 1 августа 2019 года (ауд. 536) и состоит из пяти частей: «Предметы быта и культуры белорусского народа», «Предметы быта и культуры русского народа», «Предметы быта и культуры народов мира», «Назад в СССР», «Ничто не забыто, никто не забыт» (рис. 1, а). На данный момент насчитывается более 500 экспонатов, при этом музей постоянно пополняется. Экспонаты музея внутри части «Предметы быта и культуры народов мира» классифицированы по странам (Азербайджан, Болгария, Вьетнам, Египет, Индия, Ирак, Иран, Казахстан, Конго, Кыргызстан, Монголия, Саудовская Аравия, Туркменистан, Турция, Узбекистан, Украина и др.).

а)



б)



Рис. 1. Фрагмент интерактивного кабинета-музея (а) и авторские печатные проекты Н. В. Мурадян и В. В. Панежа (б)

На базе музея его организаторы осуществляют разнообразные способы и виды воспитательной и учебной работы с использованием музейных средств

(экспонатов) интерактивного кабинета-музея в аспекте преподавания белорусского языка, русского языка как иностранного и русского языка (культура речи) для студентов, обучающихся по российским образовательным стандартам.

По результатам проведенных видов работ и мероприятий организаторами музея было выпущено четыре печатных авторских проекта с видеоматериалами на компакт-дисках: «Память сердца» (2019), «Сказочный калейдоскоп» (2019), «Комплексное использование интерактивного кабинета-музея в процессе обучения РКИ», «Захапляльныя прыгоды з Пані Мурай: метадычная распрацоўка па арганізацыі пазааўдыторнай выхаваўчай работы і раскрыцці творчага патэнцыялу студэнтаў у межах вышэйшай навучальнай установы» (2020) (см. рис. 1, б).

Использование экспонатов музея непосредственно на уроках белорусского, русского языка как иностранного и русского языка и культуры речи (для российских студентов) очень эффективно и продуктивно. К таким видам работы относятся различного рода лингвокультурологические и познавательные задания: например, найти среди экспонатов музея разных культур определенный предмет быта и сравнить его с белорусским/русским экспонатом (виды орнамента, одежда, посуда и её применение и др.); угадать по описанию, о каком экспонате идет речь; написать реферат об экспонате из другой страны на выбор, сравнив его с аналогом из своей культуры; разные варианты аудирования с заданием вставить пропущенные элементы (название экспонатов музея); пересказ текста аудирования с опорой на реальные предметы и многое др.

К видам внеаудиторной работы относятся разработка и проведение экскурсий-квестов, викторин, театральных представлений, народных праздников с использованием фонда интерактивного кабинета-музея и др.

Необходимо отметить неиссякаемый интерес и студентов-иностранцев, и белорусских/русских студентов к подобным видам аудиторной и внеаудиторной работы.

Кроме познавательной и обучающей функций, использование музея подобного рода оправдано и с точки зрения лингвокультурологии, т. к. способствует сплоченности студентов разных национальностей, выявляет, помимо сугубо национальных, общие черты их культур.

В процессе преподавания белорусского, русского языков и русского языка как иностранного использование потенциала интерактивного кабинета-музея содействует развитию коммуникативных компетенций, поддержке творческих способностей студентов, формированию гордости за уникальность собственной культуры и интереса к культуре других народов, уважительному отношению к нравственным и духовным ценностям прошлых поколений.

УДК 378.4

АРГАНІЗАЦЫЯ ПАЗААЎДЫТОРНАЙ ВЫХАВАЎЧАЙ РАБОТЫ І РАСКРЫЦЦЁ ТВОРЧАГА ПАТЭНЦЫЯЛУ СТУДЭНТАЎ У МЕЖАХ ВЫШЭЙШАЙ НАВУЧАЛЬНАЙ УСТАНОВЫ

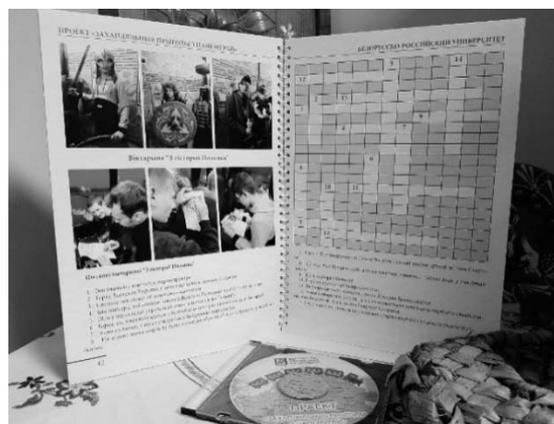
В. В. ПАНЕЖА

Беларуска-Расійскі ўніверсітэт

Магілёў, Беларусь

У сучасным грамадстве адукацыя становіцца галоўным рэсурсам. Новыя эканамічныя рэаліі патрабуюць радыкальных змен у сферы адукацыі. Таму зразумелай становіцца павышаная ўвага і патрабавальнасць не толькі да адукацыйнай, але і да выхаваўчай (як неад'емнай часткі адукацыйнай) дзейнасці. Зразумела, што прыярытэтным і вядучым элементам адукацыйнага працэсу з'яўляецца тэхналогія дасягнення жаданых вынікаў працэсу выхавання і навучання як адзінага цэлага.

Адной з форм эфектыўнай арганізацыі пазааўдыторнай выхаваўчай работы і раскрыцця творчага патэнцыялу студэнтаў стала стварэнне на базе Беларуска-Расійскага ўніверсітэта інтэрактыўнага кабінета-музея прадметаў быту і культуры беларускага народа і народаў свету і выкарыстанне яго як у вучэбным, так і ў выхаваўчым працэсе (мал. 1). Экспазіцыя музея садзейнічае развіццю камунікатыўных кампетэнцый, падтрымцы творчых здольнасцяў студэнтаў, фарміраванню цікавасці да ўласнай культуры і культуры іншых народаў, паважлівым адносінам да маральных і духоўных каштоўнасцяў мінулых пакаленняў. На базе інтэрактыўнага кабінета-музея рэалізавана некалькі праектаў, у тым ліку праект «Захапляльныя прыгоды з Пані Мурай», які прадстаўляе сабой метадычную распрацоўку па арганізацыі пазааўдыторнай выхаваўчай работы і раскрыцці творчага патэнцыялу студэнтаў.



Мал. 1. Фрагменты экспазіцыі інтэрактыўнага кабінета-музея (фатаздымак)

Аўтары праекта (В. В. Панежа і Н. У. Мурадзян) пры распрацоўцы праекта ставілі наступныя мэты:

1. Паглыбленне і стымуляванне цікавасці студэнтаў да культуры і гісторыі беларускага народа, яго духоўнай спадчыны.
2. Знаёмства студэнтаў з узорамі народнага мастацтва праз рэканструкцыю беларускіх народных свят дахрысціянскага паходжання.
3. Абуджэнне цікавасці ў студэнтаў (у тым ліку замежных) да беларускай мовы і культуры, беларускіх абрадаў і традыцый.
4. Раскрыццё дадатковых магчымасцяў для міжпрадметных сувязяў паміж дысцыплінамі гуманітарнага профілю падчас правядзення экскурсій па Беларусі.
5. Павышэнне ўзроўню самаадукацыі студэнтаў праз іх удзел у віктарынах, квэстах, інтэрактыўных гульнях-тэстах.

На базе інтэрактыўнага кабінета-музея арганізатары праекта распрацавалі і правялі тэатральна-конкурснае прадстаўленне «Дванаццаць месяцаў» па матывах п'есы-казкі С. Маршака «Дванаццаць месяцаў»; квэст у Лошыцкім сядзібна-паркавым комплексе (г. Мінск) з наведваннем музея «Лошыцкая сядзіба»; рэканструявалі славянскае народнае свята дахрысціянскага паходжання «Каляды», беларускі народны тэатр лялек «Батлейка» на рэлігійную і бытавую тэматыку (прадстаўленне «Бацькава навука»); арганізавалі, распрацавалі і правялі інтэрактыўную віктарыну-тэст «Загадкавы Ракаў» па выніках экскурсіі ў арт-галерэю «Янушкевічы» (г. Ракаў, Мінская вобласць), віктарыну «3 гісторыі Полацка» па выніках экскурсіі ў Полацк; стварылі відэаролікі на аснове матэрыялу праведзеных мерапрыемстваў.

Пры рэалізацыі праекта актыўна выкарыстоўваліся экспанаты інтэрактыўнага кабінета-музея, многія прадметы для афармлення залы, дзе праводзілася прадстаўленне, студэнты зрабілі самі (лялькі для батлейкі «Бацькава навука», скрыня ў выглядзе хаткі для паказу прадстаўлення і інш.). Такая форма працы садзейнічае матывацыі студэнтаў, прыцягненню іх да актыўнага ўдзелу ў мерапрыемствах.

Сабраны і метадычна аформлены матэрыялы актыўна выкарыстоўваецца ў вучэбным працэсе ў межах дысцыпліны «Беларуская мова (прафесійная лексіка)» пры вывучэнні такіх тэм, як «Мова і соцыум», «Лексічны склад беларускай мовы», «Гістарычныя этапы паходжання і развіцця беларускай мовы», «Беларуская мова сярод іншых славянскіх моў», і дысцыпліны «Русский язык как иностранный».

Такім чынам, матывацыйны прынцып павінен стаць адным з асноўных накірункаў у арганізацыі пазааўдыторнай выхаваўчай работы. Для рэалізацыі пастаўленых мэт вельмі важна сфарміраваць у студэнтаў выразна акрэсленыя матывы, разуменне неабходнасці іх дзейнасці, што, у сваю чаргу, стымулюе цікавасць да вывучаемага прадмета.

УДК 378:069

КРАЕВЕДЧЕСКИЙ МУЗЕЙ БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ СВОЕГО РАЗВИТИЯ

В. Д. ПОДОШЕВКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Краеведческий музей Белорусско-Российского университета создан в 1986 г. Директоры музея: А. А. Горбачёв, Е. Ф. Кравчинский, В. М. Стрельцов, В. Д. Подошевко, А. В. Попов.

В музее имеются стенды. На центральном стенде отражена история создания и развития университета. На нем – первые сотрудники вуза, проректоры, сотрудники университета, награждённые орденами и медалями, Почетными грамотами Верховного Совета БССР, имеющие почетные научные звания. В музее университета имеются факультетские стенды, стенды института повышения квалификации, патентной и изобретательской работы, научно-технических конференций, аспирантуры, международных связей, ветеранов, учебно-воспитательной работы, культуры, спорта и т. д. Там же размещены Почётные грамоты Верховного Совета БССР, которыми дважды был награжден наш вуз, а также дипломы и переходящие Красные знамена и вымпелы, которые в свое время вручали университету. Имеются научные издания (книги, журналы, статьи) наших учёных.

Студенты интересуются историей развития вуза. Вот какой отзыв о посещении музея, о своих впечатлениях о нём написала студентка гр. АСОИР- 052 Калиновская Наталья Михайловна: «Рядом с портретом первого ректора висят и портреты других ректоров, возглавлявших наш вуз с тех далеких времен и по сей день, а также проректоров, преподавателей и первых выпускников. А далее наше путешествие во времени плавно начало перерастать в путешествие в пространстве: машиностроительный и просто строительный факультеты, автомеханический, экономический и наш, родной – электротехнический. И каждый представляет свои награды, достижения, разработки. Здесь дипломы и грамоты, аккуратно выложенные в стеклянных стеллажах музея нашего университета, а не пылящиеся на чьих-то стенках- полках, здесь и детали машин и ещё какие-то детали (затрудняюсь сказать, чего именно, но, наверное, чего-то важного и нужного), здесь и кубки, и книги, и фотографии, фотографии. Некоторые ещё черно-белые, некоторые – дело объективов уже современных «кодаков» и «поляроидов». С черно-белых – застенчиво улыбаются наши доценты, тогда ещё, правда, совсем молодые и совсем ещё не доценты.

С цветных – вроде улыбаются те же люди, но как-то уже совсем по-другому – серьезнее, мудрее, что ли. Далее стенд с художественными фотографиями природы, неба Могилева. Красиво. Очень красиво! Есть, значит, среди нас, технарей, и творческие личности.

Особенно надолго мы задержались у стенда, посвященного Великой Отечественной войне. Захар Артемьевич Бодунов, ветеран войны, рассказал нам о событиях тех далеких дней. И одно дело читать книги, и совсем уже другое слушать человека, который сам прошел войну. Ни одна книга не расскажет того, что расскажут мудрые глаза видевшего боль, страдания, смерть...И видевшие ликующую радость Победы...

Р. С. Хочу в лице нашей группы выразить особую благодарность нашим замечательным экскурсоводам – Бодунову Захару Артемьевичу и Подошевку Виктору Дмитриевичу».

Наш вуз подготовил замечательных специалистов – профессионалов своего дела, директоров заводов. Наши выпускники работали или в настоящее время работают на руководящих должностях во властных структурах: В. М. Цумарев – председатель Могилевского горисполкома; М. Я. Павлов – председатель Минского горисполкома; М. А. Краснов – заместитель председателя Могилевского облисполкома; И. С. Сазонов – ректор Белорусско-Российского университета; М. Е. Лустенков – нынешний ректор Белорусско-Российского университета; Ю. В. Машин, А. В. Казанский, А. А. Катькало, Е. И. Чижик, А. А. Жолобов, В. Л. Комар, В. М. Пашкевич, А. Н. Максименко, Э. М. Пархимович – проректоры Белорусско-Российского университета и др.

В настоящее время в канун 60-летия нашего вуза проводится значительная работа по оформлению музея в современном стиле в центральном учебном корпусе Белорусско-Российского университета [1–4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Могилевский машиностроительный институт. История становления и развития / А. А. Жолобов [и др.]; под ред. А. А. Жолобова. – Могилев: ММИ, 1989. – 114 с.
2. Могилевский государственный технический университет / Сост. В. Д. Подошевку; под ред. А. А. Жолобова. – Могилев: МГТУ, 2002. – 131 с.: ил.
3. Профессорско-преподавательский состав МММ–МГТУ–Белорусско-Российского университета (1961–2006) / Сост. А. А. Жолобов, Ю. Н. Лопатский. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 331 с.
4. ММИ–МГТУ–Белорусско-Российский университет (история становления и развития (1961–2011) / Авт.-сост. А. А. Жолобов, Ю. Н. Лопатский. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – 471 с.

УДК 330

ПРОБЛЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ
ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ ГУМАНИТАРНЫХ ДИСЦИПЛИН

Д. М. ПОПЕЛЬШКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Процесс подготовки современного специалиста в системе технического образования всегда имел свои особенности, свой круг проблем, связанных в первую очередь с поставленными целями и задачами такой подготовки.

Набор необходимых компетенций в настоящее время достаточно четко определен, довольно значимая их часть может быть реализована только при опоре на комплекс гуманитарных знаний, умений и навыков, который вырабатывается в рамках преподавания дисциплин гуманитарного цикла. Однако в последнее десятилетие пришлось столкнуться с рядом проблем, которые приходится так или иначе решать при работе со студентами.

Хочется обратить внимание на одну из главных проблем, связанную с выработкой системы категорий и понятий, принципов и подходов, как удачно назвали ее Н. М. Орлов и Н. Л. Морозова, – проблему «информационного каркаса» преподаваемого предмета, без которого невозможно усвоение необходимого материала. Категориально-понятийная система и базовые концепты являются необходимым элементом научного знания, без которого сама наука теряет свою сущность. В последнее время при достижении этой цели приходится сталкиваться с рядом трудностей.

В первую очередь они вызваны принципиальными изменениями в системе информационного обеспечения, в системе доступа учащихся к информации. Если еще двадцать лет назад приходилось решать проблему ограниченности информационных источников, то теперь следует говорить о своеобразном «информационном потоке», в котором, к сожалению, современные студенты ориентируются достаточно трудно. Более того, ясно прослеживается очень неприятная тенденция ко всё большему распространению так называемого «клипового мышления» и даже «клипового сознания» среди учащихся, особенно младших курсов.

С одной стороны, этот процесс носит объективный характер. Визуализация информации в виде схем, чертежей, алгоритмов и т. д. является необходимой составляющей инженерно-технической деятельности с момента ее возникновения. Однако следует напомнить, что изначально такая визуализация требовала системной полноты знаний, способности к глубокому

научному анализу, самостоятельности творчества. При наличии же широкого доступа к информации с помощью современных технологий возникает «соблазн» подменить осмысление простым подбором необходимых якобы «модулей», по сути, заместить понимание простым воспроизведением. Причем предпочтение отдается именно визуализированной информации как наиболее простой в усвоении без установления сущностных связей между этими модулями. В результате формируется компилятивность приобретенного комплекса знаний, по сути своей противоречащая научному подходу как таковому. При игнорировании такой бессистемности не только не вырабатывается научное мышление, а наоборот, возникает опасность иррационализации полученных учащимися знаний как того самого «информационного каркаса», снижение критичности восприятия и способности к интерпретации. Учащиеся, используя интернет, ответ на вопрос находят быстро, информации представляют много, но далее эти «модули» или «блоки» для них представляются некими неизменными и практически не взаимосвязанными друг с другом частями, не образующими единую целостность. В итоге возникает парадоксальная ситуация, в которой наличие альтернатив, плюралистический подход, многообразие источников становятся не позитивным, а негативным фактором при усвоении материала.

Каким же представляется вариант решения вышеозвученной проблемы? Сразу следует отказаться от попыток ограничения доступа к интернету и имеющейся там довольно бессистемной инфосреды как заведомо бесперспективных.

Вариант дополнения дискуссионными, проблемными и прочими методами работы, в свою очередь, наталкивается на жесткие рамки временных ограничений преподаваемых курсов, не позволяющих уделить особое внимание отдельным темам и проблемам на аудиторных занятиях. Можно предложить использовать принцип, что называется, «от обратного» – наоборот, как можно более часто привлекать работу с интернетом в рамках практических и лекционных занятий. Следует учить студентов не использовать интернет-ресурсы при управлении и коррекции этого процесса преподавателем, что позволит если не избежать, то минимализировать ошибки учащихся. Также необходимо больше уделять внимания индивидуальным заданиям и индивидуальным занятиям со студентами при освоении того или иного курса. Однако не все проблемы можно решить на уровне непосредственного преподавания. Не следует ли вернуться к более дифференцированному подходу при определении содержания учебной дисциплины, сократив количество тем в приоритет качеству их усвоения?

УДК 621.9

ГУМАНИТАРНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ В ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗАХ: ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ

Н. Н. РЫТОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Перед циклом гуманитарных дисциплин стоит задача формирования всесторонне развитой, профессионально и социально компетентной личности, способной самостоятельно принимать решения и нести ответственность за них. Каждая из дисциплин социально-гуманитарного блока выполняет важные функции, реализуя стоящие перед ней задачи. В частности, интегрированный модуль «Политология», в состав которого входят «Политология» и «Основы белорусского государства», способствует формированию политически грамотной личности, имеющей свою гражданскую позицию. С ее помощью происходит приобретение политических ориентиров. Курс «История Беларуси в контексте европейских цивилизаций» закладывает основы адекватного понимания событий прошлого, помогает осознать свой долг перед обществом, противостоять фальсификации фактов, способствует формированию чувства патриотизма, преодолению кризиса идентичности. Курс «Психология и педагогика» закладывает коммуникативную основу личности, ориентирует студентов на саморазвитие. Философия способствует развитию мировоззрения, формированию правильных ценностных установок [3, 4].

Для успешной реализации задач, поставленных перед дисциплинами социально-гуманитарного цикла, необходимо преодолеть целый ряд проблем, с которыми приходится сталкиваться преподавателям гуманитарных дисциплин.

1. **Отсутствие мотивации.** Одна из самых сложных проблем. Зачастую студенты технических вузов не заинтересованы в получении основ знаний по гуманитарным дисциплинам. Более того, многие считают, что изучение их совершенно не нужно, а гуманитарные дисциплины отрывают студентов технического профиля от изучения профильных предметов [5]. Между тем изучение социально-гуманитарных дисциплин помогает выпускникам вуза успешно адаптироваться в новом коллективе, куда они приходят после окончания учебы, быстро освоиться в профессии. Выпускники вуза, изучавшие дисциплины данного блока на регулярной основе, демонстрируют высокий уровень стрессоустойчивости, умение креативно мыслить, что характеризует их как профессионалов [2].

2. **Отрывочные знания по дисциплинам гуманитарного цикла, неумение устанавливать причинно-следственные связи.** Современные подходы к высшему образованию предполагают наличие преемственности между школой

и вузом, вуз призван формировать целый ряд важных для будущих профессионалов навыков и умений. Между тем выполнение поставленных перед высшей школой задач проблематично: студенты, поступающие в технический вуз, не сдают ЦТ по истории и обществоведению, не уделяют этим предметам должного внимания при подготовке к поступлению в вуз. О последнем свидетельствует проводимое предварительное тестирование, призванное выявить остаточные знания бывших школьников. Поэтому преподавателю технического вуза, прежде чем приступить к углубленному изучению предметов, рассмотрению проблемных моментов, приходится фактически возвращаться к школьной программе и ликвидировать существующий пробел в знаниях.

3. Большой объем информации. Отсутствие навыков самостоятельной работы. Студенты при изучении гуманитарных дисциплин сталкиваются с большим объемом информации, которую они должны анализировать, систематизировать, выделять общие и частные моменты. Но обучающиеся зачастую демонстрируют неспособность анализировать нужную информацию, классифицировать и систематизировать ее и, соответственно, делать выводы на основе имеющихся данных. Большую часть информации им нужно добывать в ходе самостоятельной работы. Но следует также констатировать и тот факт, что навыков самостоятельной работы студенты почти не имеют, а в современном высшем образовании акцент сделан на самостоятельную работу студентов.

Здесь же приходится сталкиваться с проблемой качества информации, которую используют студенты, поскольку они, изучая вопросы по предмету, предпочитают обращаться к интернет-ресурсам, в том числе и тем, которые содержат недостоверную информацию, а не к предлагаемому списку литературы [1].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гуркин, А. Б.** Воспитательные аспекты преподавания истории в техническом вузе / А. Б. Гуркин // Экономический вектор. – 2015. – № 2 (1). – С. 85–88.
2. **Лисова, С. Ю.** Особенности преподавания социально-гуманитарных дисциплин в техническом вузе / С. Ю. Лисова // Современные проблемы социально-гуманитарных наук: сб. докл. I Всерос. науч.-практ. заоч. конф. (с междунар. участием), Казань, 6 июня 2015 г. – Казань: Отечество, 2015. – С. 53–57.
3. **Райченко, А. А.** Особенности работы с историческими источниками в процессе преподавания истории Беларуси в техническом вузе / А. А. Райченко // Тр. БГТУ. Учебно-методическая работа. – 2011. – № 8. – С. 109–111.
4. **Райченко, А. А.** Проектная деятельность как средство обучения истории Беларуси в техническом вузе / А. А. Райченко // Тр. БГТУ. Учебно-методическая работа. – 2015. – № 8 (181). – С. 98–101.
5. **Слонимская, Е. В.** Методические особенности преподавания истории в технических вузах / Е. В. Слонимская // Современные проблемы образования и науки. – 2014. – № 6. – С. 1480.

УДК 796. 012. 412. 5

БЕГ 3000 м КАК КРИТЕРИЙ ОБЩЕЙ ВЫНОСЛИВОСТИ У СТУДЕНТОВ ОСНОВНОЙ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ГРУПП

Л. А. САДОВСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Бег – это самое распространенное и самое доступное физическое упражнение.

При беге предъявляются высокие требования к работоспособности всего организма, т. к. в работу вовлекаются почти все мышечные группы тела, усиливается деятельность сердечно-сосудистой, дыхательной и других систем, значительно повышается обмен веществ.

Бег на длинные дистанции способствует увеличению объема и толщины стенок сердца и является важным средством улучшения функционального состояния системы кровообращения. Увеличивается число капилляров в скелетных мышцах и их эластичность, что позволяет доставлять к мышцам больше кислорода и эффективно удалять продукты метаболизма.

При изменении длины дистанции и скорости бега дозируется нагрузка, влияющая на развитие общей выносливости, воспитываются волевые качества, приобретает умение рассчитывать свои силы.

Выносливость – способность человека к длительному выполнению какой-либо работы без заметного снижения работоспособности. Чем продолжительнее время выполнения, тем больше выносливость.

Общая выносливость – важнейшее физическое качество человека – отражает высокий уровень работоспособности, необходимый в повседневной жизни, в достижениях в спорте и в профессиональной деятельности.

3000 м – самая короткая стайерская дистанция, включенная в перечень нормативов физической подготовки студентов; она является одним из основных средств развития общей выносливости и ее оценки.

Цель работы: оценить выносливость к продолжительному выполнению работы умеренной мощности студентов 1–4 курсов (юношей) основной и подготовительной групп.

Для оценки использовался тест Купера, заключающийся в определении дистанции, которую можно преодолеть за 12 мин (табл. 1).

Табл. 1. Тест Купера (возраст 17–29 лет)

Возраст	Уровень общей выносливости, м				
	Очень хороший	Хороший	Средний	Низкий	Очень низкий
17–20 лет	3000	2700...2999	2500...2699	2300...2499	< 2300
21–29 лет	2800	2400...2799	2200...2399	1600...2199	< 1600

Тестирование проводилось в начале 2020/2021 учебного года (сентябрь – октябрь) со студентами, обучающимися на тот момент на 1–4 курсах. В нем приняло участие 120 человек: 60 человек из основной группы, 60 – из подготовительной.

Дистанцию 3000 м бежали по кругу с определенными разметками, что позволяло четко фиксировать метраж на отметке времени 12 мин.

Поскольку тестирование проводилось однократно со студентами разных групп, а не на протяжении четырех курсов с одними и теми же студентами, результаты исследования отражают показатели общей выносливости непосредственно на момент тестирования.

Результаты тестирования в процентном отношении отображены в табл. 2 и 3.

Табл. 2. Результаты оценки общей выносливости студентов основной группы

Возраст	Курс	Уровень общей выносливости, %				
		Очень хороший	Хороший	Средний	Низкий	Очень низкий
17–18 лет	1	12	32	40	4	12
18–19 лет	2	11	28	39	16,5	5,5
19–20 лет	3	0	10	65	10	15
20–21 лет	4	0	21	26,5	26,5	26

Табл. 3. Результаты оценки общей выносливости студентов подготовительной группы

Возраст	Курс	Уровень общей выносливости, %				
		Очень хороший	Хороший	Средний	Низкий	Очень низкий
17–18 лет	1	0	12,5	62,5	19	6
18–19 лет	2	0	54	28	9	9
19–20 лет	3	0	7,5	50	28,5	14
20–21 лет	4	0	16,5	50	33,5	0

Анализируя данные таблиц, можно сделать следующие выводы.

1. Наибольшее количество студентов из основной и подготовительной групп, прошедших функциональный тест, имеют средний уровень общей выносливости, наименьшее количество – очень хороший. Поровну студентов в группах с хорошим уровнем. С низким уровнем общей выносливости больше в подготовительной группе, с очень низким – в основной.

2. Здоровые студенты и студенты, имеющие некоторые отклонения в состоянии здоровья, в большинстве своем имеют почти одинаковый уровень общей выносливости вопреки распространенному мнению.

3. Очевидно, что для развития такого важнейшего физического качества, как общая выносливость, двух занятий в неделю по физической культуре для обучающихся в вузе явно недостаточно.

УДК 796.015.64:378

ФИЗИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВЛЕННОСТЬ
СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО И ВЫПУСКНОГО КУРСОВ
БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Д. Н. САМУЙЛОВ, В. Ф. ПИСАРЕНКО, Е. А. МАЛЫШЕВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Изменения социоприродной среды обитания человека детерминируют ухудшение его здоровья и снижение двигательной активности. Доступность мобильной связи и интернета привели к отсутствию интереса молодежи к физическому развитию и занятиям спортом. Отмеченная тенденция подтверждается результатами сдачи спортивных нормативов в школе и университете [1]. Наблюдается рост числа обучающихся, не желающих посещать занятия физической культурой и секции по видам спорта. Кроме того, растет число студентов с отклонениями в состоянии здоровья и избыточным весом.

Действующие образовательные стандарты Республики Беларусь и Российской Федерации предусматривают обязательные регулярные занятия физической культурой и спортом не менее двух раз в неделю по два академических часа.

Одним из важнейших аспектов эффективности учебного процесса по физической культуре является оценка динамики физической подготовленности студентов на протяжении всего периода обучения в университете.

Типовой учебной программой по физической культуре предлагается определение физической подготовленности студентов путем сдачи спортивных нормативов, что позволяет в индивидуальном порядке оценивать динамику физического развития обучающихся на каждом курсе [2].

С целью изучения физической подготовленности студентов первого и выпускного курсов на кафедре «Физвоспитание и спорт» Белорусско-Российского университета проводилась научно-исследовательская работа в пять этапов. Изучалась учебно-методическая литература, выбирались способ и методики исследования, производился прием контрольных нормативов, проводилась статистическая и математическая обработка данных.

В исследовании приняли участие студенты первого и выпускного курсов 2016/2017 и 2019/2020 учебных годов (380 юношей и 108 девушек), остальные студенты были отнесены к специальной медицинской группе и участия в исследовании не принимали.

Для оценки физической подготовленности студентов основного и подготовительного отделений использовались контрольные нормативы, разработанные методической комиссией кафедры «Физвоспитание и спорт» на основании типовой учебной программы для высших учебных заведений [3–5].

Для определения общей физической подготовки юноши сдавали бег 100 м, бег 1000 м, подтягивание на высокой перекладине; девушки – бег 100 м, бег 500 м, поднимание туловища из положения лежа на спине.

Для определения специальной физической подготовки юноши выполняли прыжок в длину с места, наклон вперед, поднимание прямых ног из положения вис до касания перекладины; девушки – прыжок в длину с места, наклон вперед, сгибание-разгибание рук в упоре лежа на полу.

При сравнении полученных данных результатов тестов студентов первого и выпускного курсов наблюдалась положительная динамика физической подготовленности у юношей в беге на 100 м, в подтягивании, в прыжках в длину с места, в наклоне вперед, в поднимании прямых ног до касания перекладины; у девушек в беге на 100 м, в поднимании туловища, в прыжках в длину с места, в наклоне вперед, в сгибании-разгибании рук в упоре лежа на полу.

Отрицательная динамика физической подготовленности была установлена у юношей в беге на 1000 м, а у девушек в беге на 500 м.

На основании проведенного исследования были выявлены как сильные, так и слабые стороны физической подготовленности студентов. В связи с этим при проведении учебных занятий по физической культуре актуальным является использование индивидуального подхода к обучающимся и необходимость больше времени уделять упражнениям, влияющим на повышение уровня физической подготовленности студентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Самуйлов, Д. Н.** Проблемы преемственности ведения физической культуры в школе и университете / Д. Н. Самуйлов, Е. А. Малышева, А. В. Щур // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.* – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 470–471.

2. *Физическая культура: типовая учебная программа для учреждений высшего образования*, утв. М-вом образования Респ. Беларусь от 27.06.2017, регистрационный № ТД-СГ 025/тип.

3. **Самуйлов, Д. Н.** Сравнительная характеристика динамики физической подготовленности студентов основного отделения, поступивших в ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» в 2006 г. / Д. Н. Самуйлов // *Инновационные процессы в физическом воспитании студентов: сб. науч. ст.* – Минск: БГУ, 2012. – Вып. 2. – С. 223–228.

4. **Самуйлов, Д. Н.** Сравнительный анализ физической подготовки студентов первого курса ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» / Д. Н. Самуйлов // *Энергетика, информатика, инновации – 2017 (экономика и менеджмент, научные исследования в области физической культуры, спорта, общественных наук и лингвистики): сб. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф.:* в 3 т. – Смоленск: Универсум, 2017. – Т. 3. – С. 238–242.

5. *Физиологическая оценка динамики физической подготовленности студентов Белорусско-Российского университета* / Д. Н. Самуйлов [и др.] // *Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины.* – 2019. – № 5 (116). – С. 61–65.

УДК 613.9:378.4

СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ
СТУДЕНТОВ БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Д. Н. САМУЙЛОВ, А. В. ЩУР
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Изменение качества окружающей среды непосредственно отражается на состоянии здоровья человека. Важным фактором в современном обществе является цифровизация, влекущая за собой гиподинамию, ожирение, сердечно-сосудистые и онкологические заболевания, а также высокий уровень пренатальной медицины, способствующей низкой младенческой смертности и позволяющей выживать детям с тяжелыми врожденными патологиями и недоношенным с невысокими сроками развития. Низкая мотивированность детей, подростков и молодежи к занятиям физической культурой и спортом, неправильное питание приводят к комплексу заболеваний опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой и нервной систем, патологиям обмена веществ. Незнание основ здорового образа жизни и нежелание вести активную жизнь, повышать иммунитет за счет закаливания и регулярной двигательной активности приводят к высокому уровню заболеваемости респираторными инфекциями и рядом других [1].

Процесс обучения физической культуре в университете организуется в зависимости от состояния здоровья, уровня физического развития и подготовленности студентов, их спортивной квалификации.

Кафедра «Физвоспитание и спорт» Белорусско-Российского университета продолжительное время ведет мониторинг уровня физической подготовленности и состояния здоровья студентов, осваивающих содержание образовательных программ высшего образования первой ступени по образовательным стандартам Республики Беларусь и Российской Федерации [2–5].

В данном исследовании используются результаты научно-исследовательской работы, проведенной со студентами первого и выпускного курсов с 2016 по 2020 гг.

Следует отметить, что, несмотря на сокращение контингента студентов первого курса, процентное соотношение при распределении по группам здоровья незначительно варьирует.

Установлено, что по вышеперечисленным причинам наблюдаются тенденция снижения количества студентов, отнесенных к основному отделению (с 44,6 до 39,6 %), рост численности обучающихся, отнесенных к подготовительному отделению (с 31,1 до 33,3%) и специальной медицинской группе (с 22,2 до 24,7 %). Исходя из представленных медицинских документов о состоянии здоровья значительная часть освобожденных от занятий студентов имеет врожденные нарушения состояния здоровья. Ряд обучающихся временно освобождены от занятий на период реабилитации после перенесенных острых респираторных заболеваний, включая грипп и коронавирусную инфекцию.

На наш взгляд, существует необходимость усиливать работу по пропаганде ведения здорового образа жизни среди детей, подростков и молодежи, а также активно вовлекать их в занятия физической культурой и спортом в свободное от обучения время с учетом состояния здоровья. Следует принять активные меры по разъяснению необходимости правильного питания и закаливания для снижения уровня заболеваемости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Самуйлов, Д. Н.** Проблемы преемственности ведения физической культуры в школе и университете / Д. Н. Самуйлов, Е. А. Малышева, А. В. Щур // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 470–471.

2. **Самуйлов, Д. Н.** Сравнительная характеристика динамики физической подготовленности студентов основного отделения, поступивших в ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» в 2006 г. / Д. Н. Самуйлов // Инновационные процессы в физическом воспитании студентов: сб. науч. ст. – Минск: БГУ, 2012. – Вып. 2. – С. 223–228.

3. **Самуйлов, Д. Н.** Сравнительный анализ физической подготовки студентов первого курса ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» / Д. Н. Самуйлов // Энергетика, информатика, инновации – 2017 (экономика и менеджмент, научные исследования в области физической культуры, спорта, общественных наук и лингвистики): сб. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. – Смоленск: Универсум, 2017. – Т. 3. – С. 238–242.

4. Физиологическая оценка динамики физической подготовленности студентов Белорусско-Российского университета / Д. Н. Самуйлов [и др.] // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2019. – № 5 (116). – С. 61–65.

5. Эффективность занятий физической культурой студентов с учетом уровня подготовленности / А. В. Щур [и др.] // Неделя науки СПбПУ: материалы науч. конф. с междунар. участием. Высшая школа техносферной безопасности. – Санкт-Петербург: Политехн. ун-т, 2017. – С. 8–10.

УДК 001:378.09

СТИМУЛИРОВАНИЕ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА УНИВЕРСИТЕТА

С. А. СУХОЦКИЙ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В Белорусско-Российском университете внедрена система стимулирования профессорско-преподавательского состава. Результат работы преподавателя оценивается на основании показателей – публикации в индексируемых научных изданиях, написание монографий и учебников, защита (научное руководство) диссертаций, научное руководство финансируемыми научно-исследовательскими работами (НИР) или услугами, руководство студентами, участвующими в республиканском конкурсе СНИР, чтение лекций на английском языке.

На рис. 1 представлены результаты работы в разрезе набранных баллов. Каждый шестой преподаватель (53 из 312) «набрал» 0 баллов, т. е. за 2020 г. не сумел опубликовать (даже в соавторстве) ни одной работы. Каждый третий преподаватель (35 %) набрал от 0 до 1 балла. Рубеж в 5 баллов оказался непреодолим для 56,1 % преподавателей, в 10 баллов – для 64,1 %. Более ста баллов смогли набрать 13 сотрудников университета (в 2019 г. – 6).

Средний балл по университету составляет 17,5. При этом у 225 сотрудников (72 %) количество баллов ниже среднего.

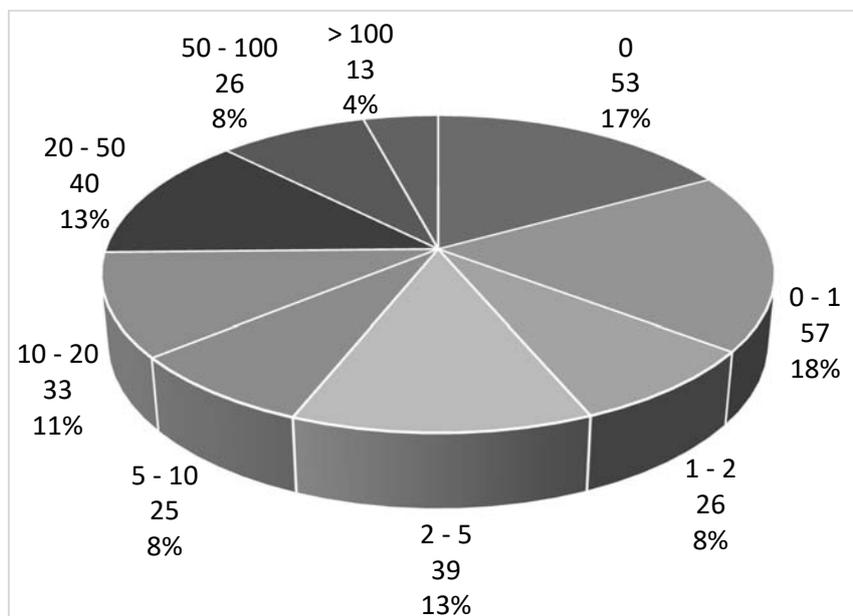


Рис. 1. Распределение набранных баллов

Из анализа набранных баллов по показателям (рис. 2) видно, что наибольший вес в общую сумму баллов вносят публикации статей и тезисов докладов (39,0 %) и научное руководство финансируемой НИР или услугой (23,2 %).

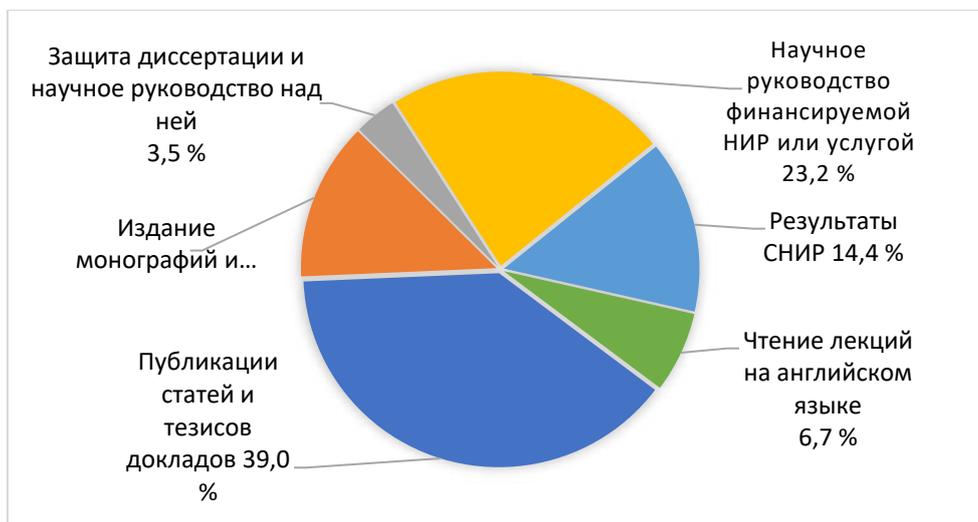


Рис. 2. Распределение баллов по показателям

В удельном весе всех публикаций наибольшее количество баллов принесли работы, индексируемые в Scopus и Web of Science (34 %). Почти каждый десятый балл кафедрам за публикации приносят статьи в журнал «Вестник Белорусско-Российского университета».

На диаграмме (рис. 3) представлены результаты работы всех кафедр университета.

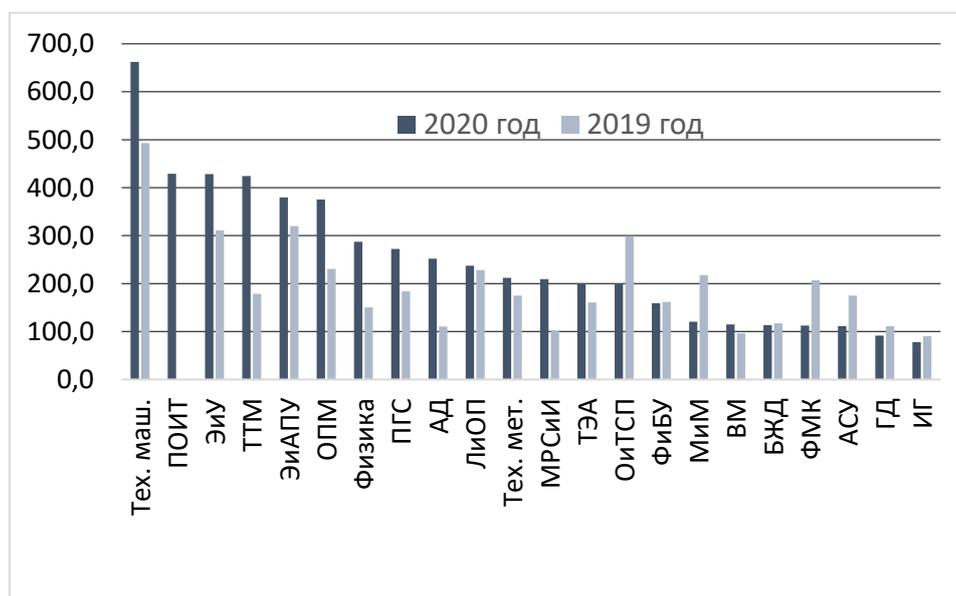


Рис. 3. Абсолютный результат работы кафедр университета

В 2020 г. 13 кафедр смогли увеличить свои показатели, при этом три из них – более чем в 2 раза. Суммарное количество баллов, набранное всем ППС университета – 5470,3. По сравнению с 2019 г. произошел значительный прирост баллов (+1355,4 (24,8 %)), что напрямую свидетельствует об эффективности внедрения стимулирующей системы.

УДК 796.011.3:378

ФИЗИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В КОНТЕКСТЕ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

М. В. ТАПОРЧИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Физическое образование является важным компонентом учебной программы, поскольку необходимо для общего благополучия студентов. В настоящее время физическая культура обладает огромной значимостью для студентов высших заведений. Поэтому целью данного исследования является анализ текущей ситуации в сфере физического воспитания в контексте современной образовательной парадигмы.

В ходе исследования были применены различные теоретические методы, включая анализ, синтез, сравнение и обобщение парадигматических подходов в высшем образовании, а также традиционных и альтернативных образовательных концепций физического воспитания. В ходе исследования была определена направленность научных парадигм в образовании и произведено теоретическое обобщение накопленных знаний и опыта в области физического воспитания с позиций парадигматического подхода.

Одним из ключевых приоритетов современной системы высшего образования являются программы, направленные на улучшение здоровья студентов [1]. Миссии и задачи академического физического воспитания с его теоретическими и практическими аспектами согласуются с парадигмой, концепциями и моделями образования. Стратегии развития физического воспитания постоянно обновляются по мере того, как требуются новые знания и опыт в сфере образовательных услуг [2].

Белорусская система высшего образования во всех ее элементах и уровнях долгое время руководствовалась традиционными парадигмами, при этом цель системы высшего образования ограничивалась академической базой знаний и миссией по построению набора практических навыков [1]. В результате недавнего пересмотра традиционных парадигм в качестве ключевого культурного феномена и субъекта образовательного процесса первоочередное внимание уделяется обучающейся личности. В этом контексте традиционная и гуманистическая парадигмы образования должны быть гармонизированы во всех аспектах [3].

В настоящее время образовательные стандарты академического физического воспитания разработаны в соответствии с требованиями Министерства здравоохранения Республики Беларусь, которые устанавливают требования к

учебным программам физического воспитания. Анализ содержания образовательной системы за последние два десятилетия показывает, что она претерпела трансформацию в подходах к образовательной услуге и профессиональных требованиях к выпускникам – переход от традиционной парадигмы к компетентностно-центрированной [4, 5]. На практике это дало университетам больше свободы в разработке учебных программ.

Типовые учебные программы по физическому воспитанию разработаны в соответствии с действующими стандартами и фундаментальными нормативными правовыми положениями, в которых излагаются основные приоритеты, объем и содержание образовательных услуг, гармонизированных с местными социально-культурными и климатическими условиями и традициями профессиональной подготовки специалистов [6].

За последнее десятилетие типовая учебная программа по физическому воспитанию остается одним из главных нормативных документов, регулирующим приоритеты, цели и объемы услуг академической физической культуры. На данном этапе уделяется много внимания развитию моделей дистанционного образования. Эти изменения считаются полезными и многообещающими для белорусской системы образования.

Таким образом, современная реальность высшего образования предполагает внедрение альтернативных концепций образовательной деятельности в устоявшуюся традиционную педагогическую практику. С точки зрения актуализации стандарт высшего образования обеспечивает выполнение обязательных требований при формировании у будущих специалистов компетенций для поддержания адекватного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Развитие физической культуры и спорта на 2016–2020 годы [Электронный ресурс]: Государственная программа // М-во спорта и туризма Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/>. – Дата доступа: 25.01.2021.
2. Физическая культура: учебное пособие / Е. С. Григорович [и др.]; под общ. ред. Е. С. Григоровича, В. А. Переверзева. – Минск, 2011. – 352 с.
3. **Шубина, Н. А.** Место культурологической парадигмы в современном образовании / Н. А. Шубина // Образование и наука. – 2007. – № 5 (47). – С. 41–48.
4. **Максименко, А. М.** Теория и методика физической культуры: учебник / А. М. Максименко. – Москва, 2005. – 544 с.
5. **Матвеев, Л. П.** Теория и методика физической культуры (общие основы теории и методики физического воспитания; теоретико-методические аспекты спорта и профессионально-прикладных форм физической культуры): учебник для ин-тов физ. культуры / Л. П. Матвеев. – Москва, 1991. – 543 с.
6. Физическая культура: типовая учебная программа для учреждений высшего образования, утв. М-вом образования Респ. Беларусь от 27.06.2017, регистрационный № ТД-СГ 025/тип.

УДК 159.9

КЛАССИФИКАЦИЯ КОПИНГ-СТРАТЕГИЙ И КОПИНГ-РЕСУРСОВ

А. И. ТАРЕЛКИН

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Педагогическая деятельность преподавателя высшей школы относится к коммуникативным видам деятельности и строится по законам общения. Отличительной особенностью педагогической деятельности является интенсивный характер общения преподавателя с различными субъектами, и прежде всего со студентами. Данное общение часто носит затрудненный характер, т. к. преподаватель сталкивается с «сопротивлением человеческого материала». Ситуации затрудненного общения во многом являются ситуациями неопределенности и требуют от педагога усилий по их преодолению и переводу общения на эффективный уровень. Изложенное указывает на актуальность рассмотрения проблемы копинга (преодоления) в педагогической деятельности.

Понятие «копинг» происходит от английского «cope» (преодолевать). В русскоязычной психологии часто используются понятия «преодоление» или «совладающее поведение». Существующие многочисленные определения копинга сводятся к тому, что пусковым механизмом данного процесса является стрессовая или трудная жизненная ситуация, а сам копинг зависит как от характера стрессора, так и от личностных ресурсов личности. Так, И. В. Шагарова понимает под копинг-поведением «целенаправленное социальное поведение, позволяющее субъекту справиться со стрессом или трудной жизненной ситуацией способами, адекватными личностным особенностям и ситуации, через осознанные стратегии действий» [1, с. 12]. При этом подчеркивается отличие копинга от механизмов психологической защиты: первый всегда носит осознанный характер.

Копинг-стратегии обычно понимаются как конкретные осознанные действия, направленные на снижение патогенного воздействия стрессора и возникающие как ответ личности на воспринимаемую угрозу.

В самом общем виде копинг-стратегии делятся на проблемно ориентированные (направлены на рациональный анализ трудной жизненной ситуации и принятие оптимального решения по выходу из нее) и эмоционально ориентированные (направлены на самоконтроль и саморегуляцию отрицательных эмоциональных состояний, вызванных стрессором). Ряд авторов выделяют три базисные копинг-стратегии: разрешение проблемы, поиск психосоциальной поддержки и избегание (А. Ж. Дауменова, Е. Н. Пономаренко). В другой классификации выделяют три основных стиля совладания: продуктивный (стратегии, направленные на решение проблемы), непродуктивный (стратегии, направленные на избегание проблемы) и социальный (стратегии, направленные на поиск социальной поддержки) (Н. С. Колиенко).

Существуют более детализированные классификации копинг-стратегий. Так, вслед Р. Лазурусом и С. Фолкманом выделяют следующие копинг-стратегии: стратегия конфронтации (противостояния), поиск социальной поддержки, планомерное решение проблемы, стратегия самоконтроля, дистанцирование, позитивная переоценка, принятие ответственности, избегание/уход (Л. В. Мазурова). В общем в исследовании И. В. Шагаровой диагностировались следующие копинг-стратегии: активный копинг, планирование, поиск активной общественной поддержки, поиск эмоциональной общественной поддержки, подавление конкурирующей деятельности, обращение к религии, положительное истолкование и личностный рост, сдерживание, принятие, фокус на эмоциях и их выражение, отрицание, ментальное отстранение, поведенческое отстранение, использование алкогольных и наркотических веществ, юмор [1, с. 15].

Выделяют специфические виды копинга. Так, превентивный копинг запускается не актуальной, а потенциальной ситуацией (К. И. Корнев). Применительно к супружеским отношениям говорят о диадическом копинге, когда копинг пары объединяет копинг-поведение каждого участника (Е. М. Королева).

Копинг-ресурсы трактуются или широко – как сочетание личностных и средовых факторов (например, наличие сети социальной поддержки) преодоления, или узко – как сугубо личностные черты, способствующие эффективному копингу. Современные авторы выделяют различные копинг-ресурсы как в целом, так и применительно к преодолению конкретных трудных жизненных ситуаций: Я-концепция, локус контроля, эмпатия, афiliation, сензитивность к отвержению, когнитивные ресурсы, ценностно-смысловая сфера (А. Ж. Дауменова); высокий уровень саморегуляции, аутосимпатии, готовности к изменению, рефлексивности и низкий уровень закрытости (И. В. Шагарова); творческое мышление и межличностное доверие (Н. С. Колиенко); выраженность познавательных, социальных и профессиональных мотивов, маскулинность и мужской стиль общения, высокий локус контроля, высокий уровень потребности достижений и способности к саморазвитию, высокий уровень продуктивности интеллектуальной деятельности (Е. Н. Пономаренко); профессиональная мотивация, ассертивные действия, вступление в социальный контакт, сотрудничество, общительность, эмоциональная устойчивость (А. В. Бухвостов) и др.

Таким образом, знание основных закономерностей процесса преодоления и эффективных копинг-стратегий и копинг-ресурсов позволит преподавателю успешно справляться с возникающими трудными жизненными ситуациями, вызванными производственными факторами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шагарова, И. В.** Личностные детерминанты и типы копинг-поведения в ситуации потери работы: автореф. дис. ... канд. психол. наук: 19.00.03; 19.00.05 / И. В. Шагарова; Ярослав. гос. ун-т им. Г. П. Демидова. – Ярославль, 2008. – 23 с.

УДК 811.161.1

ЗНАЧИМОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫХ ФОЛЬКЛОРНЫХ ТЕКСТОВ
НА ЗАНЯТИЯХ ПО РУССКОМУ ЯЗЫКУ КАК ИНОСТРАННОМУ

Е. В. ШАРАПОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В условиях открытого информационного общества одной из основополагающих компетенций является коммуникативная межкультурная компетенция, которая предполагает владение этносоциокультурными знаниями. Зарубежные студенты, которые изучают русский язык в учебных заведениях Республики Беларусь, не просто овладевают чужой речью, но приобщаются к ее культурным фактам и феноменам.

Вместе с тем возникает достаточно непростая задача: русским языком студенты овладевают в Беларуси. При этом, несмотря на генетическую близость русского и белорусского народа, на условия государственного билингвизма, наша страна имеет свои особенности, дает возможность усвоить оригинальные этносоциокультурные знания.

Поэтому необходимо дать студентам знания о культуре белорусского народа, его духовных и предметных ценностях, менталитете, истории, фольклоре и литературе, не забывая, что каждый студент чтит свои национальные традиции, культуру, литературу.

Преподаватель в подобной ситуации, используя как родные, уже известные иностранным студентам тексты, так и белорусские литературные произведения, может выступать своеобразным медиатором как минимум двух культур. В этой связи значение приобретает продуманное методическое сопровождение изучения названной дисциплины, отбор и адаптация текстов, актуальных для приобретения межкультурных коммуникативных компетенций.

Думается, что жанром выбора, особенно на начальных этапах изучения языка, является народная сказка, которая при всем своем национальном своеобразии может выступать, по выражению В. Я. Проппа, «символом единства».

Сказка – это один из самых древних фольклорных жанров, в ее содержании закреплены ценностные общечеловеческие и национальные идеалы, этические и эстетические представления народа. Форма сказки, ее языковое оформление имеет национально выраженные черты. Изучение народных сказок важно не только для понимания прошлого народа, но и, самое главное, для понимания глубинных ценностей, которые составляют своеобразие национального менталитета, а также для понимания национального характера.

Таким образом, этот литературно-художественный жанр позволит решить различные коммуникативные, познавательные и воспитательные задачи. Изучение его целесообразно вести в сравнительном аспекте, обращаясь как к сказкам белорусского народа, так и к сказкам стран учащихся. Очевидно, что подбираются тексты в переводе на русский язык, при этом учитывается уровень подготовленности студентов.

В Белорусско-Российском университете достаточно большое число студентов-иностранцев составляют представители Туркменистана. Поэтому на занятиях используются сказки белорусского [1] и туркменского [2, 3] фольклора в переводе на русский язык. Для анализа отбираются тексты, в которых используются так называемые международные сказочные фабулы и мотивы. При сравнении национальных вариантов очень показательно выявляется их своеобразие в:

- отражении национальной жизни, этнографических, климатических, социальных и других особенностей;
- отражении национальных характеров и типов, народного менталитета;
- особенностях построения сюжета при сходстве основных фабульных линий;
- использовании средств художественной выразительности, композиционных приемов, пословиц и поговорок.

Для эффективного использования сказочных произведений при отборе текстов нужно учитывать, как сказочное произведение способствует формированию:

- коммуникативной компетенции учащихся, т. е. формирует их навыки общения;
- межкультурной компетенции учащихся, т. е. формирует их умение видеть национальные и интернациональные черты, культурологический потенциал в предложенных текстах.

Фольклорный сказочный текст выступает в методике преподавания русского языка как средство формирования межкультурной коммуникативной компетенции. Изучение другой национальной культуры через сравнение со своей, освоение этносоциокультурных знаний позволят студентам не просто выучить язык, но познать Беларусь, полюбить эту страну. Это, в свою очередь, поможет в укреплении дружбы и добрососедских отношений между народами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белорусские народные сказки / Сост. М. А. Казберук. – Минск: Юнацтва, 1987. – 322 с.
2. Гора самоцветов. Туркменские народные сказки / Сост. С. Молчан. – Минск: Белорус. Энцикл. им. Петруся Бровки, 2014. – 136 с.
3. Проданный сон. Туркменские народные сказки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://profilib.org/chtenie/114401/turkmenskie-narodnye-skazki-prodannyy-son-8.php>. – Дата доступа: 01.02.2021.

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Материалы Международной
научно-технической конференции
(Могилев, 22–23 апреля 2021 года)

**Авторы несут персональную ответственность
за содержание тезисов докладов**

Корректоры *И. В. Голубцова, Е. А. Галковская,
Т. А. Рыжикова, А. А. Подошевка*

Компьютерный дизайн *Н. П. Полевничая, Е. В. Ковалевская*

Подписано в печать 19.04.2021. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 29,99. Уч.-изд. л. 32,06. Тираж 30 экз. Заказ № 294.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.