

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, 21–22 апреля 2022 года)

Могилев
«Белорусско-Российский университет»
2022

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. техн. наук *С. В. Данилов*; канд. физ.-мат. наук, доц. *В. Г. Замураев*; канд. техн. наук, доц. *Н. А. Коваленко*; канд. техн. наук, доц. *А. О. Коротеев*; канд. техн. наук, доц. *В. В. Кутузов*; канд. техн. наук, доц. *Г. С. Леневский*; канд. техн. наук, доц. *И. В. Лесковец*; канд. физ.-мат. наук, доц. *И. И. Маковецкий*; 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*; д-р техн. наук, доц. *А. И. Якимов*; канд. техн. наук, доц. *Д. И. Якубович*; *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, 2022. – 516 с. : ил.
ISBN 978-985-492-274-4.

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 978-985-492-274-4

© Межгосударственное образовательное
учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский
университет», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарное заседание

БОЛОТОВ С. В., ЗАХАРЧЕНКОВ К. В., БОБКОВ Н. К. Разработка автоматизированной системы регистрации сварочных процессов.....	20
БОСАКОВ С. В., КОЗУНОВА О. В. Общий подход к расчету плоских рам на упругом основании на пространственную нагрузку	23
РАБЫКО М. А. Технология повышения эксплуатационных характеристик технологической оснастки из штамповых сталей обработкой тлеющим разрядом в магнитном поле.....	28

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

АКУЛИЧ А. В., ЛУСТЕНКОВ В. М., АКУЛИЧ В. М. Гидродинамика закрученных потоков в аппаратах для проведения процессов пылеулавливания.....	32
АЛЕКСЕЕВ Ю. Г., БУДНИЦКИЙ А. С., СЕНЧЕНКО Г. М. Упрочнение поверхности титана с применением электролитно-плазменного нагрева.....	33
АНТОНЮК В. Е. Динамическая стабилизация фрикционных дисков с использованием косоагруженного изгиба.....	35
АНТОНЮК В. Е., ТИМОШЕНКО Н. П., САНДОМИРСКИЙ С. Г. Расчет количества и загруженности оборудования для автоматизированного участка термической обработки.....	37
АФАНЕВИЧ В. В., ПАШКЕВИЧ В. М. Исследование микротвердости поверхностного слоя, формируемого при инерционно-импульсной обработке.....	40
БЕЛЯКОВ Н. В., ЯСНЕВ Д. А., ЭБАКО М. Э. Система автоматизации прогнозирования точности допусков взаимного расположения поверхностей при 3D-печати.....	42
ВИДРИЦКИЙ А. Э., ЛАНИН В. Л. Формирование объемных припойных выводов с использованием лазерного излучения.....	44
ВОРОБЬЕВА О. А., СЕРИКОВ М. В. Сравнительный анализ угловых и линейных отклонений печати на 3D-принтере деталей типа «шар».....	46
ГУЩА Ю. А., ТАЛАНКОВ М. В. Сравнительный анализ адгезивных свойств при печати на 3D-принтере.....	48
ДЕМИДЕНКО Е. Ю., ФЛАНЧЕВ П. С., АВЧИННИКОВ Т. Н. Коллективная ориентация мобильных роботов в пространстве на основе ROS-системы.....	50
ДЕМИДЕНКО Е. Ю., ЧЕРНЯКОВ В. А., ФЛАНЧЕВ П. С. Мехатроника бионических протезов с повышенной функциональностью.....	51

ДОВГАЛЕВ А. М., СВИРЕПА Д. М. Математическое моделирование процесса СМДН в активной технологической среде.....	52
ЕЛИСЕЕВА А. Н., ШЕМЕНКОВ В. М. Анализ теплового воздействия на поверхность изделий из металлов при обработке тлеющим разрядом.....	53
ЖОЛОБОВ А. А., КЛЯУС О. Н. К вопросу исследования упругих деформаций рабочей части расточного резца при формировании отверстий.....	54
ИЛЬЮШИНА Е. В., ЮШКЕВИЧ Н. М., КУБРАКОВ И. В. Использование упрочняющего пневмоударного накатывания для обработки внутренних цилиндрических поверхностей.....	55
ИЛЮШИН И. Э., БОБРОВ И. Ю., ГОСПОД А. В. Метод синтеза оптимальных компоновок роботизированных технологических комплексов в процессе лазерной резки.....	56
КАПИТОНОВ А. В., ЯКУБОВСКИЙ Р. Г. Оценка точности изготовления многопериодных дорожек планетарных передач.....	58
КАПИТОНОВ А. В., ЯКУБОВСКИЙ Р. Г. Проектирование профиля многопериодных дорожек для высокоточных планетарных передач.....	59
КОРОЛЁВ А. Ю., НИСС В. С., ПАРШУТО А. Э. Полирование металлических материалов в управляемых импульсных режимах электролитно-плазменной обработки.....	60
МОИСЕЕНКО А. Н., ФЕДОРЕНКО А. М., МАШИН Ю. В., КОМАР В. Л. Технологии изготовления центральных колес передачи с плоскоконическим зацеплением.....	62
ПАШКЕВИЧ В. М. Автоматизация построения эмпирических моделей технологических объектов с использованием оконных весовых функций.....	64
ПОЛТОРАЦКИЙ С. Г. Анализ кинематических углов резания при формировании отверстий с профилем TORX осевым инструментом.....	65
ПОЛТОРАЦКИЙ С. Г. Способ формирования отверстий с профилем TORX с использованием осевого инструмента.....	66
СВИРЕПА Д. М. Конструкция магнитно-динамического накатника для модифицирования поверхностного слоя деталей машин.....	68
СВИРЕПА Д. М. Модифицирование поверхностного слоя комплексным магнитно-силовым и низкоэнергетическим воздействием.....	69
СВИРЕПА Д. М., ДОВГАЛЕВ А. М. Формирование антифрикционных покрытий магнитно-динамическим накатыванием.....	70
СУХОЦКИЙ С. А., ТРУСОВ И. В., ПАНЬКОВ А. А. Стойкость инструмента для магнитно-динамического накатывания плоских поверхностей.....	71
ТАРАДЕЙКО И. А., ТАРАДЕЙКО М. В. Исследование шероховатости наружной поверхности деталей, упрочненных импульсно-ударным накатыванием.....	72

ТАРАДЕЙКО М. В., ТАРАДЕЙКО И. А. Математическое моделирование процесса импульсно-ударного накатывания.....	74
ТРУСОВ И. В., КРУЧИНИНА А. С. Разработка схемы моделирования процесса совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим раскатыванием.....	75
ФЕДОРЕНКО А. М. Контроль технологических операций на основе использования акустического мониторинга.....	76
ЯВОРСКИЙ В. В., ЕЛОВОЙ О. М., БУДЗИНСКАЯ А. В. Выбор массы заготовок в автоматизированном кольцераскатном комплексе.....	77

Секция 2. Машиноведение, детали машин и прикладная механика

БЛАГОДАРНАЯ О. В., БОРОДИН И. А. Анализ особенностей модели руки-манипулятора.....	79
БЛАГОДАРНАЯ О. В., ПОНОМАРЕВА О. А. Применение метода магнитно-абразивного полирования для обработки сложнопрофильных поверхностей.....	80
ДАНЬКОВ А. М., ГОНЧАРОВ Ю. В. Совершенствование конструктивной схемы зубчатой планетарной плавнорегулируемой передачи.....	81
КАТЬКАЛО А. А. Балки равного сопротивления с применением аддитивных технологий.....	83
КОМАР В. Л. Экспериментальный стенд для исследования расслоения и налипания строительных материалов при транспортировании на ленточном конвейере.....	85
КУЦЕПОЛЕНКО А. В., ПОДЫМАКО М. Э., ЛУСТЕНКОВА Е. С. Разработка конструкции заклинивающих элементов ограничителя скорости лифта двухстороннего действия	86
ЛУСТЕНКОВА Е. С. Исследования КПД мультипликатора со сферической шариковой передачей.....	87
МАКАРЕВИЧ Д. М., КОМАР В. Л. Планетарная цепная передача типа К-Н-V.....	89
МОИСЕЕНКО А. Н. Статическое уравнивание двухрядного сателлита сферической роликовой передачи.....	90
ПОПОВ В. Б. Численные методы решения задач гидродинамики.....	92
ПРИХОДЬКО А. А., НОВИЦКИЙ А. В. Структурный анализ исполнительного механизма возвратно-поступательного движения.....	93
ПРУДНИКОВ А. П. Мультипликатор на базе планетарной зубчатой передачи типа К-Н-V.....	95
ПРУДНИКОВ А. П. Обеспечение равномерного распределения нагрузки в шлицевом соединении.....	96
ПУЗАНОВА О. В. Методика моделирования динамики цикловой машины.....	97

РУДЕНКО С. П., ВАЛЬКО А. Л., САНДОМИРСКИЙ С. Г. Выбор нагрузки при определении твердости поверхностно упрочненных стальных изделий.....	99
СОТНИК Л. Л., НАЛИВКО О. И. Влияние степени заполнения на прочностные характеристики PLA-пластика при сжатии.....	101
ТРУСОВ И. В., КРИВОНОГОВА Е. Г., ПОКЛАД В. В. Косвенный метод определения крутящего момента на входном валу мотор-редуктора.....	103

Секция 3. Технологии получения новых материалов и покрытий

АЛЕКСЕЕВ Ю. Г., ПАРШУТО А. Э., СЕНЧЕНКО Г. М. Формирование светопоглощающих покрытий на внутренних поверхностях длинномерных трубчатых изделий микродуговым оксидированием.....	104
АНДРИЕНКО В. М., ДУВАЛОВ П. Ю., КАЛЕНТИОНОК А. И. Изучение влияния внутренних источников теплоотвода в виде дроби на детали из износостойкого хромистого чугуна.....	106
БАРАНОВ К. Н., ГУТЕВ А. П. Исследование условий работы промежуточного ковша малой металлоемкости при литье намо- раживанием.....	108
БРАНОВИЦКИЙ А. М., ЛЕБЕДИНСКИЙ Ю. А., ДУВАЛОВ П. Ю. Моделирование теплообмена при формировании отливки из хромистого чугуна в форме из холоднотвердеющей смеси с использованием стальной вставки.....	110
ВОЗНЯКОВСКИЙ А. А., СМЕРНОВА В. Э., ВОЗНЯКОВСКИЙ А. П., КИДАЛОВ С. В., ОВЧИННИКОВ Е. В., ЭЙСЫМОНТ Е. И. Поли- мерные композиты на основе фотополимерных смол, модифициро- ванных малослойным графеном.....	112
ВОЛОКИТИН А. В., ТОЛКУШКИН А. О., ПАНИН Е. А. Изучение закрытия внутренних дефектов при протяжке металла в ступенчато- клиновых бойках.....	114
ГАПАНЬКОВА Е. И., ЛАТЫШЕВИЧ И. А., ПОЛХОВСКИЙ А. В. Полимерный композиционный материал на основе терпеноидного сырья для производства пластиковых лыж.....	116
ГРАНЬКО С. В., КОРОТКЕВИЧ А. В. Тестовый контроль темпе- ратуры мелющих тел шаровой мельницы.....	118
ГРУША В. П., БАРАНОВ К. Н. Исследование влияния химического состава экономнолегированного серого чугуна на твердость.....	120
ГУСАКОВА О. В. Влияние многокомпонентного легирования на коррозионные свойства быстрозатвердевших силуминов.....	122
ГУСАКОВА С. В., ГУСАКОВА О. В., ГОЛЫЦЕВ М. В. Влияние толщины фольги на микроструктуры сплава Al-Si при высоко- скоростном затвердевании.....	124

ГУТЕВ А. П., ГРУША В. П. Использование отходов производства при получении расплава экономнолегированного чугуна.....	126
ДУВАЛОВ П. Ю., ПУМПУР В. А. Исследование теплопереноса при затвердевании отливки с внутренними холодильниками.....	128
ЗЕРНИЦА Д. А., ШЕПЕЛЕВИЧ В. Г. Особенности кристаллизации бессвинцовых быстрозатвердевших сплавов олово – цинк.....	130
КОВАЛЁВ А. М. Непрерывное литье алюминиевого прутка малого сечения вертикально вверх	132
КУЗМЕНКО И. М., КРИЖЕВСКИЙ А. Д. Методика исследования трещиностойкости материалов, получаемых на основе аддитивных технологий.....	134
КУЛЕВИЧ В. П., БОГДАНОВ А. И. Особенности формирования жаростойких алюминидных покрытий после алитирования погружением в расплав.....	136
КУПРЕЕВ М. П. Высокопористый абразивный инструмент для шлифования деталей сложного профиля.....	138
ЛЕОНОВИЧ И. А. Исследование механических характеристик ABS-пластика в образцах, полученных FFF-печатью.....	140
ЛЕОНОВИЧ И. А., КЕМОВА В. А. Моделирование испытания на растяжение образцов, полученных по аддитивным технологиям.....	141
ЛОВШЕНКО Ф. Г., ЛОЗИКОВ И. А. Исследование влияния технологических факторов на свойства модифицирующих лигатур.....	143
МИХАЙЛОВ М. И., ЛАПКО О. А. Исследование демпфирующих свойств композиционных материалов.....	145
НАЙЗАБЕКОВ А. Б., ЛЕЖНЕВ С. Н., ПАНИН Е. А. Эволюция микроструктуры стали 40Х при деформировании в инструменте, реализующем сдвиговую деформацию.....	147
НИСС В. С., КОРОЛЁВ А. Ю., БУДНИЦКИЙ А. С. Получение оксидных покрытий на поверхности вентильных металлов с применением высокочастотного импульсного микродугового оксидирования.....	149
ОВЧИННИКОВ Е. В., СЕМЕНОВ А. В., ЭЙСЫМОНТ Е. И., МУЗЫКА И. И. Инновационные композиционные материалы для электромобилей.....	151
ОВЧИННИКОВ Е. В., ЧЕКАН Н. М., КОСТЮКОВИЧ Г. А., АКУЛА И. П., ПОПРУКАЙЛО А. В. Физико-механические характеристики многофункциональных покрытий на основе металлических и углеродных матриц.....	153
ПАНТЕЛЕЕНКО Ф. И., ОКОВИТЫЙ В. А., ДЕВОЙНО О. Г., ОКОВИТЫЙ В. В., ЛИТВИНКО А. А., АСТАШИНСКИЙ В. М. Морфология многослойных плазменных оксидных покрытий при модификации высокоэнергетическими компрессионными потоками.....	155

СТЕПАНЕНКО В. Н., ШАПОРОВА Е. А., ЮХНЕВИЧ С. Д. Производство фторсодержащих материалов из продуктов переработки минерального сырья.....	157
СТЕПАНЕНКО В. Н., ШАПОРОВА Е. А., ЮХНЕВИЧ С. Д. Разработка технологии синтеза флюорита из продуктов переработки апатитов.....	159
СТОЛЯР И. А., ТАШЛЫКОВА-БУШКЕВИЧ И. И., ШЕПЕЛЕВИЧ В. Г. Выделение магнийсодержащих фаз в быстро-затвердевших фольгах сплава Al–Mg–Zr при отжиге.....	161
ТЕЛЕШ Е. В., ТОЧЕНЬ В. А. Формирование гидрофобных фторуглеродных покрытий	163
ТИХОН О. И., МАДВЕЙКО С. И., БОРДУСОВ С. В. Исследование эмиссионной спектральной характеристики плазмы СВЧ-разряда технологического назначения.....	165
ФЕДОСЕНКО А. С., ЛОВШЕНКО Ф. Г., ОЛЕНЦЕВИЧ А. С. Применение порошков на основе алюминия в аддитивном производстве.....	167
ФЕДОСЕНКО А. С., САПЕГО В. А. Механосинтез материалов на основе системы «железо – алюминий».....	168
ШЕЛЕГ В. К., ЛУЦКО Н. И., КАРДАПОЛОВА М. А. Влияние режимов лазерной наплавки со сканированием на геометрические характеристики валиков.....	169
ШИМАНСКАЯ А. Н., ПОДСОСОННАЯ А. Д., БОРОВКО Д. А., БОРОЗНА И. А., ЖЕРНОКЛЕВА А. В. Применение 3D-печати для получения кальций-фосфатной керамики.....	172
ШИМАНСКАЯ А. Н., ПОДСОСОННАЯ А. Д., ШОКАЛЬ Е. В. Получение кальций-фосфатной керамики с использованием самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.....	174
ЩЕПОЧКИНА Ю. А. Полимерное покрытие для защиты стальных поверхностей.....	176
ЯКУБОВИЧ Д. И., СТРЕЛЬЦОВ С. В. Экспериментальная установка центробежного диспергирования сплавов.....	178
ЯКУБОВИЧ Д. И., ШАБЛОВСКИЙ А. В. Применение мелко-дисперсных порошковых материалов при изготовлении покрытых электродов для ручной дуговой сварки.....	179

Секция 4. Сварка, родственные процессы и технологии

БОЛОТОВ С. В., ПОЛЯКОВ А. Ю., КУКУШКИН Е. Д., РЕЕНТОВИЧ П. А. Методика расчета основных параметров режима контактной рельефной сварки с автоматической корректировкой мощности тепловложения.....	180
ДОЛЯЧКО В. П., ШУКАН Н. М. Определение оптимальных параметров режима наплавки изделий из литейных алюминиевых сплавов (Al).....	181

КОРОТЕЕВ А. О. Особенности формирования микроструктуры при аддитивной дуговой наплавке материалов системы легирования Al–Si.....	182
ЛУПАЧЕВ А. Г., КОРОТЕЕВ А. О. Управление структурой зоны термического влияния стали A 335 Grade P91.....	183
ЛЮБАНЕЦ Н. М., КОРОТЕЕВ А. О., ЛУПАЧЕВ А. Г. Особенности технологии сварки дуплексных нержавеющей сталей.....	184
ПЕТУХОВ И. Б. Микросварка алюминиевой проволоки капилляром с вертикальной подачей проволоки.....	185
ПИЛИПЧУК А. П., ДЕВОЙНО О. Г., ДЕВОЙНО Д. Г., ГЕЛИВЕР О. Г. Термоупругие напряжения в стержне при лазерной обработке.....	187
СИНИЦА А. Н., СИНИЦА М. А. Исследование влияния галоидных соединений на возникновение дефектов при сварке.....	190
СТАЛЕНКОВ С. А., КУЛИКОВ В. П. Трудности получения работоспособных сварных соединений из стали A 335 Grade P91.....	191
ФЕТИСОВА Е. А., КОРОТЕЕВА А. А. Влияние введения гексафторида серы в состав защитной газовой атмосферы на значения ударной вязкости сварных соединений.....	192
ФУРМАНОВ С. М., ЕРМОЛЕНКО Р. А., МАЛАШЕНКО Л. С. Обзор систем адаптивного управления процессами контактной точечной и рельефной сварки.....	193
ХАЦКЕВИЧ А. Д., ЛАНИН В. Л. Индукционная пайка шариков припоя на микроплатах.....	194
ЦЫГАНКОВ И. И., АТАМАНОВ С. Г., СЕРДЮКОВА К. Н. Исследование возможности использования проволок типа 65Г и ЗК-7 в качестве присадочного материала для аргоно-дуговой наплавки.....	196
ЧЕШКО М. Ю. Подтверждение соответствия оборудования дуговой сварки бытового назначения.....	197
ЮМАНОВ Д. Н., КОРОЛЁВ Е. М. Моделирование процесса контактной рельефной сварки с программным управлением мощностью тепловложения.....	198
ЮМАНОВ Д. Н., ФУРМАНОВ С. М., МАЛАШЕНКО Л. С. Об исследовании микроструктуры сварных соединений при рельефной сварке с программным управлением.....	199

Секция 5. Транспортные и технологические машины

БЕРЕСНЕВ В. В. Методика определения приведенной массы рабочего элемента при соударении с частицей материала.....	200
ГУРКИНА А. В. Влияние параметров стержня при вибростержневом упрочнении на поверхность древесины.....	202
ГУРКИНА А. В., МЕШКОВА Н. Л. Вибростержневая обработка поверхностей деревянных конструкций для направленного изменения их свойств.....	204

ЗАРОВЧАТСКАЯ Е. В., КОВАЛЕНКО А. И. Волоконная мельница для приготовления жидкотекучих композиций.....	205
КОДНЯНКО Е. В. Сравнительные характеристики материалов облицовки роликов шахтного скипа.....	206
КОДНЯНКО М. Ю. Факторы, влияющие на трение и изнашивание эластомеров.....	208
КУЛАБУХОВ А. В., СМОЛЯР А. П. Научно-технические основы разработки рабочего оборудования новых типов для землеройных машин.....	210
КУЛАБУХОВ А. В., СМОЛЯР А. П., ЛАСОЦКИЙ В. В. О регулировании параметров грунтозацепов гусеничного движителя....	212
КУРАПИН А. В., СМЕРНОВ Н. А. Расчетная оценка процессов топливоподачи при работе дизельного двигателя на смесях дизельного топлива и подсолнечного масла.....	213
КУРОЧКИН Н. В., БУКАРЬ Н. С. Проблемы переработки кордосодержащих автомобильных покрышек и пути их решения.....	216
ЛЕСКОВЕЦ И. В. Обоснование комплекта данных цифрового двойника гусеничного бульдозера.....	218
МАЛЕВИЧ А. В., СОТНИК Л. Л., СИВАЧЕНКО Л. А. Ионно-плазменное азотирование мелющих тел пружинной мельницы закрытого типа.....	220
МАШИН Ю. В. Автономный комплекс подогрева аккумуляторной батареи легкового автомобиля.....	222
СЁМЧЕН В. И., НАУМЕНКО А. Е., ЛЕСКОВЕЦ И. В. Совершенствование технического диагностирования грузоподъемных машин.....	224
СОТНИК Л. Л., ВИННИЧЕК К. С., СИВАЧЕНКО Л. А. Оценка влияния величины эксцентриситета на процесс измельчения.....	226
ХАРИТОНОВ Ю. М., КУЗЬМЕНКОВА М. С. Интенсификация рабочего процесса смесителя с волновой рабочей камерой.....	228
ШЕМЕТОВ Е. Г., ДМИТРИЕНКО В. Г., ПИВОВАРОВ Е. А. Экспериментальные исследования струйной мельницы с плоской помольной камерой торообразной формы.....	229
ШЕМЕТОВА О. М., ФАДИН Ю. М. Экспериментальные исследования пневмосмесителя со спиральной энергонесущей трубкой.....	231
ЮДИН К. А. Селективность выгрузки для смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал.....	233

Секция 6. Проектирование, производство и эксплуатация автомобильного транспорта

ВОРОНИН А. С., СИНИЦЫН В. А. Использование критериального метода анализа теплонапряженности деталей ЦПГ при проектировании ДВС.....	235

КОВАЛЕНКО Н. А., КЛЕПЧА Е. П. Методика выбора гаражного оборудования с использованием его комплексной оценки.....	237
ЛОБАХ В. П., СЛИВА А. С. Прибор для измерения частоты вращения вала.....	239
МАЛАХОВСКАЯ Ю. В., РОГОЖИН В. Д. Особенности технологического процесса по замене автостекол автомобилей.....	241
МЕЛЬНИКОВ А. А. Особенности прочностного расчета перспективных тормозных механизмов.....	242
МЕЛЬНИКОВ А. А. Повышение эффективности дискового тормозного механизма с гидравлическим приводом.....	243
МЕЛЬНИКОВ А. С. Создание самоторможения вращением элементов нажимного устройства тормозного механизма.....	244
ОШКАЛО Е. С., САНОЧКИН А. С. Анализ влияния смешанного регулирования мощности газового двигателя на эксплуатационные показатели	245
ОШКАЛО Е. С., САНОЧКИН А. С. Метод МДО для увеличения износо- и теплостойкости элементов цилиндропоршневой группы ДВС.....	247
САЗОНОВ И. С., МОИСЕЕВ Е. А. Расчет и построение диаграммы торможения автомобиля.....	249
САЛЫКИН Е. А., КАВЕРИН Н. С., ЯНЮШКИН Р. Ю. Модернизация системы топливоподачи дизеля малой мощности.....	250
САЛЫКИН Е. А., ЯНЮШКИН Р. Ю., КАВЕРИН Н. С. Исследование характеристики процесса подачи топлива в дизеле малой мощности.....	252
СТЕФАНЕНКО Д. И., КОВАЛЕНКО Н. А. Модернизация каретки двухстоечного подъемника.....	254
 Секция 7. Строительство и техносферная безопасность	
АЛЕКСАНДРОНЕЦ А. А., ЩУР А. В. Современные подходы к вертикальному озеленению помещений.....	256
БОРИСЕНКО О. В., КУТУЗОВ В. В., ЗАРОВЧАТСКАЯ Е. В. Применение химических противогололедных реагентов при зимнем содержании автомобильных дорог.....	258
БРОДОВА О. И., ПАРАХНЕВИЧ В. Т. Требования конструкции безоголовочных труб автомобильных дорог.....	259
ГАЛЮЖИН С. Д., ЛОБИКОВА О. М. Основные принципы построения энергосберегающей вентиляционной установки.....	261
ГАЛЮЖИН С. Д., ЛОБИКОВА О. М. Основные проблемы, возникающие при выполнении расчетов в соответствии со строительными правилами СП 2.04.01–2020.....	263
ГОБРАЛЕВ Н. Н., ДАДЕРКИН Ф. С. Автомобильная шина – фактор экологической опасности для окружающей среды.....	265

ГОЛУШКОВА О. В. Анализ IT-элементов VI технологического уклада в строительстве.....	267
ГОЛУШКОВА О. В. Влияние организационно-технологической схемы на энергопотребление строительной площадки.....	269
DANILOV S. V., ALEKSANDROV V. A., SHILO A. A. Technical solutions for rehabilitation of reinforced concrete ribbed slabs.....	271
ДАНИЛОВ С. В., ОПАНАСЮК И. Л. Оценка технического состояния воздухозаборной камеры склада № 1 на территории ИООО «ВМГ Индустри».....	273
ДУДОРГА В. А. Расчет дорожного покрытия из серийных плит типа ПАГ на упругом слое переменной толщины.....	275
КОЗУНОВА О. В., ПУСЕНКОВ А. Г. Учет касательных напряжений при постановке задачи контактного взаимодействия балочной плиты с упругим основанием.....	276
КОЗУНОВА О. В., ХАРЛАП А. С. Расчет крестообразных стержневых систем на винклеровском основании методом перемещений.....	279
КОТОВ Ю. Н. Пространственная контактная деформация пластины при условии равенства ее некоторых перемещений.....	281
КУРНОСЕНКО Л. В., КАТКОВ В. А. Эффективное разграничение области использования комплектов экскаватор – автосамосвалы.....	283
КУРОЧКИН Н. В., БОРОДИЧ А. Ю. К возможности применения калориферной системы отопления для учебного корпуса № 5.....	285
ЛАТУН Т. С., СЕМЕНЮК Р. П. Упрочнение клеевой прослойки микроармированием.....	287
МАКАРОВ С. О., ТИХОНОВ А. Д. Применение алгоритма обработки спутниковых данных для построения геодезических сетей....	288
МАРКО О. Ю., КОРБУТ Е. Е., МАСЛЕНКОВ А. А. Твердение бетона с добавкой «УКД-1» по методу «Термоса».....	290
МЕЛЬЯНЦОВА И. И., САМОЛЫГО Т. С. Аналитический обзор структурно-технологических основ конструкционного легкого бетона.....	292
МИХАЛЬКОВ В. С., МИХАЛЬКОВ Д. В. Кинематический анализ приводного механизма помольной камеры вибрационной балансирной мельницы.....	294
МИХАЛЬКОВ В. С., МИХАЛЬКОВ Д. В. Оптимизация параметров колебания помольной камеры вибрационной балансирной мельницы.....	296
МОСКАЛЬКОВА Ю. Г. Определение прочности бетона при статическом малоцикловом нагружении.....	298
MASKALKOVA YU. G., RZHEVUTSKAYA V. A. Time-dependent behavior of shrinkage strain for expanded clay aggregate fiber-reinforced concrete.....	300
ПОЛЯКОВА Т. А., ПОЛЯКОВА И. А. Исследование зависимости рыночной стоимости объектов недвижимости от фактического возраста.....	302

RZHEVUTSKAYA V. A. Dispersed reinforcement with steel fiber of expanded clay aggregate concrete.....	303
СИРОШ К. А. Расчет бесконечной регулярной системы изотропных плит на упругом основании.....	304
СТЕПАНОВИЧ Ю. А., ХАППИ ВАКО Б. Ж., ШРУБОК А. О. Опыт использования полимерных отходов в качестве модификаторов нефтяных битумов.....	306
CHONGO P., IRADUKUNDA J., SHAMBINA S. L. Concrete construction and its resource saving technologies for sustainability.....	308

Секция 8. Контроль и диагностика промышленных объектов и окружающей среды

АФАНАСЬЕВ А. А., СОТНИК М. М., ПИСАРИК В. В. Двухканальный оптоэлектронный преобразователь для средств фотометрического контроля.....	310
БУЛАТОВ О. В. Выбор оптимальных толщин стенок стальных корпусов магнитодинамических преобразователей.....	311
БУСЬКО В. Н. Оценка технологической анизотропии в образцах сталей, полученных аддитивным способом.....	313
ГОГОЛИНСКИЙ В. Ф., АФАНАСЬЕВ А. А., ИВАНОВ В. В. Анализ метрологических характеристик оптико-волоконного преобразователя размерного контроля.....	315
ГОРДЕЕВА А. С., СЕРГЕЕВ С. С., СЕРГЕЕВА О. С. Оценка эффективности возбуждения волн Рэлея различными преобразователями.....	316
КОРОТКЕВИЧ З. М., БУРАК В. А. Влияние длины образцов на вторичное магнитное поле при импульсном намагничивании в проходном датчике.....	317
КУХАРЕНКО И. М., САВИЦКИЙ И. С., ПРИМАК И. У., ХОМЧЕНКО А. В. Оценка механических напряжений в объектах малых размеров.....	319
МИРЕНКОВА Я. И., НОВИКОВ В. А., КУШНЕР А. В., ШИЛОВ А. В. Формирование магнитостатического поля дефекта на поверхности ферромагнитного объекта с покрытием.....	320
ПАРАШКОВ С. О., ПОНКРАТОВ Д. В., СОТСКИЙ А. Б. К оптимизации антибликовых интерференционных покрытий.....	322
ПАРАШКОВ С. О., СТАСЬКОВ Н. И., ТРЕТЬЯК Е. В. Рефрактометрия известково-натриевого стекла.....	324
ПЛОТНИКОВ М. Е., СЕРГЕЕВ С. С. Автоматизированный сканер для ультразвукового контроля сварных соединений TOFD-методом.....	326
ПОЗДНЯКОВ В. Ф., ПОЗДНЯКОВА Е. В. Исследования процесса контактирования измерительного щупа с объектом контроля на величину погрешности измерения линейных размеров.....	328

ПРУДНИКОВ А. Н. Оценка плоского напряженного состояния методом магнитных шумов Баркгаузена.....	330
РУСАКЕВИЧ К. А., КУЛАГИН В. Н., ОСИПОВ А. А. Оценка надежности контроля образцов холоднокатаной стали 35 импульсным магнитным методом.....	331
САНДОМИРСКИЙ С. Г., ВАЛЬКО А. Л., РУДЕНКО С. П. Анализ использования метода «точечного полюса» для неразрушающего контроля качества цементации поверхностно упрочненных зубчатых колес.....	333
ХОМЧЕНКО А. В., ПРИМАК И. У. Определение коэффициента теплопроводности методом поляризационной интерферометрии.....	335
ХОМЧЕНКО А. В., ПРИМАК И. У., ПИВОВАРОВА Е. В. Измерение двулучепреломления в ЖК-пленках.....	336
ЧЕРНЫШЁВ А. В., ШАРАНДО В. И., КРЕМЕНЬКОВА Н. В. Вихретоковый контроль пластически деформированной стали 12Х18Н10Т.....	338
ЧУДАКОВСКИЙ П. Я., МАНКЕВИЧ Н. С. Расчет оптических дифракционных картин в процессе роста кристаллических частиц.....	340
ШАРАНДО В. И., ЧЕРНЫШЁВ А. В., КРЕМЕНЬКОВА Н. В., ПОЛОНЕВИЧ А. А. Магнитодинамический и термоэлектрический контроль пластически деформированной стали 12Х18Н10Т.....	342
ШУЛЬГА А. В., ЧУДАКОВ Е. А., СТАСЬКОВ Н. И. Оптические характеристики пленок титаната бария с эрбием.....	344

Секция 9. Автоматизация, электропривод и электрооборудование

АБАБУРКО В. Н., НИКИТИН П. Ф., КАЗАК Е. М. Дополнительная маркировка электрооборудования для взрывоопасных сред.....	346
АБАБУРКО В. Н., ЧЕРНАЯ Л. Г., САЗОНКО А. Е. Автоматизация контроля эксплуатации электрооборудования для взрывоопасных сред.....	348
БОЛОТОВ С. В., БОБКОВ Н. К., БОЛОТОВА Е. Л. Разработка печатных плат и корпуса регистратора сварочных процессов.....	350
БОЧКАРЕВ Г. В., ЛАПИЦКИЙ В. А. Повышение эффективности изучения имитационного моделирования импульсных преобразователей постоянного тока и электроприводов на их основе.....	351
КАПИТОНОВ О. А., ТРЕТЬЯКОВ А. С. Анализ работы группы электроприводов с матричными преобразователями частоты.....	352
КАПИТОНОВ О. А., ТРЕТЬЯКОВ А. С. Обзор вариантов реализации матричных преобразователей частоты.....	354
КОВАЛЬЧУК В. М. Проблемы аналитических методов оценки допустимости фликера.....	356

СТАРОВОЙТОВ А. Г., ЧЕРКАСОВА И. А. К вопросу измерения разности фаз в анизотропных материалах.....	358
ЧЕРНАЯ Л. Г., САЗОНКО А. Е., КОХАН А. В. Электронный паспорт индивидуальной эксплуатации взрывозащищенного оборудования.....	360

Секция 10. Информационные технологии в промышленности

БЕККЕР И. А., ЛАЛОВ К. С. Преимущества использования библиотеки React при разработке web-приложения.....	362
ВЛАДОВА А. Ю., БОРЧИК Е. М., ШЕБАН Т. Л. Способ коллективного моделирования производственного процесса.....	365
СТОЛЯРОВ Ю. Д. Динамическое перераспределение памяти ОЗУ с использованием виртуальных технологий.....	367
ХВИСЮК Ф. С. Визуализация термопрофилей процесса индукционной пайки с применением Windows Forms.....	369
ШИЛОВ А. В., ШАМΠΑНОВ С. О., ЯМЩИКОВ С. А. Разработка программного обеспечения виртуальной реальности для обучения поведению в экстремальных условиях.....	371
ШИЛОВ А. В., ЯМЩИКОВ С. А., ШАМПАНОВ С. О. Компьютерное зрение в неразрушающем контроле.....	373
ШИРОЧЕНКО В. А., ДРЯГИН Д. Ю. Построение оптимальных маршрутов при обслуживании населения.....	374
ШИРОЧЕНКО В. А., КОЛЕСНЕВ Р. В., МАСАНИН Е. Д. Автоматизация сопровождения образовательного процесса в вузе.....	376
ЯКИМОВ А. И., СИТА Д. В., АНДРЮЩЕНКО В. А. Многопользовательская система построения и исследования имитационной модели.....	378
ЯКИМОВ А. И., ТИМАШКОВА Л. А., МЕЛЬНИКОВА Е. Н. Инновационные способы подготовки специалистов по информационным технологиям.....	380

Секция 11. Интеллектуальные технологии, системы и средства

ЛИВИНСКАЯ В. А. Автоматизация сбора информации для интеллектуального анализа данных.....	382
МАСАНИН Е. Д., ВЫГОВСКАЯ Н. В. Речевой функциональный компонент медицинских информационных систем.....	383
МИСНИК А. Е., КРУТОЛЕВИЧ С. К., ПРОКОПЕНКО С. А. Использование нейронечетких сетей Петри при календарном планировании производства	385
МИСНИК А. Е., ПРОКОПЕНКО С. А. Использование нейросетевых технологий для организации работы дорожного перекрестка.....	387
МИСНИК А. Е., ПРОКОПЕНКО С. А. Использование сетей Петри в производственном планировании.....	389

ЯСЮКОВИЧ Э. И. Математическая модель курсового движения легкового автомобиля для интеллектуальной транспортной системы.....	391

Секция 12. Математическое моделирование и конструктивный анализ математических моделей

БОНДАРЕВ А. Н. Левосторонняя регуляризация многоточечной краевой задачи для обобщенного матричного уравнения Ляпунова.....	393
ВЫСОЦКАЯ Н. А. Математическая модель влияния внешнего ретур на процесс образования гранул в барабанном грануляторе.....	395
ЗАМУРАЕВ В. Г. О проверке полунепрерывности изнутри многозначных отображений.....	397
КАШПАР А. И. О задаче Валле-Пуссена для матричного уравнения Ляпунова второго порядка с параметром	399
ЛАПТИНСКИЙ В. Н. К решению интегральных задач.....	401
ЛАПТИНСКИЙ В. Н., РОМАНЕНКО А. А. К аналитическому решению уравнения Фолкнера – Скэн.....	403
ЛИВИНСКАЯ В. А. Регуляризация задачи о периодических решениях матричного уравнения Ляпунова второго порядка.....	405
МАКОВЕЦКАЯ О. А. К периодической краевой задаче для обобщения матричных уравнений Ляпунова и Риккати	407
МАКОВЕЦКИЙ И. И. К левосторонней регуляризации двухточечной краевой задачи для матричного уравнения типа Абеля.....	409
ПРИМАК И. У., ХОМЧЕНКО А. В. Асимптотическое описание отражения света от анизотропного слоя.....	411
ПРИМАК И. У., ХОМЧЕНКО А. В. Спектральная рефлектометрия неоднородного слоя на подложке.....	412
РОГОЛЕВ Д. В. Анализ периодической краевой задачи для системы матричных уравнений Риккати.....	413
САНДОМИРСКИЙ С. Г. Использование результатов статистического анализа связей между физико-механическими свойствами сталей для их неразрушающего контроля.....	415
СОТСКАЯ Л. И., ЧУДАКОВ Е. А., СОТСКИЙ А. Б. Задача спектрофотометрии растущего слоя.....	417

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

АЛЕКСАНДРЁНОК М. С. Возможности и проблемы финансового обеспечения производственного развития.....	419
АЛЕКСАНДРОВ А. В. Особенности использования сети Интернет как средства коммуникационной политики.....	421
АЛЕКСАНДРОВА С. А. Тенденции развития промышленного производства стран ЕАЭС в 2020–2021 гг.....	422

АРАКЕЛЯН С. М. Приоритеты совместной деятельности в создании цифрового суверенитета и интеллектуальных технологий с учетом предсказательного моделирования.....	424
БАЛЬЧЕВСКАЯ О. В., МИНИНА А. А. Совершенствование ассортиментной политики организации на основе маржинального анализа.....	426
ВОЛКОВА А. Е., ВИКТОРОВА Е. И. Рекламная и PR-деятельность в интернете.....	428
ДРАГУН Н. П., ИВАНОВСКАЯ И. В. Использование агломерационных эффектов для увеличения инвестиционной активности регионов.....	429
ЖЕЛТОК Н. С. Эффективная социальная система как условие экономического роста.....	431
ЗУБКОВ А. С. Отражение в бухгалтерском учете организации приема денежных средств посредством QR-кодов.....	433
КАЗАНСКИЙ А. В. Механизмы финансирования дорожного хозяйства: сравнительный анализ	435
КЛИМОВА Л. А. Анализ обобщающих показателей выставочно-ярмарочной деятельности ОАО «Лента»	437
КЛИМОВА Л. А. Использование новых технологий в выставочно-ярмарочной деятельности ОАО «Лента»	439
КОМАРОВА С. Л., САКОВИЧ М. Д. Исследование потребительской корзины приграничных регионов.....	440
ЛИВИНСКАЯ В. А. Панельная регрессия как инструмент анализа лонгитюдных данных.....	442
ЛОБАНОВА Т. М. Особенности методологии оценки макроэкономических показателей развития отраслей.....	444
МАКАРЕВИЧ О. Д., МАКАРЕВИЧ Д. М. Анализ тенденций и проблем во взаиморасчетах субъектов юго-восточного региона Могилевской области.....	445
МАНЦЕРОВА Т. Ф., КОРСАК Е. П. Энергосбережение как драйвер повышения энергоэффективности деятельности предприятия.....	447
МЕДВЕДСКАЯ Т. В., МИХАЛЁНОК В. В. Направления увеличения прибыли и рентабельности сельскохозяйственной организации.....	449
НЕЧАЕВА Т. Г., БОРОДИЧ Т. А. Логистический подход к повышению эффективности деятельности предприятия.....	450
ОЛЕХНОВИЧ Л. В. Мероприятия по привлечению вкладов физических лиц в современных условиях.....	452
ОЛЕХНОВИЧ Л. В. Прогноз достаточности нормативного капитала коммерческих банков в условиях риска.....	454
ПУЗАНОВА Т. В. Оптимизация распределительной системы производственного предприятия.....	455

ПУЗАНОВА Т. В., БАЛАШЕНКО М. В. Применение информационных технологий для обоснования инновационного проекта.....	457
РОМАНЬКОВА Т. В. Обоснование структуры и характеристика базовых элементов энергетического потенциала области	459
СЕРГЕЙЧИК Н. А. О показателях оценки платежеспособности субъектов хозяйствования	461
ТОКМЕНИНОВ К. А. Прогрессивное оборудование на этапе заготовки на промышленных предприятиях.....	462
ТОКМЕНИНОВ К. А., ЧЕРНЯКОВ А. Г. Совершенствование производства продукции на ОАО «Могилевский металлургический завод».....	464
УКОЛОВ С. О., ВИКТОРОВА Е. И. Маркетинговое исследование характеристик смартфонов, определяющих потребительский выбор.....	466
УКОЛОВ С. О., ШЕРОБУРКО Е. Н. Разработка фирменного стиля бренда ноутбуков.....	468
ШЕРОБУРКО Е. Н., ТАТАРИНОВА Ю. Д. Юзабилити сайта.....	469
ЯЗХАНОВА Х. Д. Рациональное использование энергетических систем.....	470

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

АФАНАСЕНКО Т. В., КОПЫЛОВА Е. А. Комплекс гимнастических упражнений с фитболами как средство повышения физической подготовленности.....	472
БУДАЕВ М. Л., ГРИГОРЬЕВ М. Ф. Проблема формирования индивидуализированного подхода к тренировкам женщин в армрестлинге.....	473
ВАСЮХНЕВИЧ М. В., КОПЫЛОВА Е. А. Инклюзивная практика проведения учебных занятий по физической культуре со студентами.....	475
ВАСЮХНЕВИЧ М. В., МАКАРЕНКО О. П., МАЛЫШЕВА Е. А. Особенности тренировки по системе «Изотон».....	477
ДУБИНИНА А. П. Глобальный антропологический кризис в эпоху постсовременности.....	479
ЖУКОВ В. З. Гуманитарная составляющая в процессе преподавания философии в техническом вузе.....	481
КАЗАНСКИЙ А. В., КОРНЕЕВА Н. Е., ПРОТАСОВА Т. В. Ценностные ориентации студенческой молодежи.....	483
КОВАЛЕНКО О. Е. Роль решения экспериментальных задач при обучении физике в техническом вузе.....	485

КОМАРОВА С. Л., САВАСТИЦКАЯ В. Д. Конкурентные позиции белорусских и российских вузов на рынке образовательных услуг.....	486
КОНОПЛЁВА Е. А. Преимущества использования сервиса Learningapps при обучении иностранному языку в неязыковом вузе.....	488
КРОТОВА А. Г., САКОВИЧ М. Д. Оценка конкурентной привлекательности факультетов методом бенчмаркинга.....	490
МАКАРОВА С. Е. Историческая память. К вопросу о роли курса «История России» в формировании патриотизма.....	491
МЕЛЬНИКОВА Е. Н. Контроль и оценивание устных ответов на занятиях по иностранному языку.....	493
ПОПЕЛЬШКО Д. М. Проблема гуманитаризации высшего образования в процессе подготовки инженерно-технических специалистов.....	494
РЫТОВА Н. Н. Роль виртуальной обучающей среды Moodle в организации самостоятельной работы.....	496
САДОВСКАЯ Л. А. Анализ показателей развития квадрицепсов у студентов основной и подготовительной групп.....	498
САМАРЦЕВ С. Б., КАМИНСКАЯ С. О., САМАРЦЕВ К. С. Об экспортном потенциале программ дополнительного образования взрослых.....	500
САМУЙЛОВ Д. Н., ПИСАРЕНКО В. Ф., МАЛЫШЕВА Е. А. Анализ результатов выступлений сборной команды Белорусско-Российского университета по летнему многоборью «Здоровье».....	502
САМУЙЛОВ Д. Н., ПИСАРЕНКО В. Ф., ПЕРЕЦ Н. А. Динамика выступлений сборной команды Белорусско-Российского университета по зимнему многоборью «Здоровье».....	504
ТАПОРЧИКОВА М. В. Основные методы преподавания дисциплины «Физическая культура» в вузе.....	506
ТАРЕЛКИН А. И. Психологический кино клуб как средство воспитания студентов.....	508
ТАШЛЫКОВА-БУШКЕВИЧ И. И., АРТЕМОВА Е. А., ГОРМАШ А. С., ЧЕПИК М. С. Повышение уровня мотивации IT-студентов к изучению физики в рамках проекта «Эвристика в физике».....	510
ЦУМАРЕВА Е. П. О роли музеев в преподавании истории в техническом университете.....	512
ШАРАПАВА А. В. Фарміраванне на занятках па беларускай мове грамадзянска-патрыятычнай самасвядомасці навучэнцаў.....	514

УДК 621.791

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

С. В. БОЛОТОВ, К. В. ЗАХАРЧЕНКОВ, Н. К. БОБКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Белорусско-Российским университетом в рамках договора с РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» разработана автоматизированная система регистрации сварочных процессов, предназначенная для контроля за соблюдением технологии при выполнении сварочных работ на магистральных трубопроводах.

Автоматизированная система состоит из аппаратной части – регистраторов сварочных процессов РСП-БРУ-01 (рис. 1) и программного обеспечения в виде веб-приложения (рис. 2) [1, 2].

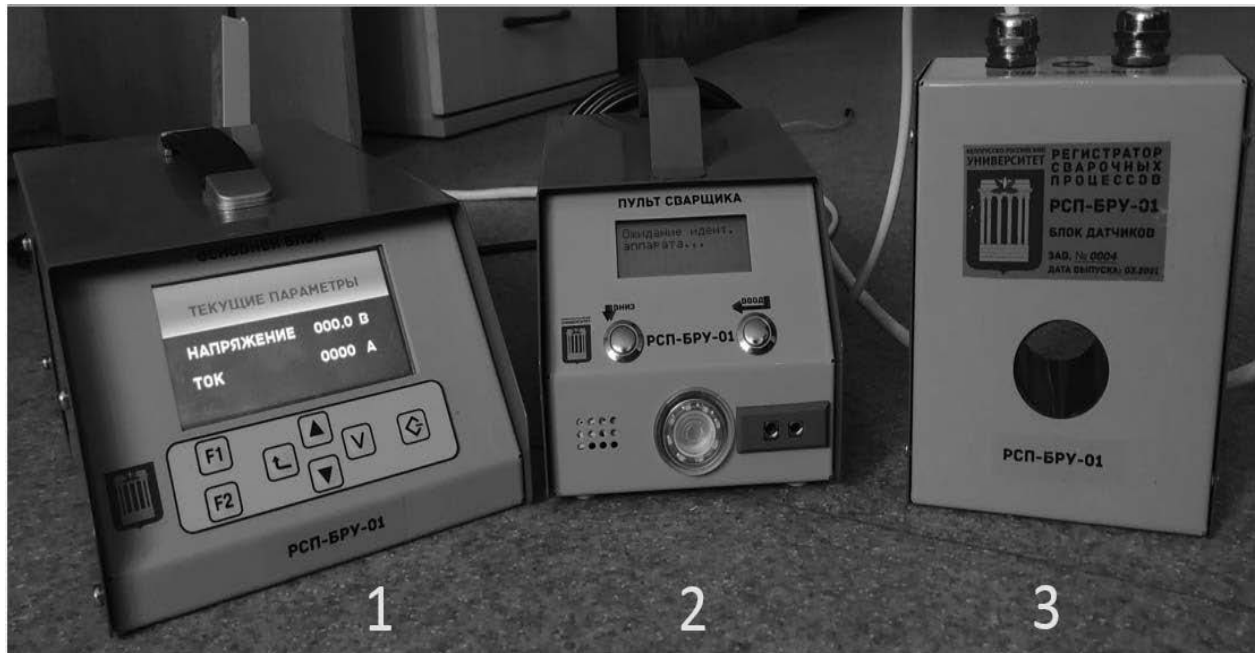


Рис. 1. Регистратор сварочных процессов РСП-БРУ-01

Регистратор сварочных процессов конструктивно содержит:

1) основной блок регистрации, который предназначен для идентификации сотрудников и сварочного оборудования с помощью удостоверений и брелоков с радиочастотными метками, определения текущей GPS-координаты сварочного аппарата, получения с сервера заданий на сварку по GSM-каналу связи, контроля параметров режима сварки, передачи записанных параметров на сервер [3];

2) пульт сварщика, предназначенный для переключения сварочных слоев (корневой, заполняющий, облицовочный), контроля температуры и влажности окружающего воздуха, регистрации температуры предварительного подогрева и температуры тела трубы в процессе сварки;

3) блок датчиков, который содержит гальванически развязанные со сварочной цепью датчик тока LF 1010-S и датчик напряжения LV 25-P.

БЕЛОРУСНЕФТЬ

Сотрудники

Оборудование

Тех. Инструкции

Задачи

Инструкции на тех. процесс сварки

Здесь Вы сможете просмотреть инструкции на технологические процессы, операционные технологические карты, добавить новые, отредактировать имеющиеся

Инструкции на технологический процесс сварки

Поиск...

X

+

Наименование	Шифр	Соответствующие ИТП	Просмотр
▼ НСС-ОТКС-РД-МН-89-8	НСС-ОТКС-РД-МН-89-8	WPQR №1/16 WPQR №2/16	

Номер Прохода	Наименование слоя	Температура предварительного подогрева		Межслойная температура		Сила тока		Напряжение на дуге		Скорость варки	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1	Корневой	30	-	-	-	60	85	-	-	-	-
2	Заполняющий	-	-	50	250	70	95	-	-	-	-
3	Облицовочный	-	-	50	250	70	90	-	-	-	-

Рис. 2. Клиентское приложение автоматизированной системы

Калибровка трех регистраторов РСП-БРУ-01 в Могилевском ЦСМС показала, что оцененная погрешность регистрации тока в диапазоне от 0 до 500 В не превышает 1,08 %, а по напряжению в диапазоне от 0 до 100 В не превышает 0,98 %.

Отличительной особенностью автоматизированной системы от существующих аналогов являются слежение за границами допустимых значений параметров режима сварки в реальном времени и выдача предупреждающих звуковых и световых сигналов сварщику и SMS-сообщений руководителю сварочных работ в случае выхода параметров за пределы допустимых значений.

Серверная часть системы содержит базу данных сотрудников (сварщиков, руководителей сварочных работ, технический надзор), сварочного оборудования, инструкций на технологические процессы сварки с допусками на контролируемые параметры, заданий на сварку и паспортов сварных стыков.

Программное обеспечение пользователя выполняет следующие функции:

- ввод, изменение, удаление и поиск данных о сотрудниках (руководителях сварочных работ, бригадах, сварщиках, техническом надзоре);
- ввод, изменение, удаление и поиск данных об оборудовании;
- ввод, изменение, удаление и поиск данных о сменных заданиях;
- ввод, изменение, удаление и поиск данных об технологических инструкциях;

- формирование отчетов о работе сварщиков;
- формирование отчетов о работе сварочного оборудования;
- формирование паспорта сварного стыка.

Паспорт сварного стыка является итоговым документом, подтверждающим качество выполненных сварочных работ. В паспорте отражаются: наименование объекта, участка, маркировка сварного соединения; время начала и окончания сварки; наименование сварочного оборудования, дата его аттестации, GPS-координата; руководитель сварочных работ, срок действия его удостоверения, сварщик, область распространения квалификации, срок действия удостоверения; инструкция на технологический процесс сварки, операционная технологическая карта, допуски на контролируемые параметры; наименование и номер сертификата на используемые основные и сварочные материалы; условия окружающей среды; графики контролируемых параметров – сварочного тока и напряжения на дуге; температура предварительного нагрева или межслойная температура в процессе сварки; заключение о соответствии контролируемых параметров.

Отчеты о работе сварщика и сварочного оборудования позволяют оценить производительность их работы за любой заданный промежуток времени.

Проведенные опытно-промышленные испытания в ПУ «Нефтеспецстрой» РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» показали направления совершенствования автоматизированной системы: добавление поля «Записи», где отображаются все записанные на сервер сессии сварки, возможность записи заданий на сварку и параметров режима сварки на внешний носитель информации с последующим переносом на сервер при отсутствии связи по GSM-каналу, реализация многоканального измерителя температуры тела трубы в процессе выполнения сварочных работ, автоматическая оценка качества сварочных работ на основе интеллектуальной системы [4].

В перспективе разработанная автоматизированная система может эффективно применяться на предприятиях машиностроения, автомобилестроения, атомной энергетики, нефтегазовой отрасли.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Болотов, С. В.** Регистратор параметров сварочных процессов РСП-БРУ-01 / С. В. Болотов // Современные проблемы машиностроения: сб. тр. XVI Междунар. науч.-техн. конф. – Томск: ТПУ, 2021. – С. 197–198.
2. Автоматизированная система регистрации сварочных процессов: свидетельство о регистрации компьютерной программы № 1475 Республика Беларусь / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, В. А. Фурманов, Е. В. Макаров. – Оpubл. 24.01.2022.
3. **Болотов, С. В.** Реализация сбора данных в автоматизированной системе регистрации сварочных процессов / С. В. Болотов, В. Н. Почуйко, Н. К. Бобков // Энергетика, информатика, инновации – 2021: материалы XI Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. – 2021. – Т. 2. – С. 3–6.
4. Intelligent welding control system / S. V. Bolotov [et al.] // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2965. – P. 260–267.

УДК 624.13

ОБЩИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ПЛОСКИХ РАМ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ НАГРУЗКУ

С. В. БОСАКОВ¹, О. В. КОЗУНОВА²¹Белорусский национальный технический университет¹РУП «Институт БелНИИС»

Минск, Беларусь

¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

Актуальность проблемы. Сегодня широко распространены ленточные фундаменты мелкого заложения под многоэтажные здания и сооружения на естественном грунтовом основании. Фундаменты такого типа проектируются и моделируются в виде систем из перекрестных лент или балок на упругом основании, и последние являются расчетной моделью для проектирования.

Методами расчета ленточных фундаментов как системы перекрестных балок или сетчатых плит занимались И. А. Симвулиди [1], М. И. Горбунов-Посадов [2], С. Н. Клепиков [3], которые предложили приближенное решение данной задачи. В монографии [4] при расчете системы перекрестных балок на упругом четвертьпространстве С. Д. Семенюк применил метод Ритца [5], где за совокупность координатных функций при решении системы разрешающих уравнений способа Б. Н. Жемочкина [6] принят тринадцатичленный полином от функций двух переменных. Однако при длительном изучении научно-технической литературы по расчету фундаментов мелкого заложения в целом и ленточных фундаментов в частности авторам не удалось встретить их моделирование как горизонтальных плоских стержневых рам, контактирующих с упругим основанием.

Расчет стержневых систем на упругом основании с механической точки зрения есть решение контактной задачи соприкасающихся тел [8]. Поскольку в связи с трудоемкими математическими вычислениями нецелесообразно решать каждую контактную задачу через интегральные уравнения, в инженерной практике успешно используют метод Жемочкина [6], который позволяет свести контактную задачу к задаче строительной механики [9].

В данной работе получила дальнейшее развитие новая универсальная методика расчета плоских стержневых систем (плоских рам) на упругом основании как системы перекрестных шарнирно и жесткосоединенных стержней. Эта методика базируется на общем подходе к расчету сложных стержневых и пластинчатых систем на произвольном упругом основании, который раскрыт в статье [10].

Постановка задачи. Граничные условия. В работе рассматривается плоская рама как система различно-соединенных стержневых элементов на упругом основании под действием внешней нагрузки, которые образуют замкнутый контур. Расчетная модель плоской рамы на упругом основании представлена на рис. 1, а ее расчленение на отдельные стержневые элементы, которые соединены шарнирно в систему, – на рис. 2.

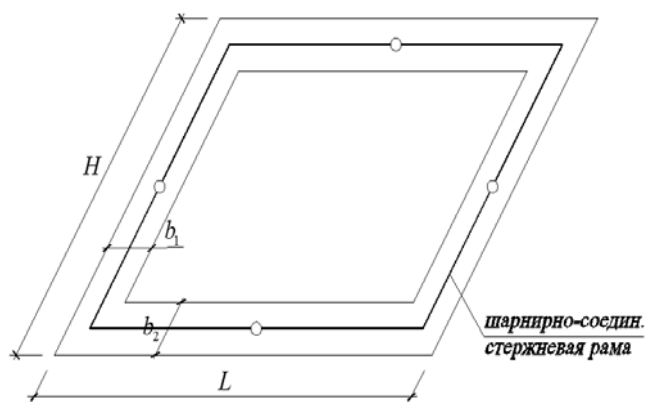


Рис. 1. Расчетная модель плоской рамы

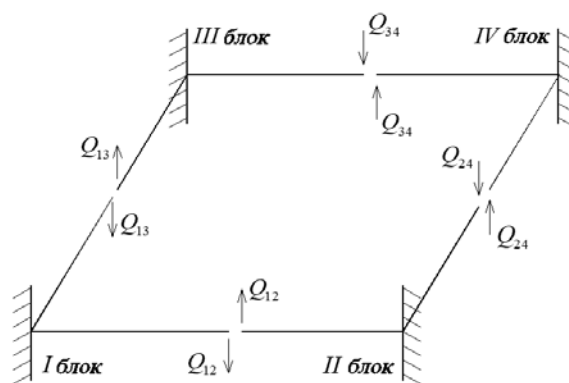


Рис. 2. Разбиение плоской рамы на Г-образные стержневые элементы, соединенные шарнирами

Следует отметить, что в данном примере плоская рама разбивается на блоки по количеству шарнирно соединяемых стержневых элементов (см. рис. 2), места их соединения моделируются цилиндрическими шарнирами (см. рис. 1), которые при формировании основной системы заменятся парой неизвестных поперечных сил Q_{ik} , в жесткие узлы вводятся фиктивные заделки смешанного метода.

При статическом расчете плоских рам на упругом основании на пространственную нагрузку вводятся *следующие гипотезы и допущения*:

- а) на контакте стержней плоской рамы с упругим основанием действуют только нормальные напряжения, без учета сил трения;
- б) для элементов плоской рамы справедливы гипотезы теории изгиба;
- в) между элементами рамы соединительные шарниры вводятся цилиндрическими;
- г) распределение контактных напряжений по ширине плоского элемента рамы равномерное;
- д) в горизонтальных элементах рамы на упругом основании от пространственной нагрузки возникают крутящие моменты, поэтому необходим учет кручения в стержневых элементах рамы.

При выборе *рациональной основной системы* смешанного метода для расчета плоской рамы на пространственную нагрузку следует использовать свойство симметрии и стремиться, чтобы в стержнях каждого блока основной системы, на которые разбивается рама, отсутствовали крутящие моменты. Окончательная эпюра крутящих моментов строится из статического равновесия узлов рамы.

Алгоритм расчета. Каждый стержень плоской рамы разбивается на одинаковые участки прямоугольной формы. В центре каждого участка (лежат на осях рамы) вводится вертикальная связь, через которую осуществляется контакт плоской рамы с упругим основанием (рис. 3). Считается, что усилие в связи вызывает равномерную эпюру давлений в пределах участка.

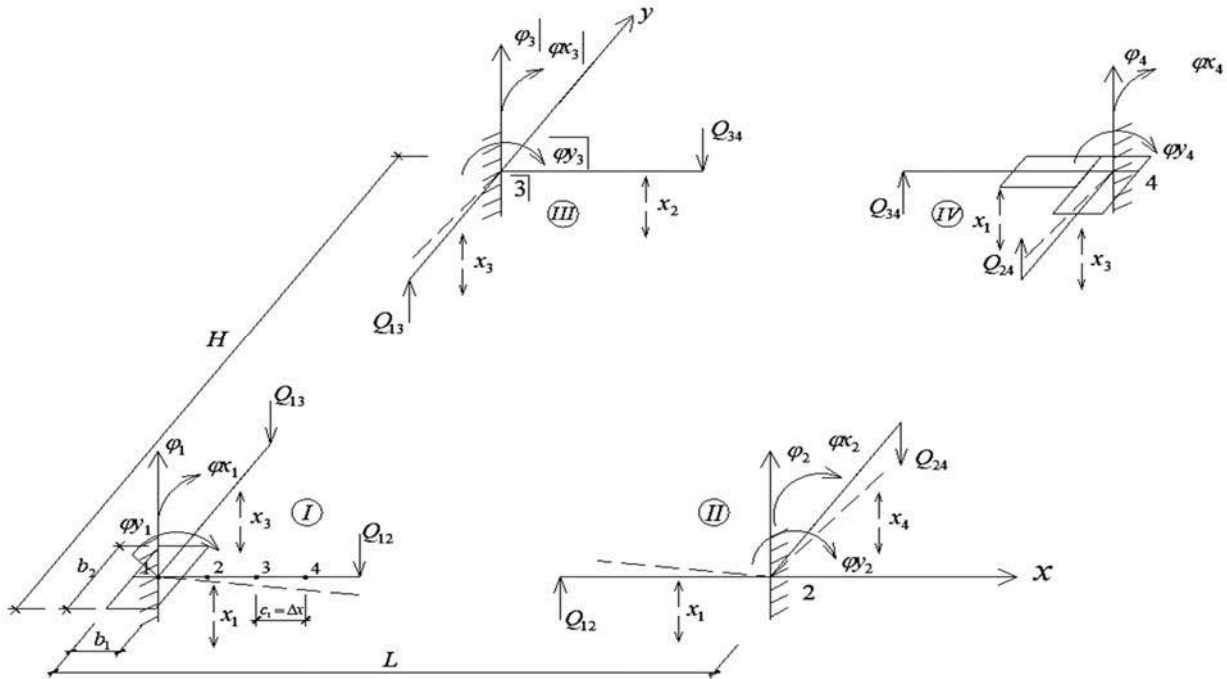


Рис. 3. Основная система смешанного метода

Полученная многократно статически неопределимая система решается *смешанным методом строительной механики* [9], за неизвестные принимают усилия X_k во введенных связях Б. Н. Жемочкина на контакте элементов рамы и основания, линейные и угловые перемещения u_k , φ_k защемлений, введенных по центру стержней (либо в углах) рамы, и поперечные силы Q_{ik} , в разрезанных промежуточных шарнирах (блок « i » основной системы). Отметим, что при действии симметричной нагрузки в местах разрезов отсутствуют крутящие моменты.

Кроме того, в углах рамы вследствие моделирования плоской рамы системой из стержневых элементов возникают некоторые особенности разбиения на участки Жемочкина (рис. 4). Структура системы разрешающих уравнений для совокупности блоков, из которых состоит рама, представлена на рис. 5.

Канонические уравнения смешанного метода для блока основной системы с номером « i » записываются в виде, представленном в работе авторов [11].

Блоки по главной диагонали (см. рис. 5) образованы по системе канонических уравнений смешанного метода для расчета одного элемента с номером i , нулевыми для основания Винклера являются побочные блоки; для упругого слоя или упругого полупространства они характеризуют взаимное влияние блоков рамы и определяются с использованием формул [6, 7].

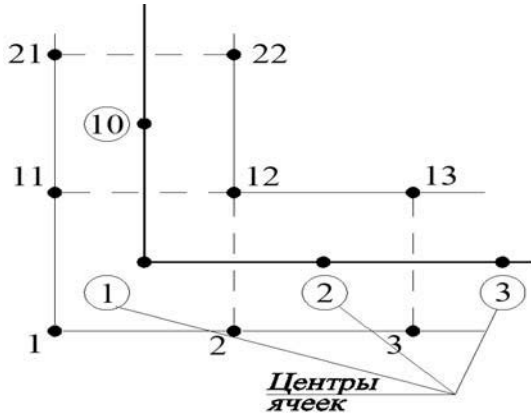


Рис. 4. Особенности разбиения на участки Жемочкина в углах рамы

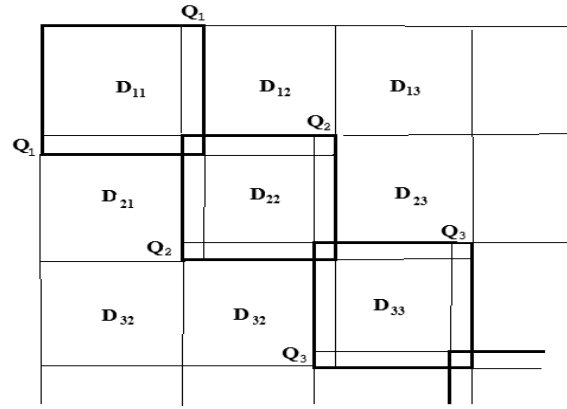


Рис. 5. Структура системы разрешающих уравнений

Так, для упругого полупространства коэффициенты системы линейных алгебраических уравнений вычисляются по следующей формуле:

$$\delta_{i,k} = \frac{1-\nu_0^2}{\pi E_0 \Delta x} F_{i,k} + \frac{b^2}{16\pi D} w_{i,k}, \quad (1)$$

где безразмерная функция $F_{i,k}$ определяется формулой из [7]

$$F_{i,k} = \frac{y_i - d}{\Delta y} \ln \frac{x_i - b + \sqrt{(x_i - b)^2 + (y_i - d)^2}}{x_i - a + \sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - d)^2}} + \frac{y_i - c}{\Delta y} \ln \frac{x_i - a + \sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - c)^2}}{x_i - b + \sqrt{(x_i - b)^2 + (y_i - c)^2}} +$$

$$+ \frac{x_i - b}{\Delta y} \ln \frac{y_i - d + \sqrt{(x_i - b)^2 + (y_i - d)^2}}{y_i - c + \sqrt{(x_i - b)^2 + (y_i - c)^2}} + \frac{x_i - a}{\Delta y} \ln \frac{y_i - c + \sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - c)^2}}{y_i - d + \sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - d)^2}}, \quad (2)$$

где i – номер центра участка Жемочкина, где находится перемещение; a, b, c, d – координаты участка Жемочкина с номером « k », где приложена равномерно распределенная нагрузка с единичной равнодействующей.

Численная реализация предлагаемой методики осуществлена с использованием компьютерного моделирования плоской рамы как шарнирно соединенной системы на упругом основании в рамках прикладного пакета «МАТЕМАТИКА». В результате расчета приводятся перемещения стержневых элементов плоской рамы, равные осадкам упругого основания под этим элементом, распределение контактных напряжений, поперечные силы в соединительных шарнирах, усилия в связях Жемочкина.

В заключение необходимо отметить следующее: при учете крутящих моментов эпюра контактных напряжений по ширине стержня рамы имеет несимметричный вид. При использовании способа Жемочкина получается усредненное значение контактного напряжения по ширине стержня. На вели-

чинах изгибающих моментов в сечениях стержней рамы эта неравномерность не отражается. Однако авторы считают, что более точных результатов можно достичь при расчете плоской рамы на упругом основании как сетчатой системы [12, 13], где стержень заменяется пластинкой с разбиением ее не менее двух участков Жемочкина по ширине пластинки. Но это требует отдельного исследования и не рассматривается в данной работе.

Полученные результаты могут быть непосредственно использованы при расчете сборных железобетонных ленточных фундаментов, моделируемых плоскими рамами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Симвулиди, И. А.** Расчет инженерных конструкций на упругом основании / И. А. Симвулиди. – Москва: Высшая школа, 1987. – 576 с.
2. **Горбунов-Посадов, М. И.** Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1984. – 680 с.
3. **Клепиков, С. Н.** Расчет конструкций на упругом основании / С. Н. Клепиков. – Киев: Будівельник, 1967. – 184 с.
4. **Семенюк, С. Д.** Железобетонные пространственные фундаменты жилых и гражданских зданий на неравномерно-деформируемом основании / С. Д. Семенюк. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 269 с.
5. **Босаков, С. В.** Метод Ритца в контактных задачах теории упругости / С. В. Босаков. – Брест : БрГТУ. – 2006. – 107 с.
6. **Жемочкин, Б. Н.** Практические методы расчетов фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Сеницын. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Госстройиздат, 1962. – 240 с.
7. **Босаков, С. В.** Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск: БНТУ, 2002. – 128 с.
8. Дифференциальные и интегральные уравнения, вариационное исчисление в примерах и задачах / А. Б. Васильева [и др.]. – Москва: Физматлит, 2003. – 432 с.
9. **Ржаницын, Р. А.** Строительная механика / Р. А. Ржаницын. – Москва: Высшая школа, 1991. – 439 с.
10. **Козунова, О. В.** Общий подход к расчету сложных стержневых и пластинчатых систем на произвольном упругом основании / О. В. Козунова // НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. – 2021. – № 2 (295). – С. 2–15.
11. **Козунова, О. В.** Некоторые вопросы расчета плоских рам на упругом основании / О. В. Козунова // НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. – 2021. – № 4 (297). – С. 17–24.
12. **Босаков, С. В.** Развитие теории расчета сетчатых плит на упругом основании / С. В. Босаков, О. В. Козунова // НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. – 2020. – № 3 (290). – С. 20–25.
13. **Босаков, С. В.** Расчет фундаментных сетчатых плит на упругом слое / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. – Минск: Ин-т БелНИИС, 2020. – Вып. 12. – С. 11–27.

УДК 669

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ИЗ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ ОБРАБОТКОЙ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

М. А. РАБЫКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Штамповая технологическая оснастка является одной из основных групп инструментальной оснастки. Следует отметить, что ее использование при получении изделий машиностроения составляет около 60 %. Ее износостойкость напрямую влияет на затраты при производстве изделий машиностроения.

Одной из перспективных технологий, которая позволяет обеспечивать рост производительности труда, экономию дорогостоящих и дефицитных инструментальных материалов, энергии и трудовых ресурсов, является технология повышения эксплуатационных характеристик обработкой тлеющим разрядом в магнитном поле. Она заключается в том, что изделие 1 помещается на стол-катод 2, который находится между источником создания силовых линий магнитного поля 3 (рис. 1) [1, 2].

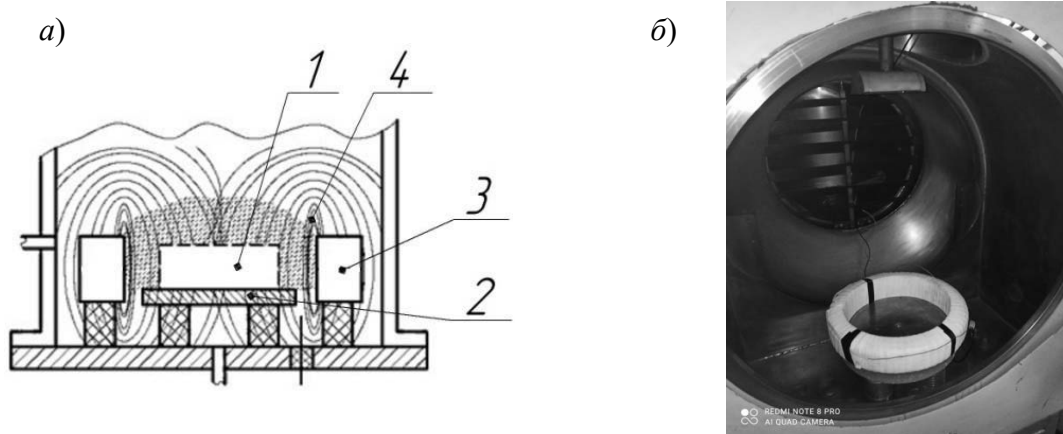


Рис. 1. Катод, находящийся в силовых линиях прикатодного магнитного поля:
а – схематическое изображение; *б* – реальное исполнение

В процессе обработки эмитированные с катода под действием ионной бомбардировки электроны захватываются силовыми линиями магнитного поля 4 (см. рис. 1, *а*) и оказываются в его ловушке. Электроны циркулируют в этой ловушке до тех пор, пока не произойдет несколько ионизирующих столкновений с атомами остаточных атмосферных газов, в результате которых он теряет полученную от электрического поля энергию. Тем самым большая часть энергии электронов, прежде чем они попадают на анод, значительно повышает эффективность процесса ионизации и концентрацию положительных ионов у поверхности катода.

Упрочнение осуществляется без специально приготовленной и вводимой в

камеру рабочей среды (азот, азотсодержащие или инертные газы). Изделия упрочняются при более низких температурах, не вызывающих термических превращений, более высоком электрическом потенциале, за более короткое время за счет изменения свойств поверхностного слоя вследствие торможения в нем налетающих заряженных частиц, в результате чего повышается стойкость и износостойкость материалов, сохраняются конструктивные и геометрические параметры изделий.

Основной отличительной особенностью от классического метода [3] является то, что увеличение интенсивности ионной бомбардировки изделия приводит к росту плотности тока тлеющего разряда, что сказывается на сокращении времени, необходимого для поверхностной модификации.

Обработка изделий осуществлялась в тлеющем разряде при различных значениях прикатодного магнитного поля с магнитной индукцией 20...85 мТл (рис. 2).

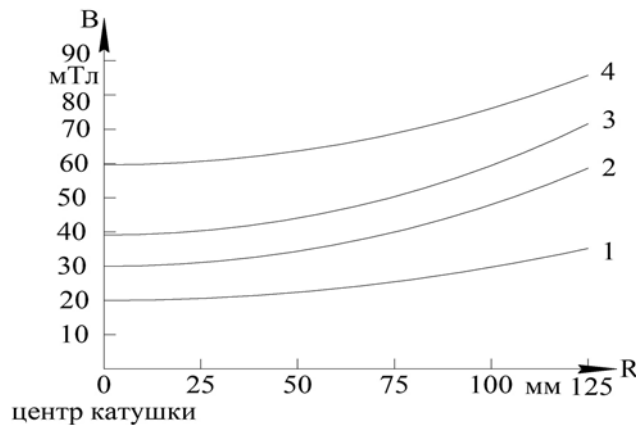


Рис. 2. График распределения магнитной индукции по площади источника создания силовых линий магнитного поля при напряжении кольцевой катушки индуктивности: 1 – 50 В; 2 – 100 В; 3 – 150 В; 4 – 200 В

Установлено, что при формировании максимальных значений магнитной индукции источник ее формирования (кольцевая катушка индуктивности) при значениях от 70 до 85 мТл катастрофически разогревался, из-за чего выходил из строя, что не позволяло держать магнитное поле в процессе всего времени обработки. Как решение данной проблемы необходимо предусмотреть в конструкции источника формирования магнитной индукции дополнительных технологических устройств по охлаждению проводника и подачи напряжения с высоким током, что сильно сказывается на себестоимости изготовления технологии и уменьшает конкурентоспособность данного вида упрочнения. Следовательно, все дальнейшие исследования проводились при магнитной индукции 30...60 мТл, которая формировалась при подключении кольцевой катушки индуктивности к постоянному источнику питания с напряжением $U = 100$ В и силой тока $I = 10$ А, при котором возникающий нагрев кольцевой катушки индуктивности является приемлемым и не приводит к ее разрушению, она может работать более длительное время, необходимое на упрочнение.

На основании статистической обработки экспериментальных данных получена зависимость приращения поверхностной микротвердости по Виккерсу H'_{HV} образцов в натуральном выражении, адекватно представляющая эксперимент:

$$\begin{aligned}
 H'_{HV} = & b_0 + b_1 \left(\frac{U-2,0}{0,7} \right) + b_2 \left(\frac{J-0,25}{0,075} \right) + b_3 \left(\frac{T-30}{10} \right) + b_{12} \left(\frac{U-2,0}{0,7} \right) \left(\frac{J-0,25}{0,075} \right) + \\
 & + b_{13} \left(\frac{U-2,0}{0,7} \right) \left(\frac{T-30}{10} \right) + b_{23} \left(\frac{J-0,25}{0,075} \right) \left(\frac{T-30}{10} \right) + \\
 & + b_{11} \left(\frac{U-2,0}{0,7} \right)^2 + b_{22} \left(\frac{J-0,25}{0,075} \right)^2 + b_{33} \left(\frac{T-30}{10} \right)^2.
 \end{aligned} \quad (1)$$

Были рассчитаны теоретические коэффициенты регрессии, на основании которых построена графическая интерпретация полученной модели, показывающая влияние технологических факторов, таких как напряжение и сила тока при постоянном времени обработки, равном 30 мин, при индукции 30...40 мТл и диаметре кольцевой катушки индуктивности 250 мм (рис. 3–6).

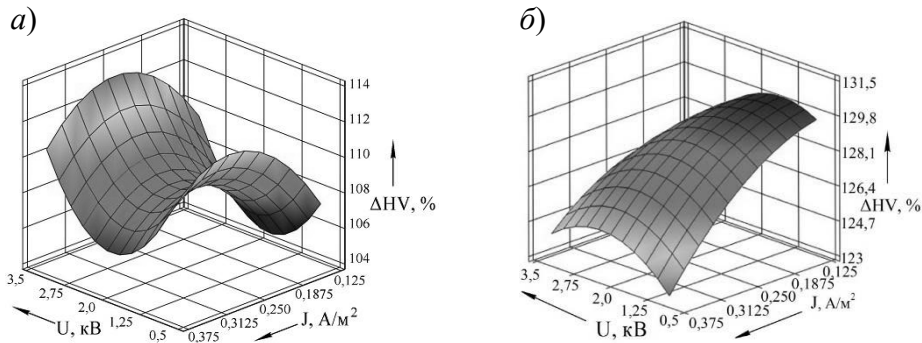


Рис. 3. Графическая интерпретация математической модели стали 5X3B3MFC: а – упрочненная классическим методом; б – упрочненная тлеющим разрядом в прикатодном магнитном поле

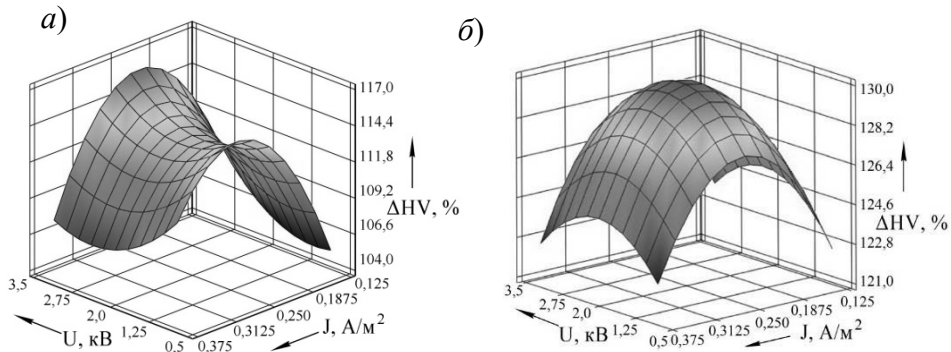


Рис. 4. Графическая интерпретация математической модели стали X12: а – упрочненная классическим методом; б – упрочненная тлеющим разрядом в прикатодном магнитном поле

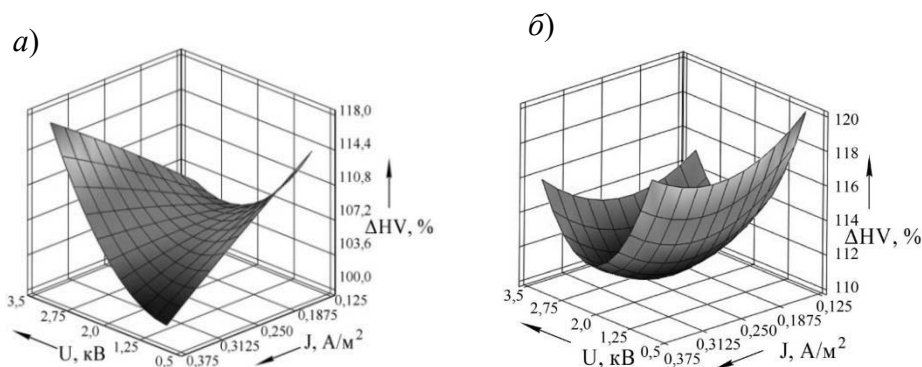


Рис. 5. Графическая интерпретация математической модели стали X12MF: а – упрочненная классическим методом; б – упрочненная тлеющим разрядом в прикатодном магнитном поле

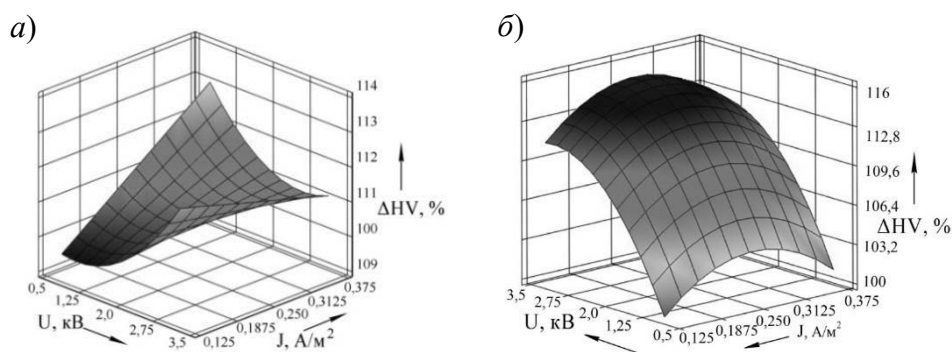


Рис. 6. Графическая интерпретация математической модели стали 4X4BMF: а – упрочненная классическим методом; б – упрочненная тлеющим разрядом в прикатодном магнитном поле

Таким образом, анализ полученных результатов показал, что упрочнение тлеющим разрядом в прикатодном магнитном поле смещает упрочнение в область меньших напряжений и сил тока, что подтверждает энергоэффективность упрочнения, а также дает большее приращение твердости (до 15 % больше твердости образцов, обработанных классическим методом).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ упрочнения изделий из металла, или сплава, или сверхтвёрдого материала: пат. ВУ 19126 / В. М. Шеменков, М. А. Белая. – Оpubл. 30.02.2013.
2. Установка вакуумная для упрочнения изделий комплексным воздействием тлеющего разряда и постоянного магнитного поля : пат. ВУ 9478 / В. М. Шеменков, М. А. Белая, В. В. Малутин, А. Л. Шеменкова, А. С. Батраков. – Оpubл. 30.08.2013.
3. Структурно-фазовое модифицирование инструментальных материалов тлеющим разрядом: монография / В. М. Шеменков [и др.]; под общ. ред. В. М. Шеменкова. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. – 270 с.: ил.

УДК 621.928

ГИДРОДИНАМИКА ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ В АППАРАТАХ
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯА. В. АКУЛИЧ¹, В. М. ЛУСТЕНКОВ¹, В. М. АКУЛИЧ²¹Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий²Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Изучены современные подходы к исследованию гидродинамики закрученных потоков. Отмечено, что в ряде работ применяется математическое моделирование движения газовой и твердой фаз в пылеулавливающих устройствах; исследуются траектории движения частиц в аппаратах при различной скорости на входе в аппарат; изучаются поля скоростей в зоне сепарации и улавливания пылегазовых потоков. Так, расчет аэродинамики аппарата по газовому потоку проводится на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса с учетом турбулентного режима течения потока с использованием k - ϵ -модели турбулентности. Для описания движения твердых частиц в инерционно-центробежном пылеуловителе-классификаторе используется подход Лагранжа. Эта модель позволяет одновременно моделировать несколько размерных групп частиц. В результате сделан вывод о том, что с увеличением скорости на входе в инерционно-центробежный пылеуловитель-классификатор увеличивается число витков спирали газового потока и, следовательно, возрастает эффективность пылеулавливания, при этом возможно разделить уловленную пыль по фракциям.

При исследовании газодинамических структур течения в пылеуловителях, в частности изолиний модуля скоростей и давлений в среднем и поперечном сечении пылеулавливающего аппарата, используются вычислительные комплексы (σFLOW, SolidWorks); исследуются изменения различных параметров, в том числе статического разряжения на внутренней поверхности пылеуловителя при применении различных внутренних конструктивных элементов, в том числе вытеснителей, лопастного раскручивателя; исследуются поля концентрации в зоне сепарации для пыли различной плотности и размеров. Так, с использованием электронного вычислительного комплекса σFLOW исследована газодинамическая структура течения газового потока в циклонных пылеуловителях НИИОГАЗа. Исследованы изолинии модуля скоростей и давлений в продольном и поперечном направлениях. Установлено, что на эффективность пылеулавливания оказывает большое значение распределение давлений и скоростей как в продольном, так и в поперечном сечении циклона.

В заключении следует отметить, что совершенствование гидродинамической структуры закрученных потоков является одним из методов повышения энергоэффективности пылеулавливающих аппаратов.

УДК 621.785

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

В качестве альтернативы существующим методам упрочнения 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. 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 °С...1100 °С. Высокие температуры заготовки позволяют проводить насыщение поверхности атомами легких элементов, содержащихся в веществах-донорах, растворенных в электролите. Наличие в электролите углерод- 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 позволяет значительно сократить время химико-термической обработки до 5...10 мин.

Преимуществами 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.

В работе установлены закономерности формирования микроструктуры поверхностного слоя титана при цементации с применением электролитно-плазменного нагрева. Для исследований использовались цилиндрические образцы из титана ВТ1 диаметром 2 мм длиной 40 мм. В качестве основного компонента электролита, обеспечивающего его электропроводность, использовался раствор хлорида аммония концентрацией 10 %. В качестве донора углерода в электролит добавлялся глицерин (5 %...10 %). Температура электролита поддерживалась в пределах (20 ± 3) °С. Напряжение обработки составляло 150, 175 и 200 В. Продолжительность обработки образцов – 10 мин.

На рис. 1 представлены зависимости, характеризующие распределение микротвердости $HV_{0,1}$ в поверхностном слое образцов после цементации при различных значениях рабочего напряжения. При напряжении 150...175 В про-

исходит незначительное увеличение микротвердости (на 30...100 HV). При напряжении 200 В увеличение микротвердости является более существенным. Так, при концентрации глицерина 10 % микротвердость на глубине 50 мкм от поверхности составила 512 HV. Причем упрочнение наблюдается по всей исследуемой глубине поверхностного слоя (до 500 мкм).

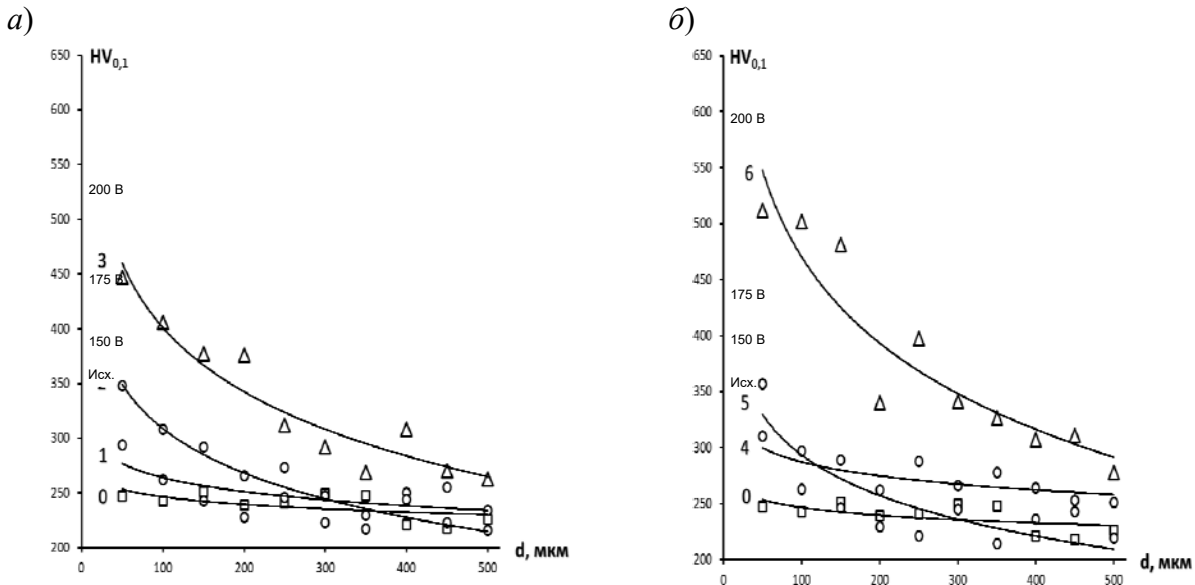


Рис. 1. Распределение микротвердости в поверхностном слое после цементации при концентрации глицерина 5 % (а) и 10 % (б)

На рис. 2 представлены фотографии микроструктуры поверхностного слоя после цементации в электролите с содержанием глицерина 10 %. Электролитно-плазменная модификация при напряжении 150...175 В приводит к формированию равноосной структуры, состоящей из α -фазы. В поверхностном слое, наиболее насыщенном углеродом (толщиной около 50 мкм), наблюдается увеличение зёрен в 2–3 раза относительно основы. Увеличение напряжения до 200 В ведёт к формированию пластинчатой структуры, представляющей собой α' -фазу – мартенсит, полученный после быстрого охлаждения титана VT1 с температуры, превышающей температуру полиморфного превращения.

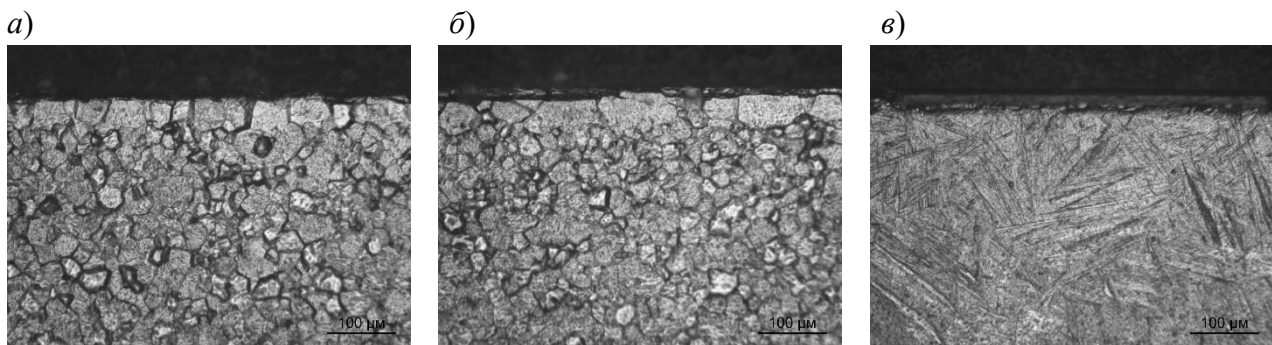


Рис. 2. Микроструктура образцов после цементации: а – 150 В; б – 175 В; в – 200 В

УДК 539.3; 539.43

ДИНАМИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСОНАГРУЖЕННОГО ИЗГИБА

В. Е. АНТОНЮК

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Фрикционные диски являются распространенной и ответственной деталью современных гусеничных и колесных машин, используются в главных фрикционах и планетарных редукторах поворота, планетарных коробках передач, гидромеханических передачах, вместе с тем фрикционные диски являются одним из наиболее слабых элементов и доля отказов по дискам составляет до 30 % от всех отказов трансмиссий [1]. По результатам эксплуатации гусеничных машин основной причиной отказов фрикционных устройств является выход из строя фрикционных дисков, причем до 63 % фрикционных дисков выходит из строя из-за коробления [2]. Причиной возникновения коробления дисков в процессе эксплуатации в большинстве случаев являются повышенное отклонение от плоскостности и остаточные напряжения при изготовлении дисков.

Наиболее эффективным средством повышения точности изготовления дисков по отклонению от плоскостности и снижения остаточных напряжений является использование динамической стабилизации [3]. Для реализации динамической стабилизации фрикционных дисков с наружными диаметрами свыше 150 мм успешно использовалась схема многократного деформирования диска при вращении диска между расположенными в шахматном порядке роликами.

Однако использование этой схемы нагружения для дисков с наружными диаметрами менее 100 мм имеет ряд недостатков и для реализации динамической стабилизации для таких дисков разработана схема динамической стабилизации на основе косонагруженного изгиба [4], представленная на рис. 1.

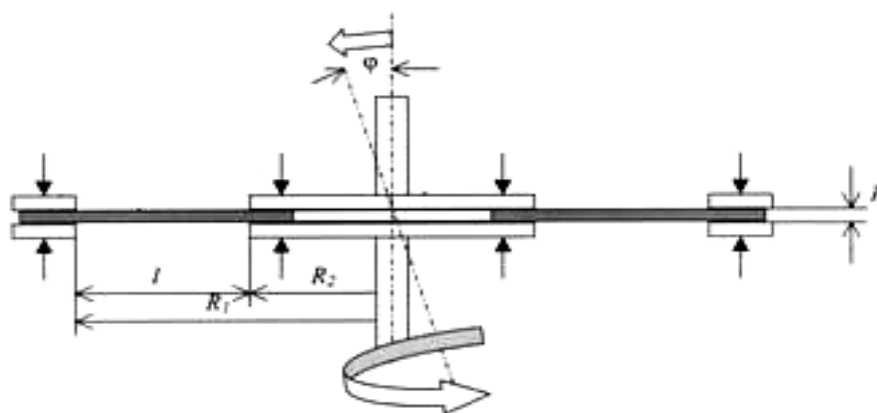


Рис. 1. Схема динамической стабилизации диска с наружным диаметром менее 100 мм

Максимальный угол поворота центральной части φ , рад, для достижения расчетного напряжения может быть определен по зависимости

$$\varphi = \frac{2l^2 \cdot \sigma_{рас}}{Eh(R_2 + l)},$$

где $\sigma_{рас}$ – расчетное напряжение, МПа; h – толщина диска; E – модуль упругости, МПа; l – ширина деформируемой части диска, $l = (R_1 - R_2)$; R_1 – наружный радиус деформируемой части диска; R_2 – внутренний радиус деформируемой части диска.

В качестве примера для реализации предложенной схемы выполним расчет режимов динамической стабилизации для диска с наружным диаметром 85 мм, внутренним диаметром 63 мм и толщиной 1,0...1,5 мм.

С учетом конструктивной схемы устройства принимаем $R_1 = 35$ мм, $R_2 = 27$ мм, $l = (R_1 - R_2) = 8$ мм. Расчетное напряжение принимаем равным 970 МПа. Результаты расчета по определению требуемого угла поворота φ для создания расчетного напряжения приведены в табл. 1.

Табл. 1. Расчетные углы поворота диска

Расчетное напряжение, МПа	Параметры закрепления диска, мм				Угол поворота φ , град
	R_1	R_2	l	h	
970	35	27	8	1	1,016
970	35	27	8	1,5	0,677

Предлагаемая схема динамической стабилизации опробована на дисках сцепления и предлагается для реализации динамической стабилизации дисков с наружными диаметрами менее 100 мм с толщиной диска до 2 мм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Жучков, М. Г.** Расчет долговечности трансмиссий военных гусеничных машин / М. Г. Жучков, Р. Н. Корольков, О. С. Петров; под ред. П. П. Исакова. – Москва ЦНИИ информации, 1987. – 372 с.
2. Трансмиссии гусеничных и колесных машин / В. М. Труханов [и др.]; под ред. В. М. Труханова. – Москва: Машиностроение, 2001. – 736 с.
3. **Антонюк, В. Е.** Динамическая стабилизация в производстве маложестких деталей / В. Е. Антонюк. – Минск: Беларуская навука, 2017. – 190 с.
4. **Антонюк, В. Е.** Исследование напряженного состояния дисков при косоагруженном изгибе / В. Е. Антонюк, А. М. Гоман // Материалы, технологии, инструменты. – 2005. – Т. 10, № 2. – С. 28–33.

УДК 621.7

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА И ЗАГРУЖЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧАСТКА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В. Е. АНТОНЮК, Н. П. ТИМОШЕНКО, С. Г. САНДОМИРСКИЙ

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Беларусь

ОАО «БЕЛАЗ» работает над реализацией уникального проекта по созданию кольцераскатного комплекса, который позволит получить для дальнейшей механической обработки термически обработанные кольцевые заготовки с наружным диаметром от 350 до 3 000 мм и массой до 3 000 кг [1] из разных марок сталей, включая стали 20Х2Н4А, 40ХМФА, 42CrMo4.

В состав комплекса входит автоматизированная линия для изготовления бесшовных колец горячей кольцераскаткой [2] и автоматизированный участок термической обработки кольцевых заготовок. Современные возможности кольцераскатки позволяют достигнуть высокой окончательной точности кольцевых заготовок и улучшить физико-механические свойства материала, термообработка позволяет подготовить кольцевые заготовки к дальнейшей механической обработке. Проектируемая мощность комплекса позволит покрыть потребности внутреннего рынка и обеспечить экспортные поставки.

В связи с высокими требованиями к уровню автоматизации и универсальности создаваемого комплекса [3] возникает необходимость разработки программных средств для оперативных расчетов состава оборудования автоматизированной линии кольцераскатки и автоматизированного участка термической обработки.

На базе программы Microsoft Excel по разработанной методике создана таблица расчета необходимого количества и загруженности оборудования для участка термической обработки.

Для выполнения расчета в таблицу необходимо ввести исходную информацию по номенклатуре кольцевых заготовок, их геометрические параметры и массу, годовую программу выпуска, периодичность и пр. (табл. 1), ввести исходную информацию по техническим характеристикам оборудования, технологической оснастки, технологии режимов термической обработки, способе формирования садки и пр. (табл. 2).

В качестве примера в табл. 3 приведены результаты расчета количества требуемого термического оборудования для нагрева под закалку кольцевых заготовок.

Как видно из представленного расчета, для выполнения годовой программы нагрева под закалку кольцевых заготовок при принятых режимах термической обработки и типе камерной печи достаточно одной камерной печи.

Табл. 1. Исходная информация о номенклатуре кольцевых заготовок

Габаритные размеры кольца			Масса кольца, кг	Марка материала	Годовая программа, шт.	Количество партий в год, шт.	Количество колец в одной партии, шт.	Общее время цикла, ч	Температура		
Наружный диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Высота, мм							на входе, °С	выдержки, °С	на выходе, °С
2 192	1 915	104	729,1	42CrMo4	700	12	58	8,50	30	850	850
2 555	2 190	195	2 082,0		29	2	14	8,50	30	850	850
2 770	2 417	157	1 772,0		29	2	14	8,50	30	850	850
2 770	2 430	100	1 089,0		29	2	14	8,50	30	850	850
2 968	2 573	219	2 953,7		700	12	58	8,50	30	850	850

Табл. 2. Технические характеристики термического оборудования и технологической оснастки

Характеристики оборудования и оснастки	Параметры
Тип печи	Камерная
Тип пода печи	С выдвижным подом
Размер рабочего пространства печи (ширина × длина × высота), мм	3 000 × 3 000 × 1 000
Максимальная масса садки, кг	9 000
Размер поддона (ширина × длина × высота), мм	3 000 × 3 000 × 100
Масса поддона, кг	810
Количество поддонов при загрузке в печи	1
Суммарный отступ от края поддона, мм	10
Отступ от свода печи, мм	100
Минимальное расстояние между кольцами, мм	100
Высота проставки, мм	20
Масса проставки, кг	25
Годовой фонд рабочего времени, ч	6 120

Табл. 3. Расчетное количество оборудования

Габаритные размеры кольца			Коли- чество стоп на под- доне, шт.	Коли- чество рядов на под- доне, шт.	Коли- чество колец на под- доне, шт.	Рас- четное коли- чество колец в сад- ке, шт.	Масса садки, кг	Коли- чество садок в пар- тии, шт.	Коли- чество колец в пар- тии, шт.	Коли- чество садок в год, шт.	Расчетное количе- ство пе- чей, шт.
Наруж- ный диа- метр, мм	Внут- ренний диа- метр, мм	Высота, мм									
2 192	1 915	104	1	6	6	6	5 335	10	60	120	0,18
2 555	2 190	195		3	3	3	7 131	5	15	10	0,01
2 770	2 417	157		4	4	4	7 998	4	16	8	0,01
2 770	2 430	100		6	6	6	7 494	3	18	6	0,01
2 968	2 573	219		2	2	2	6 768	30	60	360	0,53
										504	0,74

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОАО «БЕЛАЗ» построит современный комплекс кольцераскатки в Орше [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belta.by/economics/view/belaz-postroit-sovremennyy-koltseraskatnyj-kompleks-v-orshe-434867-2021/>. – Дата доступа: 20.05.2021.
2. **Антонюк, В. Е.** Кольцераскатка в условиях автоматизированного производства / В. Е. Антонюк, П. А. Пархомчик, В. В. Рудый – Минск: Беларуская навука, 2021. – 245 с.
3. **Антонюк, В. Е.** Задачи технологического обеспечения автоматизированного кольцераскатного комплекса / В. Е. Антонюк, С. Г. Сандомирский, В. В. Рудый // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – № 2 (55). – С. 43–54.

УДК 621.787.6

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ, ФОРМИРУЕМОГО ПРИ ИНЕРЦИОННО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ

В. В. АФАНЕВИЧ, В. М. ПАШКЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Важным фактором, влияющим на износостойкость поверхностей пар трения, является микротвердость их поверхностного слоя.

Микротвердость поверхности формируется в числе прочего на этапе ее окончательной обработки. В случае применения инерционно-импульсного раскатывания [1] внутренняя цилиндрическая поверхность детали подвергается поверхностно-пластическому деформированию. В связи с этим важно знать, какое влияние оно оказывает на микротвердость обработанной поверхности.

Исследование такого влияния выполнялось на втулках, выполненных из специального высокопрочного чугуна с механическими свойствами, близкими к чугуну марки ВЧ60.

При исследовании принимались во внимание следующие факторы, оказывающие влияние на изменение микротвердости поверхности:

- исходная шероховатость поверхности;
- подача инструмента за оборот заготовки, влияющая на плотность следов от деформирующих шаров на обработанной поверхности;
- частота вращения заготовки (шпинделя станка), обеспечивающая необходимую скорость деформирующего шара в момент нанесения удара по обрабатываемой поверхности.

Обработка поверхностей велась в следующей последовательности: черновое растачивание, чистовое растачивание, инерционно-импульсное раскатывание. Режимы чистового растачивания были подобраны таким образом, что одна группа заготовок имела среднее значение шероховатости поверхности по параметру $Ra = 1,984$ мкм (при рассеивании измеренных значений в диапазоне $1,82...2,26$ мкм), а вторая группа – $Ra = 6,413$ мкм (при рассеивании измеренных значений в диапазоне $5,83...7,24$ мкм).

Исследования проводились по методике полного факторного эксперимента, обеспечивающей все возможные комбинации уровней факторов. Для этого обработка заготовок велась с использованием комбинации следующих режимов, соответствующих верхнему и нижнему уровням факторов:

- частота вращения заготовки – $n_{\min} = 630$ мин⁻¹, $n_{\max} = 1000$ мин⁻¹;
- подача инструмента – $So_{\min} = 0,05$ мм/об; $So_{\max} = 0,2$ мм/об.

Далее из обработанных втулок вырезались сегменты, в которых поперечный срез предварительно шлифовался, а затем полировкой доводился до зеркального блеска по стандартной методике.

Затем поперечные срезы подвергались измерениям микротвердости в поверхностном слое. У каждого образца на глубинах 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300 и 350 мкм от обработанной поверхности проводилось не менее пяти

измерений, из которых потом на основе критерия Диксона выбирались серии из пяти отсчетов, не содержащие промахов. За величину микротвердости поверхности на исследуемой глубине принимались средние значения по серии проведенных на данной глубине измерений.

Анализ проведенных измерений показал, что на результаты инерционно-импульсной обработки в значительной мере влияет исходное состояние поверхности.

Также было выявлено, что результаты измерения микротвердости поверхностного слоя после инерционно-импульсной обработки распадаются на две группы, имеющие принципиально различные свойства.

Так, наилучший результат был достигнут на образцах, имевших исходную шероховатость $Ra \approx 6,3$ мкм.

Вероятно такие результаты определяются большими пластическими деформациями микрорельефа поверхности с большим размахом микронеровностей и, соответственно, меньшей величиной относительной опорной длины профиля.

В то же время у образцов, имевших исходную шероховатость $Ra \approx 2$ мкм, значения микротвердости имеют значительный статистический разброс и изменение тренда микротвердости не столь велико.

По-видимому, такой результат, в отличие от предыдущей группы образцов, определяется большей контактной жесткостью поверхности, когда энергия деформирующих шаров распределяется по поверхности материала заготовки и не приводит к значительным пластическим деформациям (энергия в большей степени подвержена диссипации в материале).

По результатам исследований микротвердости построена эмпирическая модель с использованием методики, описанной в [2]. В ней в качестве факторов выбраны три параметра: h – глубина залегания подповерхностного слоя, мкм; S_o – подача инструмента, мм/об; n – частота вращения заготовки (шпинделя станка), мин⁻¹. Переменная отклика модели – микротвердость по Виккерсу HV.

Результаты исследований показали, что в наибольшей мере микротвердость поверхностного слоя зависит от параметра глубины (следовательно, упрочнение поверхности относительно исходного состояния материала является статистически значимым), а также от фактора частоты вращения шпинделя (определяющего кинетическую энергию деформирующих шаров). Не оказывает статистически значимого прямого влияния фактор подачи (фактически он оказывает опосредованное воздействие на густоту следов обработки в виде парного взаимодействия с частотой вращения).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инерционно-импульсный раскатник: пат. ВУ 12381 / В. М. Пашкевич, В. В. Афаневич. – Оpubл. 30.08.2020.
2. Пашкевич, В. М. Эмпирическая модель шероховатости, обеспечиваемой при инерционно-импульсной обработке / В. М. Пашкевич, В. В. Афаневич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2020. – № 4. – С. 41–49.

УДК 658.512

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ДОПУСКОВ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ 3D-ПЕЧАТИ

Н. В. БЕЛЯКОВ, Д. А. ЯСНЕВ, М. Э. ЭБАКО

Витебский государственный технологический университет
Витебск, Беларусь

Аддитивные технологии в машиностроении находят применение для прототипирования изделий (оценка эргономических качеств изделия; проверка собираемости и правильности компоновочных решений; гидроаэродинамические и другие испытания; предварительная проверка функциональности; дизайнерские модели с различными нюансами в конфигурации, цветовой гамме раскраски и т. д.); литейного производства (создание литейных моделей, литейных форм и другой модельной оснастки); производства деталей машин.

Важнейшими параметрами качества деталей машин являются точность размеров и допусков взаимного расположения поверхностей. Особое влияние на взаимное расположение слоев при аддитивном синтезе деталей на 3D-принтерах и, как следствие, на обеспечение точности допусков взаимного расположения поверхностей оказывают такие факторы, как компоновочная схема принтера; жесткость и точность изготовления деталей принтера; качество сборки и калибровки принтера; конструкция и точность механических передач и приводов (точность перемещения слоеформирующих элементов); конструкция и ориентация направляющих; ориентация модели детали при печати и др. Если допуски взаимного расположения не обеспечены, то деталь неизбежно перейдет в неустранимый брак. Задачи обеспечения точности допусков взаимного расположения поверхностей деталей машин в аддитивном производстве должны решаться уже на этапе базирования (ориентации) модели детали в рабочей зоне принтера с помощью программ-слайсеров за счет выбора баз с учетом точности принтера.

Работа во всех программах-слайсерах организована таким образом, что пользователю необходимо ввести информацию в ряде блоков настроек. В блоке «Работа с моделью» пользователю необходимо произвести ориентирование (базирование) модели детали в рабочей зоне принтера. Эта процедура осуществляется пользователем на основе собственного опыта и интуиции. В литературных источниках лишь приводится ряд (иногда исключаящих друг друга) рекомендаций общего характера, а также приводятся результаты экспериментальных исследований влияния параметров печати на точность изделий. Вопросы влияния различной ориентации детали в рабочей зоне 3D-принтера на обеспечение точности допусков взаимного расположения с учетом параметров геометрической точности принтера не рассматривались.

Таким образом, целью работы является разработка методического, алгоритмического и программного обеспечения базирования моделей деталей машин в рабочей зоне 3D-принтеров на основе анализа их геометрической точно-

сти для обеспечения заданных чертежом допусков взаимного расположения поверхностей.

В результате исследований уточнена система терминов проектного базирования [1, 2] для аддитивного синтеза, которая за счет определения понятий геометрической модели детали, приоритетного допуска, состава и комплекта баз, схемы базирования позволила предложить последовательность процедур базирования (ориентации) моделей деталей машин в рабочей зоне 3D-принтеров. Последовательность процедур включает: определение, индентификацию и ранжирование возможных составов баз ориентации конструктивных элементов, определение параметров геометрической точности 3D-принтера, формирование базовой системы координат (за счет наложения на модель геометрических связей) и ее привязку к системе координат 3D-принтера, что уже на стадии проектирования дает возможность оценить достижимость заданных чертежом допусков взаимного расположения конструктивных элементов, а также рекомендовать варианты ориентации модели детали в рабочей зоне 3D-принтера для обеспечения допусков взаимного расположения.

Формализация указанных процедур и их представление на языке теории автоматизации проектирования, алгебры логики и теории алгоритмов дало возможность создать автоматизированную систему, позволяющую прогнозировать обеспечение точности допусков взаимного расположения поверхностей при 3D-печати, рекомендовать варианты базирования моделей деталей в рабочей зоне 3D-принтера на основе анализа его геометрической точности для обеспечения допусков взаимного расположения и, как следствие, снижать вероятность печати бракованных деталей.

При работе с системой пользователь последовательно вводит информацию о компоновочно-кинематической схеме принтера, его точности позиционирования и геометрической точности по осям, параметрах поверхности с приоритетным допуском. Результатом работы являются сведения о возможности обеспечения допуска взаимного расположения на заданной длине при различном базировании модели детали относительно осей системы координат принтера, а также рекомендации о возможном повороте модели для обеспечения приоритетного допуска взаимного расположения.

Результаты работы могут использоваться в проектных бюро предприятий, использующих 3D-принтеры; IT-компаниях для создания и совершенствования программ-слайсеров; учебном процессе для подготовки специалистов в области производства изделий на основе трёхмерных технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Научные основы технологии машиностроения : учебное пособие: в 2 ч. / Н. В. Беляков [и др.]. – Витебск : ВГТУ, 2021. – Ч. 1. – 309 с.
2. Практическое приложение теории базирования для синтеза универсально-сборных приспособлений / Н. Н. Попок [и др.] // Вестн. ПГУ. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2020. – № 11. – С. 21–31.

УДК 621.396.6

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЪЕМНЫХ ПРИПОЙНЫХ ВЫВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А. Э. ВИДРИЦКИЙ, В. Л. ЛАНИН

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

Процесс Flip-Chip-монтажа заключается в присоединении полупроводникового кристалла ИС на подложку активной стороной вниз. В качестве выводов кристалла могут быть металлические шарики или столбики (Au, Cu) припоя, выводы из проводящего полимера, а также металлические контактные площадки.

Основные преимущества технологии Flip-Chip:

- возможность матричного расположения контактных площадок (по сравнению с контактными площадками, расположенными по краю кристалла);
- очень малая протяженность межкомпонентных соединений, что сводит к минимуму величину их индуктивности;
- отвод тепла с перевернутого кристалла непосредственно через внешнюю металлическую крышку корпуса с использованием термопасты.

На рис. 1 представлена схема формирования припойных шариков на поверхности пластины.

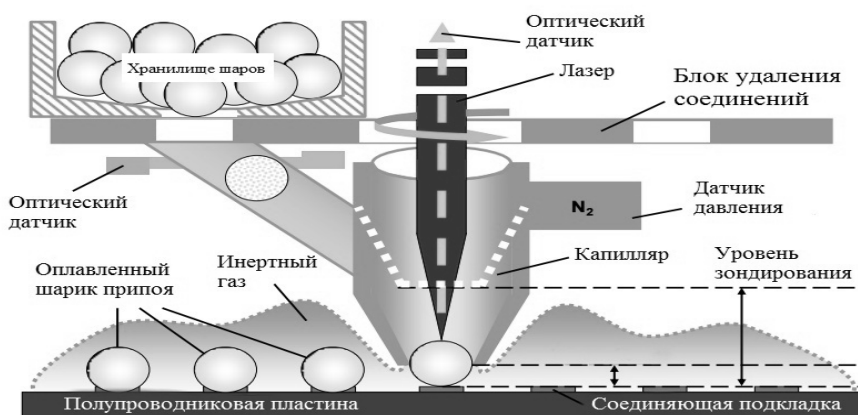


Рис. 1. Схема формирования припойных шариков на поверхности пластины

Из механизма подачи поступает припойный шарик, который под действием лазерного импульса плавится и формирует объемный вывод. Лазерное излучение обеспечивает высокую пиковую мощность импульсов и возможность фокусировки в пятно малого размера, чем достигается плотность мощности излучения порядка 10^8 Вт/см². При такой плотности мощности происходит испарение практически любого материала, поглощающего излучение с определённой длиной волны. В сочетании с программно-управляемым перемещением пластины по координатам X , Y происходит формирование вывода под воздействием лазерного луча. В процессе обработки пластины поддержание положения фоку-

са происходит автоматически перемещением объектива в направлении Z , перпендикулярном поверхности пластины.

Исследование проводилось на установке монтажа объемных микровыводов лазерной пайкой ЭМ-4452 ОАО «Планар-СО». Припойные шарики (SnPb) диаметром 300 мкм монтировались на пластину с серебряным покрытием, всего смонтировано по 10 шариков в разных режимах. Режимы монтажа и результаты замеров усилия на сдвиг на установке ЭМ-6072 ОАО «Планар-СО» приведены в табл. 1.

Табл. 1. Режимы формирования припойных выводов

Цикл	Температура стола, °C	Мощность лазера, Вт	Время воздействия импульса, мс	Усилие сдвига, г
1	80	10...24	150...350	150...350
2	120	14...24	250...350	50...100
3	120	10...24	150...300	150...350
4	140	14...24	250...350	50...100
5	140	10...24	150...350	150...350

Как видно из табл. 1, усилие сдвига лежит в большом диапазоне значений даже при одинаковых режимах формирования шариков, вероятными причинами могут являться некачественная обработка поверхности пластины, не отлаженная работа программного обеспечения установки и др.

Проведен замер диаметров сформированных шариков и на рис. 2 представлена зависимость усилия сдвига шариков с пластиной от их диаметра.



Рис. 2. Зависимость усилия сдвига шариков припоя от их диаметра

Как видно из рис. 2, с увеличением диаметра шарика растет их усилие сдвига. Технология формирования объемных припойных выводов на установке ЭМ-4452 требует отработки в части подбора режимов, методов обработки поверхности перед проведением процесса, наладки и корректировки работы программного обеспечения установки.

УДК 004.356.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УГЛОВЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ПЕЧАТИ НА 3D-ПРИНТЕРЕ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ШАР»

О. А. ВОРОБЬЕВА, М. В. СЕРИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В последние годы технологии 3D-печати различных объектов получили широкое развитие благодаря высокой точности воспроизведения чертежных моделей, а также возможности варьирования применяемых материалов, актуальными являются анализ применяемого оборудования в зависимости от его расходных материалов и выбор программы для создания 3D-модели объекта под будущую печать.

Рассмотрим сравнительный анализ максимальных угловых (рис. 1) и линейных (рис. 2) отклонений при печати на примере шара.

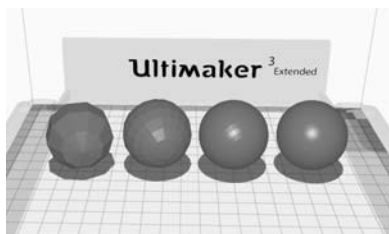


Рис. 1. Образцы, полученные в программе Cura с максимальным угловым отклонением

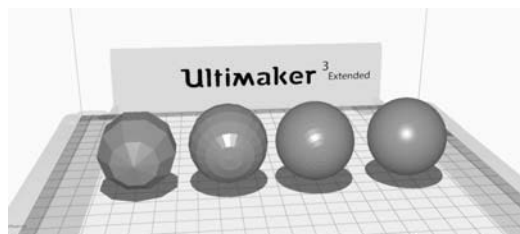


Рис. 2. Образцы, полученные в программе Cura с максимальным линейным отклонением

Образцы смоделированы в программе КОМПАС 3D v20, далее в программе Cura преобразованы в формат .stl в G-code для печати на принтере.

При печати на 3D-принтере ultimaker применялся пластик типа ABS (рис. 3 и 4).

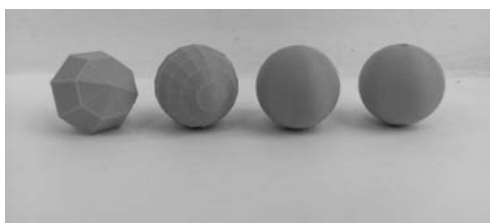


Рис. 3. Образцы, полученные при печати с максимальными угловыми отклонениями

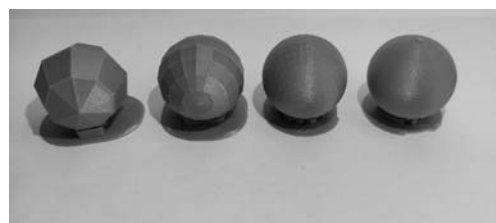
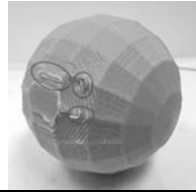


Рис. 4. Образцы, полученные при печати с максимальными линейными отклонениями

Шов присутствует на всех напечатанных шарах и является особенностью печати по слоям.

Рассмотрим образцы 3D-печати при задании различных параметров печати (табл. 1).

Табл. 1. Анализ образцов 3D-печати

	Максимальное угловое отклонение – 45° . Дефект в основании при печати (вмятина), обусловленный малой контактной площадью с поверхностью
	Максимальное угловое отклонение – 20° . Дефект при печати нижних слоев (наблюдается расслоение пластика на 2–4 слоях, присутствует пригар пластика на 9–11 слоях), а также присутствует провисание нити
	Максимальное угловое отклонение – 5° . В процессе печати наблюдается точечный наплыв пластика (свисание) на слоях, начиная с второго, заканчивая 24-м слоем. Также на 13-м слое наблюдается явно выраженное провисание нити (единичный случай)
	Максимальное угловое отклонение – 1° . Шар имеет максимально округлую форму во всех местах, кроме основания. В этом месте наблюдается деформация нижних слоев пластика (подтеки пластика), присутствует пригар в основании (1–3 слой), имеет максимальное число подтеков, за счет более гладкой поверхности шара
	Максимальное линейное отклонение – 0,05. Наблюдается деформация первых 14-ти слоев. Также на этих уровнях присутствует подтек в двух местах, расслоение пластика в слоях 2–8 (причина – печать основания в виде 16-гранника)
	Максимальное линейное отклонение – 0,001. Шар имеет максимально округлую форму на всей поверхности, кроме слоев 11 и 12 (наблюдается наплыв пластика в двух противоположных местах)

На основании анализа образцов, полученных при печати, можно сделать следующие выводы. Образцы с максимальным линейным отклонением 1 и 0,25 не имеют явно выраженных дефектов. Для максимального линейного отклонения 1 печать велась с опорой на ребро, что создало большую площадь соприкосновения со столом, в отличие от максимального углового отклонения 45° , которое печаталось на углу. Образец с максимальным линейным отклонением 0,25, в отличие от образца с максимальным угловым отклонением, начал свою печать не с ребра, а с поверхности, имеющей форму квадрата (распределение масс равномерно).

УДК 004.356.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АДГЕЗИВНЫХ СВОЙСТВ ПРИ ПЕЧАТИ НА 3D-ПРИНТЕРЕ

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

При печати на 3D-принтере могут возникнуть следующие проблемные вопросы.

1. Отрыв детали от стола возникает из-за особенностей пластика и его свойств охлаждения.

2. Первый слой плохо схватывается со столом, т. к. стол плохо откалиброван или ремни принтера имеют неправильное натяжение.

3. Основание изделия печатается с отступом наружу. Такой эффект может возникнуть при большой массе изделия и плохого прилегания первого слоя печати к столу.

4. Возникновение в модели пустот-впадин (особенно на высоких моделях) из-за неправильно выбранного температурного режима и плохого прилегания слоев.

5. Недостаточная или большая подача пластика приводит к отслаиванию слоев печати.

И, как следствие, испорченная печать.

Основной и очень распространенной проблемой в настольной 3D-печати является обеспечение чистоты стола для печати и качественного адгезионного взаимодействия нижних слоев воспроизводимой модели с печатной платформой 3D-принтера.

При 3D-печати особым моментом является адгезия стола к печатающей модели. Для этого используют различные адгезивы.

Адгезив – вещество, способное соединять материалы путём поверхностного сцепления. Оно является основной составляющей качественной печати путем удерживания детали на печатающем столе.

В качестве адгезива можно использовать клей-карандаш, клей БФ-2, малярный скотч, лак для волос, жидкие гвозди, готовые специализированные клеи и многое др.

У принтера модели Ultimaker 3 Extended в качестве рабочего стола выступает стеклянная поверхность с подогревом. Стекло имеет очень гладкую поверхность, за это свойство его часто используют при 3D-печати, но для обеспечения удержания модели его обязательно нужно покрывать адгезивом, иначе печатающие детали не будут прилипать.

Рассмотрим основные моменты использования адгезива в зависимости от пластика.

Самый доступный метод – клей на PVP-основе. Клей наносится в один или несколько слоев, независимо от температуры стола. Слой клея получается толстоват.

Так как клей на PVP-основе легко смывается водой, его часто используют при печати PLA и пластиками со схожими характеристиками. Но для пластиков, таких как ABS, почти невозможно использовать этот клей из-за сильных внутренних напряжений в пластике и ослабления свойств адгезии клея.

Достоинствами клея-карандаша можно назвать доступность, дешевизну, легкость нанесения, легкое смывание, отсутствие едкого запаха.

Недостатками являются: быстрый расход; намазанную поверхность можно использовать всего для двух–трех печатей; необходимость частого мытья стекла от клея; невозможность использования с ABS и похожими пластиками; остатки клея остаются на нижней части модели.

Для более долговечной и сильной адгезии используют клей БФ-2. Для легкого нанесения его смешивают с изопропиловым спиртом в пропорции 1 : 2, после этого он становится жидкий. Клей наносится с помощью кисточки тонким слоем на холодный стол. Печатать на одном слое можно больше 10 раз, далее повторно наносить тонким слоем без смывания предыдущего. Адгезия у такого метода отличная, даже после остывания стола деталь сама не отлипает, в том числе из-за низкого температурного порога. Он хорошо подходит для всех видов пластика. Так как клей предназначен для склеивания металлов, древесины, стекла и другого, удалить его можно только механическим путем.

Относительная доступность, относительная дешевизна, легкость нанесения, низкий температурный порог, подходит для всех видов пластика и позволяет проводить печать более 10 раз на одном слое.

Однако очень тяжело отчистить стол от клея, имеющего токсичные свойства.

Специализированный клей предназначен для 3D-печати на подогреваемой платформе всеми видами пластика. Способ применения: перед печатью распылить раствор клея на ткань и протереть ею холодный стол. Для лёгкого снятия изделия со стола после печати, нужно дождаться охлаждения рабочей поверхности до 30 °С. Такой адгезив можно использовать более 10–15 печатей.

Специализированный клей не имеет запаха при печати, не токсичен, легко наносится, легко смывается, используется со всеми видами пластика, имеет отличные адгезивные свойства, экономичен в расходе, возможна многократная печать.

Однако он относится к более дорогостоящим материалам.

На основании анализа данных материалов можно сделать вывод, что для 3D-печати на принтере модели Ultimaker 3 Extended более эффективно использовать специализированный клей. Также необходимо учитывать температуру разогрева пластика. При плохом температурном режиме и неправильном обдуве пластик, даже при использовании адгезивного средства, не будет хорошо прилегать к столу и возникнут вышеуказанные дефекты.

УДК 62-529

КОЛЛЕКТИВНАЯ ОРИЕНТАЦИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ
В ПРОСТРАНСТВЕ НА ОСНОВЕ ROS-СИСТЕМЫ

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

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Одной из важнейших задач мобильного робота является локализация и определение пути в целевую точку. Однако при совместной работе набора мобильных роботов каждый работает автономно, и имеет лишь обрывочные данные о местности. Для повышения точности локализации и расширения имеющейся информации можно связать роботов в единую сеть для перераспределения информации о локации.

ROS (Robot operating system) – это комплект для разработки программного обеспечения, который представляет строительные блоки, необходимые для создания приложений для роботов [1]. В данном пакете программ есть инструменты для реализации протоколов общения, SLAM-алгоритмов, алгоритмов построения карты с данных лидара и сенсоров технического зрения.

Протоколы общения позволяют создать централизованную сеть, которая позволяет предоставлять данные с минимальной задержкой, и децентрализованную сеть, которая позволяет повысить площадь охвата и стабильность системы.

Мобильная платформа, собирая информацию о местности вокруг себя, формирует пакет и отправляет её в сеть. Одновременно она получает пакет данных от других роботов и дополняя своими данными отправляет снова в сеть. Таким образом, данные о неизвестной местности максимально полные, а повторяющиеся данные проходят верификацию методом большинства (отдалённо похожий процесс можно увидеть в блокчейн-системах). Полученный пакет данных проходит процедуру верификации имеющихся данных и очистку дубликатов. Затем по этим данным строится расширенная карта, которая передаётся SLAM-алгоритму для нахождения пути.

Похожие коллективные сети могут применяться при поиске людей под завалами после стихийных бедствий, при разведке местности или морского дна с помощью отряда роботов.

Данные схемы нуждаются в доработке, тестировании на реальных моделях и адаптацию под конкретные задачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт ROS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ros.org/blog/ecosystem>. – Дата доступа: 24.01.2022.

УДК 62-529

МЕХАТРОНИКА БИОНИЧЕСКИХ ПРОТЕЗОВ С ПОВЫШЕННОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬЮ

Е. Ю. ДЕМИДЕНКО¹, В. А. ЧЕРНЯКОВ², П. С. ФЛАНЧЕВ¹¹Белорусско-Российский университет²Средняя школа № 31 г. Могилева

Могилев, Беларусь

Реализация полнофункциональной конструкции бионического протеза для выполнения специальных задач, связанных с профессиональной или иной деятельностью человека, является актуальной задачей, решение которой в большей степени зависит от мехатроники данного изделия.

Повышение функциональности бионических протезов с ориентированием на конкретные потребности человека в его профессиональной или повседневной жизни лежит в плоскости реализации дополнительной подвижности основных узлов многосвязного механизма. Существующие протезы от мировых производителей имеют набор стандартных захватов для реализации лишь повседневных задач, хоть и в большом количестве. Предлагаемый вариант данных социализирующих устройств стремится расширить диапазон выполняемых функций бионических протезов рук для более полной адаптации человека в обществе.

Как и в протезах от мировых и российских производителей, нами выбран синтез линейного привода и рычажных механизмов, управляемых от микроконтроллера и входных сенсоров. Управляющая логика протезов в базовых комплектациях реализует стандартный набор захватов (активный указательный палец, фиксированная точка нажатия, кулак, силовой захват, ключ, компьютерная мышь, открытая ладонь, щипание, приведение пальцев, трехпальцевый захват, точный открытый захват, точный закрытый захват, расслабленная кисть) [1]. Однако для того, чтобы, например, спортсмену лучнику вернуться в спортивную среду, даже если речь идет о любительской его составляющей, ему необходим усиленный протез в области пальцев, натягивающих тетиву. Реализация специальных функций не заложена в социальных бионических протезах, не говоря уже про пассивные протезы.

Следовательно, открытым остается вопрос адаптации необходимой функциональности бионических протезов через методы трехмерного моделирования и анализа движения разрабатываемых конструкций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт Ottobock. Протез руки с кистью bebionic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ottobock.ru/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/bebionic-hand. – Дата доступа: 17.01.2022.

УДК 621.787

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМДН
В АКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

А. М. ДОВГАЛЕВ, Д. М. СВИРЕПА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

К числу перспективных относится метод совмещенного магнитно-динамического накатывания (СМДН) в активной технологической среде, в соответствии с которым поверхность ферромагнитной детали испытывает комплексное химико-магнитно-силовое воздействие [1]. Метод СМДН в активной технологической среде позволяет получить на поверхности ферромагнитных деталей упрочненный антифрикционный поверхностный слой, содержащий твердосмазочное покрытие, обладающий высокими качественными характеристиками и эксплуатационными свойствами [2, 3].

Внедрение разработанного метода формирования на поверхности ферромагнитных деталей антифрикционного покрытия в промышленность сдерживает отсутствие теоретических исследований, позволяющих установить взаимосвязь качественных характеристик обработки с режимами процесса совмещенного упрочнения. В связи с этим была разработана модель процесса СМДН в активной технологической среде, получена система дифференциальных уравнений, описывающих фазы движения деформирующих шаров комбинированного инструмента.

Установлена взаимосвязь кинематических характеристик деформирующих шаров (в том числе скорости их взаимодействия с поверхностью упрочняемой детали) с параметрами комбинированного инструмента и режимами процесса СМДН. Получена аналитическая зависимость для расчета величины шероховатости поверхности при СМДН в активной технологической среде, позволяющая осуществить прогнозирование параметров качества детали на стадии проектирования операции отделочно-упрочняющей обработки.

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. Сви́репа, С. А. Сухоцкий, М. В. Мовчан. – Опубл. 30.10.2018.
2. **Шелег, В. К.** Исследование триботехнических свойств поверхностей деталей, упрочненных совмещенным магнитно-динамическим накатыванием / В. К. Шелег, А. М. Довгалева // Актуальные вопросы машиноведения. – 2018. – С. 51–58.
3. **Шелег, В. К.** Получение на поверхности ферромагнитных деталей антифрикционных твердосмазочных покрытий совмещенным магнитно-динамическим накатыванием / В. К. Шелег, А. М. Довгалева // Актуальные вопросы машиноведения. – 2021. – Вып. 10. – С. 15–21.

УДК 621.78

АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ МЕТАЛЛОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ

А. Н. ЕЛИСЕЕВА, В. М. ШЕМЕНКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Как известно, тепловое воздействие на металлы и сплавы приводит к изменению их структуры и фазового состава, и в большинстве случаев – формы изделия. На этом принципе построены все классические методы термической обработки, такие как закалка (объемная, поверхностная, токами высокой частоты), отжиг, отпуск, которые в совокупности с различными способами охлаждения приводят к повышению эксплуатационных характеристик изделия. В качестве источника нагрева деталей до необходимой температуры могут выступать как открытое пламя, так и индукторы при реализации процесса закалки токами высокой частоты. В последнее время процесс наиболее востребован, особенно при поверхностной закалке простых цилиндрических деталей, т. к. позволяет значительно ускорить нагрев, как правило, в данном процессе на глубину нагрева и скорость нагрева, которая напрямую зависит от частоты течения тока по индуктору.

На основании многолетнего опыта обработки тлеющим разрядом различных изделий из металлов и сплавов было установлено, что обработка сопровождается нагревом деталей в среднем до температуры 373...423 К в зависимости от объема обрабатываемых изделий. Однако логичным было бы предположить, что данная температура характеризует лишь среднюю температуру детали, но не может отразить пиковые значения температур, возникающих на поверхности изделия в процессе обработки, т. к. с учетом выявленной глубины модифицированного слоя (до 150 мкм) и большего объема основы металла эти пиковые значения должны быть значительно выше и могут быть сопоставимыми с температурами нагрева изделий при закалке токами высокой частоты.

Исходя из изложенного выше, большой интерес с точки зрения материаловедения вызывает анализ влияния термического воздействия, вызванного тлеющим разрядом на структурно-фазовые превращения, протекающие в поверхностном слое, и возможности сопоставления их с изменениями в материале при классической термической обработке, а в частности, при закалке токами высокой частоты.

Учитывая то, что классическим способом определить градиент температуры при обработке тлеющим разрядом по ряду технических причин не представляется возможным, данная задача решается при помощи математического аппарата, на основе формул Лоренца-Ленца и джоулевых потерь. На основании полученных предварительных результатов можно сделать вывод, что процессы, протекающие в скин-слое при двух видах обработки, идентичны.

УДК 621.91.02

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ РАСТОЧНОГО РЕЗЦА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ

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

После предварительного сверления, рассверливания или зенкерования, если требуемая в соответствии с техническими условиями точность отверстия не была достигнута, либо когда нет в наличии подходящего по диаметру мерного расточного инструмента, применяют расточные резцы. Расточные резцы являются широкоуниверсальными, обеспечивают 8–10-й квалитет точности и обладают меньшими размерами и ценой, по сравнению с другим расточным инструментом, однако обладают существенным упругим смещением их оси – изгибом.

Поскольку в процессе обработки глухого отверстия достаточно сложно наблюдать за работой расточного резца и упругим смещением его оси при влиянии на упругое смещение различных конструктивных и параметрических факторов, то возникает необходимость в моделировании упругого смещения оси инструмента.

В качестве модели при инженерном анализе в Solidworks Simulation использовался расточной резец для глухих отверстий по ГОСТ 25987–83 с минимальным диаметром растачиваемого отверстия $d = 25$ мм при длинах его рабочей части $L = 70, 100, 130, 160$ мм. В качестве исходных данных были заданы: диаметр обрабатываемого отверстия $d = 40$ мм, длина $l = 60$ мм, и определены параметры режимов резания посредством справочной литературы: $t = 1,5$ мм; $s = 0,1$ мм/об; $V = 100$ м/мин; $P_x = 229$ Н; $P_y = 223$ Н; $P_z = 333$ Н. В качестве материала державки расточного резца выбрана сталь 45, подвергшаяся улучшению, а режущей части – твердый сплав Т15К6.

Полученные результаты упругого смещения оси инструмента и, соответственно, вершины режущей кромки представлены в табл. 1.

Табл. 1. Упругое смещение оси расточного резца в зависимости от длины его вылета

V , м/мин	t , мм	S , мм/об	P_x , Н	P_y , Н	P_z , Н	Δy , мм			
						$L = 70$ мм	$L = 100$ мм	$L = 130$ мм	$L = 160$ мм
100	1,5	0,1	229	223	333	0,031	0,063	0,128	0,226

Принимая во внимание значения табл. 1, упругое смещение оси расточного резца в зависимости от длины его вылета имеет наибольшую и значимую величину при длине вылета $L = 160$ мм.

На основе выполненных теоретических исследований предполагается разработка конструкций расточных резцов с меньшим значением величины упругого смещения их осей, т. е. обладающих большей жесткостью.

УДК 621.923.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УПРОЧНЯЮЩЕГО ПНЕВМОУДАРНОГО НАКАТЫВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Е. В. ИЛЬЮШИНА, Н. М. ЮШКЕВИЧ, И. В. КУБРАКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

На сегодняшний день существует проблема, связанная с обеспечением качества внутренних цилиндрических поверхностей стальных заготовок, когда необходимо увеличить микротвердость и получить шероховатость поверхности Ra , равную или менее 0,16 мкм. Существуют различные варианты решения этой проблемы, связанные с применением абразивных методов обработки или упрочняющих методов поверхностного пластического деформирования.

Использование хонингования поверхности, а также полирования и доводки имеет свои недостатки, связанные с шаржированием поверхности абразивными зернами, и, как следствие, микропрофиль поверхности имеет острые вершины, что влияет на снижение износостойкости.

Применение методов поверхностного пластического деформирования для снижения шероховатости поверхности является более предпочтительным, т. к. исключаются недостатки абразивных методов обработки, а упрочнённая поверхность имеет улучшенные эксплуатационные характеристики. При этом обработка пневмоударным накатыванием внутренних цилиндрических поверхностей стальных заготовок позволяет обеспечить стабильное снижение шероховатости, получить микропрофиль поверхности со сглаженными вершинами и заполненными впадинами и увеличить микротвердость.

Для проведения экспериментальных исследований процесса упрочняющего пневмоударного накатывания внутренних цилиндрических поверхностей разработан конструкция инструмента – шарового накатника. Конструкция инструмента представляет собой корпус с отверстием для подвода сжатого воздуха от пневматической системы, далее поток воздуха разветвляется по средствам тангенциальных сопел и воздействует на шары, заставляя их вращаться и ударять по обрабатываемой поверхности. Использование для обработки сжатого воздуха позволяет не только приводить в движение рабочие тела, но и очищать и охлаждать поверхность заготовки. Кратковременное ударное воздействие шаров на поверхность заготовки благоприятно влияет на поверхностный слой металла, в котором не возникает тепловых процессов и не происходит перенаклепа.

Для обеспечения необходимого качества поверхности технология обработки внутренних цилиндрических поверхностей стальных заготовок должна состоять из следующих операций: токарная обработка (расточка поверхности), поверхностное пластическое деформирование жестким роликовым накатником и пневмоударное накатывание.

УДК 621.865.8

МЕТОД СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПОНОВОК РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

И. Э. ИЛЮШИН¹, И. Ю. БОБРОВ¹, А. В. ГОСПОД²¹Белорусско-Российский университет²Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
Могилев, Беларусь

Предлагаемая работа посвящена задачам синтеза оптимальных компоновок роботизированных технологических комплексов (РТК); такие задачи возникают при модернизации автоматизированных производств в машиностроении с применением роботов-манипуляторов (РМ). Предложенный метод предполагает синтез компоновки РТК в два этапа. На первом этапе выделяется область возможных координат положения базы РМ, после чего выделенная область дискретизируется с заданным шагом с целью получения дискретного множества возможных положений. На втором этапе для каждого из элементов полученного множества осуществляется поиск оптимальной траектории перемещения режущего технологического инструмента; поиск траектории выполняется в конфигурационном пространстве РМ – пространстве, в котором в качестве условных координат выступают углы поворота звеньев и ориентации режущего инструмента. Это пространство конфигураций разбито на два подпространства: в первое входят все конфигурации, достижимые для промышленного робота (оно же – свободное пространство), во второе – конфигурации, недостижимые для манипулятора (занятое пространство). Невозможность достижения какого-либо положения РМ обусловлена как конструктивными особенностями (угол в каждом сочленении ограничен допустимым диапазоном значений), так и возможными столкновениями робота с препятствиями. Конфигурация робота задается в виде вектора $q = [q_i]^T$ (q_i – угол в i -м сочленении манипулятора), а критерием оптимальности при поиске траектории является минимальный объем движений РМ в конфигурационном пространстве

$$\sum_{m=1}^{g-1} (q_{m+1} - q_m) \rightarrow \min,$$

где q_1 и q_g – начальное и конечное положение манипулятора в процессе обхода режущим инструментом контура резки.

Кроме того, найденная траектория должна удовлетворять ограничениям, обусловленным технологией лазерной резки: в процессе обхода лазер должен быть ориентирован строго перпендикулярно к обрабатываемой поверхности (рис. 1), при этом он изменяет свое положение за счет скоординированного изменения углов в сочленениях робота q_i , а также вращения инструмента относительно нормали к детали в диапазоне углов $\gamma \in (-\pi, \pi]$.

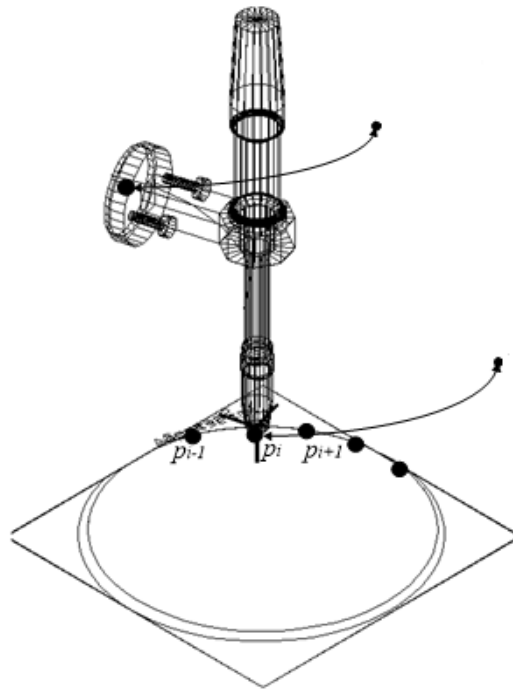


Рис. 1. Перпендикулярная ориентация лазера

Для поиска оптимальных траекторий модель свободного конфигурационного пространства представлена как неориентированный граф, для которого свободные от столкновений положения робота (свободные конфигурации) соответствуют вершинам графа. Ребра графа формируются как простейшие участки, соединяющие свободные конфигурации робота, вдоль которых режущий технологический инструмент перемещается без столкновения с препятствиями: в качестве препятствий выступает как обрабатываемая деталь, так и сам манипулятор с оснасткой. Таким образом, в процессе формирования графа важную роль играет проведение теста на столкновение. Он заключается в проверке векторных моделей препятствий B и векторной модели робота $M(q)$ в текущей конфигурации q на пересечение с учетом точности позиционирования δ , т. е. $\|M(q) - B\| \leq \delta$. Основная часть конфигурационного пространства дискретизируется случайным образом, а зона, в которой определено большое количество препятствий, имеет упорядоченную структуру с заданным шагом. Ребрам графа соответствуют весовые коэффициенты, характеризующие объем движений манипулятора. На сформированном взвешенном графе осуществляется поиск кратчайшего пути.

Исследование эффективности разработанного метода синтеза проведено на модельном примере трехмерного робота Fanuc M-710iC/50. Показано, что предложенный подход позволяет эффективно учесть геометрические характеристики роботизированных комплексов лазерной резки, технологические ограничения, накладываемые на ориентацию режущего технологического инструмента, а также позволяет определить положение робота, при котором режущий инструмент будет перемещаться по контуру резки с минимальным объемом движений.

УДК 621.9.08

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОПЕРИОДНЫХ
ДОРОЖЕК ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ

А. В. КАПИТОНОВ, Р. Г. ЯКУБОВСКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Для оценки точности основных деталей зацепления – колец с многопериодными дорожками планетарных передач [1] с сателлитами-шарами разработана методика контроля и расчета погрешностей дорожек после изготовления. Рассматривались геометрические параметры профилей дорожек, построенных по формулам синусоиды, циклоиды, замкнутых на плоскости и смещенной окружности. Проведены расчеты номинальных кривых, описывающих криволинейные оси многопериодных дорожек, и эквидистантных кривых, по которым перемещаются сателлиты. Изготовлены детали с многопериодными дорожками по рассчитанным координатам номинальных кривых смещенной окружности. Координатными методами контроля проведена оцифровка криволинейной поверхности многопериодной дорожки [2]. Получен массив координат точек криволинейного профиля. С помощью формул поворота осей проведено совмещение действительного и номинального профилей дорожек и определена погрешность изготовления Δ , как соотношение координат изготовленного x_u, y_u и расчетного x_p, y_p профилей:

$$\Delta = \sqrt{(x_u - x_p)^2 + (y_u - y_p)^2}.$$

Получен график погрешности изготовления многопериодной дорожки, по которому можно определить наибольшую, и местные погрешности по каждому периоду дорожки. Проведен спектральный анализ, характеризующий наиболее значимые гармоники и технологические причины погрешностей при изготовлении на станке. Разработана компьютерная программа для автоматизированного расчета теоретических и экспериментальных данных.

Разработанная методика позволяет проводить оценку точности изготовления различных геометрических профилей многопериодных дорожек планетарных передач с сателлитами-шарами, построенных по уравнениям любых кривых.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сасковец, К. В.** Новые конструкции и методы оценки точности планетарных радиально-плунжерных передач / К. В. Сасковец, А. В. Капитонов, М. В. Лебедев // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2019. – № 1 (76). – С. 3–9.
2. **Капитонов, А. В.** Методы оценки точности малогабаритных планетарных передач с промежуточными телами качения / А. В. Капитонов, В. М. Пашкевич // Актуальные вопросы машиноведения. – Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2020. – Вып. 9. – С. 51–54.

УДК 621.83

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ МНОГОПЕРИОДНЫХ ДОРОЖЕК ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ

А. В. КАПИТОНОВ, Р. Г. ЯКУБОВСКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Планетарные передачи с многопериодными дорожками используются в различных механизмах технологического оборудования, устройствах автоматизированного производства [1]. Наиболее ответственными элементами их конструкции являются криволинейные поверхности многопериодных дорожек [2]. Эти поверхности могут быть заданы в виде прямых и окружностей, что создает более упрощенную и менее затратную при проектировании и изготовлении форму профиля дорожки. Однако такой профиль не позволяет получать высокую кинематическую точность в передаче. Многопериодная дорожка, построенная на основе кривых, описываемых уравнениями синусоиды, циклоиды или смещенной окружности, обеспечивает закон движения сателлитов в передаче с наименьшими кинематическими погрешностями. Наиболее технологичными являются поверхности, построенные на основе кривой в виде смещенной окружности. Параметрические уравнения данной кривой имеют вид:

$$X = \left(\sqrt{R^2 - A^2 \sin^2(z\varphi)} + A \cos(z\varphi) \right) \cos \varphi; \quad (1)$$

$$Y = \left(\sqrt{R^2 - A^2 \sin^2(z\varphi)} + A \cos(z\varphi) \right) \sin \varphi, \quad (2)$$

где R – радиус окружности; A – величина смещения окружности, амплитуда многопериодной кривой; z – число периодов кривой; φ – полярный угол.

Кинематическую точность передачи с многопериодной дорожкой, построенной на основе простой геометрии и формул (1) и (2), определяли с использованием компьютерного твердотельного моделирования. В результате моделирования получены графики зависимости угловой скорости от времени, которые характеризуют небольшие колебания частоты вращения ведомого вала при проектировании многопериодных дорожек на основе уравнений смещенной окружности с числом периодов больше единицы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капитонов, А. В. Компьютерное 3D-моделирование конструкций и кинематических параметров планетарных малогабаритных передач / А. В. Капитонов, К. В. Сасковец, А. И. Касьянов // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. – 2016. – № 11. – С. 34–40.
2. Сасковец, К. В. Новые конструкции и методы оценки точности планетарных радиально-плунжерных передач / К. В. Сасковец, А. В. Капитонов, М. В. Лебедев // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2019. – № 1 (76). – С. 3–9.

УДК 621.9.047.7

ПОЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В УПРАВЛЯЕМЫХ ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМАХ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

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 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, переходная и устойчивая стадии ЭПО. 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.

В работе исследовалось влияние состава и температуры электролита на съем металла и качество обрабатываемой поверхности. Обрабатываемый образец с размерами $20 \times 5 \times 1$ мм (площадь обработки $2,45 \text{ см}^2$) изготавливался из нержавеющей стали 304. Напряжение источника питания составляло 250 В. Обработку выполняли в электролитах двух составов: водный раствор сульфата аммония с концентрацией 3 %, 4 % и 5 %; водный раствор сульфата аммония с концентрацией 4 % с добавлением лимонной кислоты 0,5 %, 1,0 % и 1,5 %. Температура электролитов составляла 60 °С и 80 °С. Временные параметры импульса: длительность импульса – 0,7 мс, длительность паузы – 0,3 мс. Время обработки образцов – 3 мин.

Установлено, что наименьшие значения шероховатости (Ra 0,045 и 0,050 мкм) при обработке в растворе сульфата аммония достигаются при его концентрации 5 % при температуре электролита 80 °С и 60 °С соответственно. В двухкомпонентном электролите (с добавлением лимонной кислоты) наименьшие значения шероховатости Ra 0,046 и 0,051 мкм достигаются при концентрации лимонной кислоты 0,5 % при температуре 60 °С и 80 °С соответственно (рис. 1). Снижение массы образца достигает максимального значения $6,6 \text{ мг} \cdot \text{мин} / \text{см}^2$ в электролите состава 3 % сульфата аммония при температуре 60 °С, минимальное значение $2,4 \text{ мг} \cdot \text{мин} / \text{см}^2$ – в электролите на осно-

ве 4 % сульфата аммония с добавлением 1,5 % лимонной кислоты при температуре 80 °С.

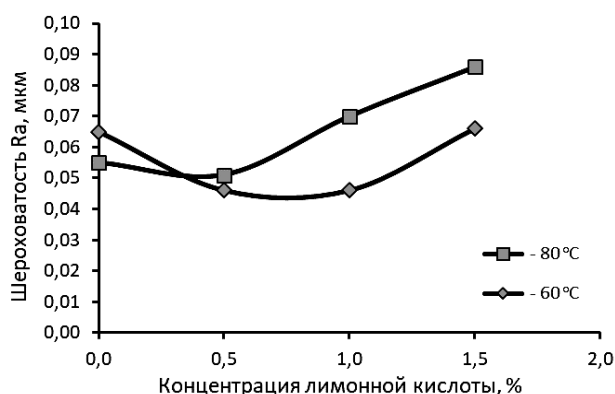


Рис. 1. Зависимость шероховатости Ra от концентрации добавки лимонной кислоты и температуры электролита

Для сопоставления результатов, полученных в импульсном режиме, с результатами, достигаемыми при традиционной ЭПО, выполнялась обработка образцов при постоянном напряжении 250 В в электролитах такого же состава (4 % сульфат аммония и 4 % сульфат аммония + 1 % лимонная кислота). Продолжительность обработки образцов составляла 3 мин. Измерялась шероховатость и масса образцов до и после обработки, затем по съему определялась производительность (рис. 2).

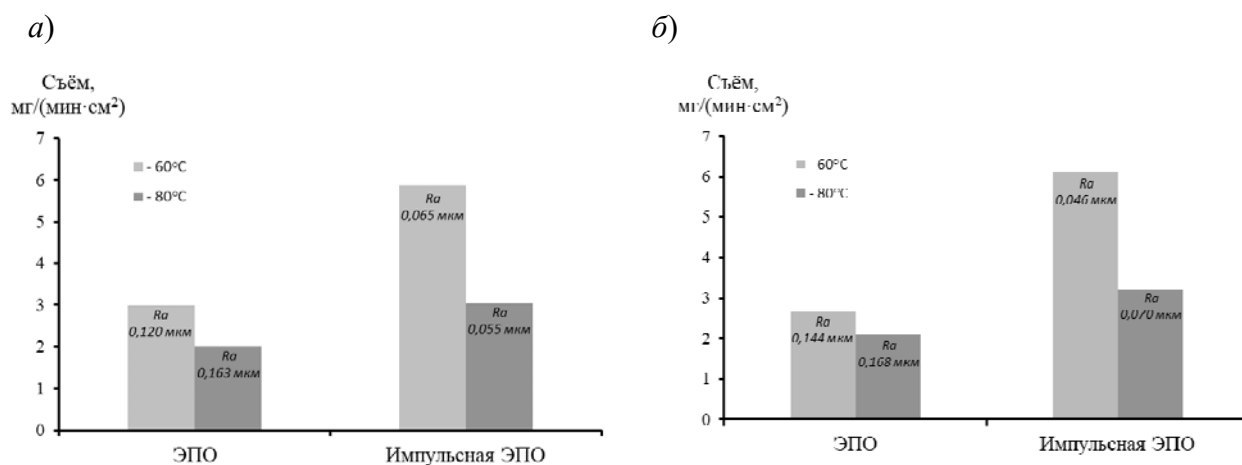


Рис. 2. Результаты сравнения производительности и качества поверхности при обработке в импульсном режиме и на постоянном токе: а — сульфат аммония; б — сульфат аммония с лимонной кислотой

По сравнению с обработкой на постоянном токе импульсный режим обеспечивает значительно большую производительность (выше в 1,5–2,3 раза), за счет чего происходит более качественное сглаживание поверхности. При обработке в электролите с добавлением лимонной кислоты в импульсном режиме в зависимости от температуры обеспечивается шероховатость Ra 0,046...0,070 мкм, а при обработке на постоянном токе Ra 0,144...0,168 мкм.

УДК 621.83.06

ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КОЛЕС ПЕРЕДАЧИ С ПЛОСКОКОНИЧЕСКИМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

А. Н. МОЙСЕЕНКО, А. М. ФЕДОРЕНКО, Ю. В. МАШИН, В. Л. КОМАР

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Зубчатые колеса с торцовыми зубьями являются основными элементами плоскоконического зацепления сферической роликовой передачи (СРП) с двухрядным сателлитом [1]. Целью исследований являлись анализ существующих и разработка новых методов изготовления центральных колес, контактирующих с двумя рядами роликов, установленных на сателлите передачи, а также поиск оптимального варианта с учетом возможности использования оборудования Белорусско-Российского университета.

Универсальным способом является получение колес с помощью аддитивных технологий. Данный вариант был реализован с помощью порошкового 3D-принтера по разработанной модели в системе NX (рис. 1, а).

а)



б)



Рис. 1. Центральное колесо СРП: а – модель, разработанная в NX; б – изготовленные образцы колес

Зубчатые колеса были изготовлены, согласно разработанным в NX моделям, с помощью порошкового 3D-принтера Shining Pro 250S производства KHP (рис. 1, б). Материал колес – нержавеющая сталь 316L (российский аналог – сталь 03Х17Н14М3), твердость поверхностей после спекания – 170...190 НВ. Недостатки метода: пониженная точность, вызванная в том числе усадкой материала при остывании, и недостаточная контактная прочность зубьев колеса. В связи со стремительным развитием аддитивных технологий данные недостатки могут быть устранены в перспективе, но на настоящий момент повышение качества обработки связано с необходимостью применения дорогостоящего

оборудования и материалов, что не всегда оправдано.

При применении металлообрабатывающего оборудования следует отдельно рассматривать изготовление профиля зубьев сферической фрезой с радиусом рабочей поверхности, не превышающем минимальные радиусы обрабатываемых поверхностей. Центр фрезы в процессе обработки перемещается по замкнутым траекториям, смещаясь от прохода к проходу в радиальном направлении. При данном методе обработки можно использовать фрезерные центры с ЧПУ с тремя координатами (x , y , z) для перемещения инструмента и заготовки (центр ТМ1 НААС в Белорусско-Российском университете). Недостатками метода являются малая производительность и волнистость поверхности, обусловленная расстоянием, на которое смещается фреза при завершении очередного прохода. Более перспективной является обработка поверхностей цилиндрическими фрезами, имитирующими роlikовое зацепление СРП. Диаметр фрезы при этом равен диаметру роликов. Для реализации этого метода необходимы станки с ЧПУ с четырех- и более координатной обработкой, например токарно-фрезерные обрабатывающие центры с наклонно-поворотными столами или (и) со шпинделями, имеющими возможность наклона (поворота). Данное оборудование имеет высокую стоимость и не всегда есть в наличии на машиностроительных предприятиях.

При единичном и мелкосерийном производстве экономически оправданной будет являться разработка специального приспособления, закрепляемого на столе фрезерного станка. Приспособление должно иметь отдельный привод, который обеспечивает сферическое движение заготовки, согласованное с движением подачи инструмента – цилиндрической фрезы. В конструкцию привода должны входить копир либо эксцентрик. При этом возможно изготовление колес на станке с трехкоординатной обработкой, однако возникает вопрос по точности перемещений, обеспечиваемых приспособлением.

Одним из вариантов изготовления колес методом копирования [2] является применение конических фрез. Данный метод предполагает профилирование инструмента для каждого колеса, что при небольших объемах выпуска и многовариантности проектируемых редукторов нецелесообразно.

Оптимальным вариантом на данном этапе выбрано изготовление профиля зубьев с помощью сварочного робота FANUC AM1001C/7L с установленным шпинделем для фрезерной обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Lustenkov, M. E.** Analysis of contact strength of spherical roller transmission with double-row pinion / M. E. Lustenkov, A. N. Moiseenko // IOP Conf. Series: International Conference on Mechanical Engineering and Modern Technologies (MEMT 2020). – 2021. – Vol. 1118 (2021) 012006. – P. 6.
2. **Лустенков, М. Е.** Расчет геометрии адаптированного профиля эллипсной шариковой передачи / М. Е. Лустенков // Технология машиностроения. – 2005. – № 5. – С. 36–38.

УДК 621.91.01

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКОННЫХ ВЕСОВЫХ ФУНКЦИЙ

В. М. ПАШКЕВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Построение интерполяционных полиномов по результатам экспериментальных исследований является одной из задач, наиболее часто встречающихся при описании технологических объектов. Выбор приближающих зависимостей чаще всего ограничивается применением различных вариантов полинома Лагранжа (полиномов Ньютона, Бесселя, Стирлинга и т. п.), т. к. вычисление первого является достаточно трудоемкой задачей. Упростить ее решение за счет обеспечения кусочно-линейного характера приближающей зависимости можно при использовании оконных весовых функций.

Набор данных в форме точек $y_i(x_i)$ может быть в этом случае аппроксимирован зависимостью, использующей взвешенную сумму в форме суперпозиций локально-ограниченных базисных функций:

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

где $w_i(x)$ – супергауссова весовая оконная функция; $f_i(x)$ – базисная функция.

Показано, что построение такой суперпозиции с использованием линейных базисных функций вида $f_i(x) = A_0 + A_1x$ может быть описано аналитическим уравнением

$$\begin{aligned} Y(x) &= \sum_{i=1}^{k-1} (A_0 + A_1x) \cdot e^{-\left(\frac{x-x_c}{2s}\right)^{2m}} = \\ &= \sum_{i=1}^k \left(y_i - \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} (x - x_i) \right) \cdot e^{-\left(\frac{2x - x_{i+1} - x_i}{x_{i+1} - x_i}\right)^{2m}}. \end{aligned} \quad (2)$$

УДК 621.9.042

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ УГЛОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ С ПРОФИЛЕМ TORX ОСЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

С. Г. ПОЛТОРАЦКИЙ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Углом резания при механической обработке называется угол между передней поверхностью инструмента и плоскостью резания.

При обработке отверстий с профилем TORX осевой инструмент вращается вокруг своей оси, перемещается по определенной траектории и углубляется вдоль оси инструмента на глубину резания. За один полный проход инструмента по траектории каждая режущая кромка инструмента формирует профиль необходимого отверстия. Так как в нашем инструменте две режущие кромки, то в каждой точке обрабатываемого отверстия режущая кромка проходит 2 раза (рис. 1).

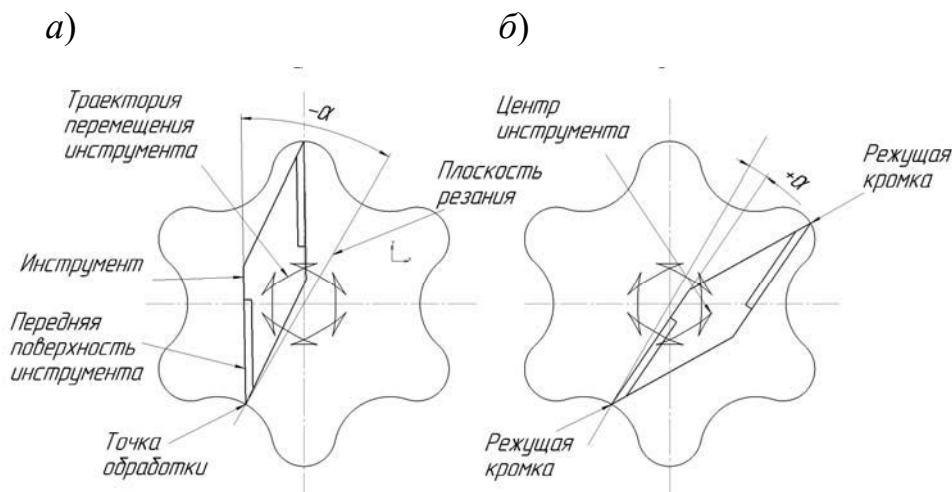


Рис. 1. Углы резания при обработке отверстий с профилем TORX

На рис. 1, а инструмент находится в первом положении и имеет отрицательный кинематический угол резания, что плохо влияет на обрабатываемое отверстие (возникает наклеп, большие контактные напряжения, что приводит к неровностям). На рис. 1, б инструмент находится во втором положении и уже имеет положительный угол. Это может быть проблемой при обработке, особенно при использовании нежесткого технологического оборудования, т. к. во время обработки будут возникать переменные нагрузки, вибрации, что плохо сказывается на процессе резания.

Одним из решений этой проблемы могут являться конструктивные изменения в инструменте, вызывающие снижение его прочности, либо предварительное сверление круглого отверстия диаметром, равным диаметру внутренней вписанной окружности фигуры TORX.

УДК 621.9.042

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ С ПРОФИЛЕМ TORX
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА

С. Г. ПОЛТОРАЦКИЙ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

TORX – вид углубления в головке резьбовых крепёжных изделий в форме шестилучевой звезды с закругленными лучами (рис.1). Официальное название в зарубежном варианте – hexalobular internal [1]; в российском варианте – углубление звездообразное под ключ для болтов и винтов [2].

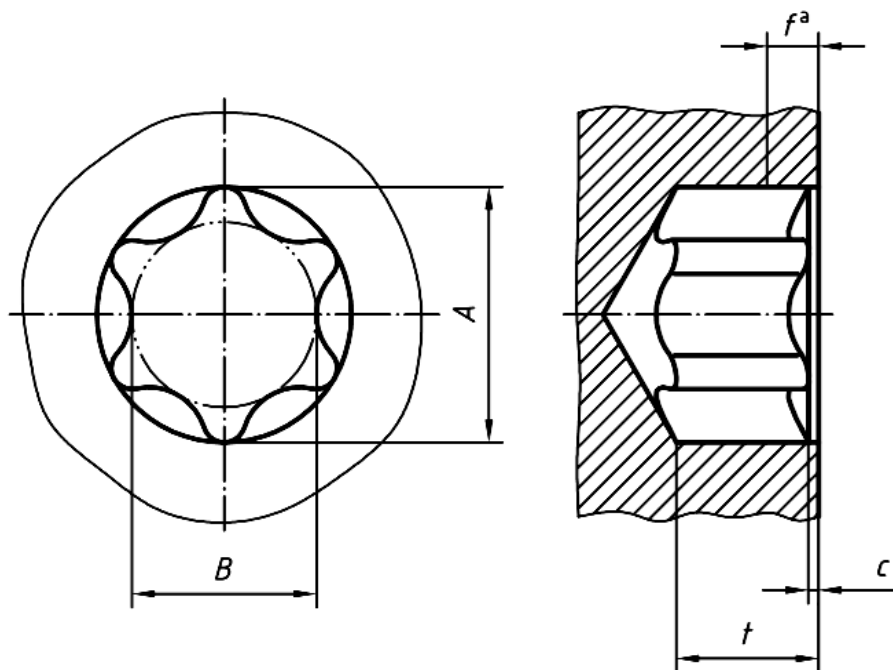


Рис. 1. Отверстие с профилем TORX

Такие отверстия получают фигурными прошивками на специализированном оборудовании. Недостатками этого метода являются необходимость предварительного получения в заготовке круглого отверстия и наличие дорогостоящего специализированного оборудования с возможностью совершения больших осевых усилий [3].

Теоретически можно предложить новый способ получения таких отверстий, формируемых осевым лезвийным инструментом, работающим по принципу обкатывания.

Главной особенностью такой обработки является то, что помимо вращения инструмента вокруг своей оси и продольного перемещения вдоль своей оси по направлению к обрабатываемой поверхности, центр инструмента перемещается по определенной траектории (рис. 2).

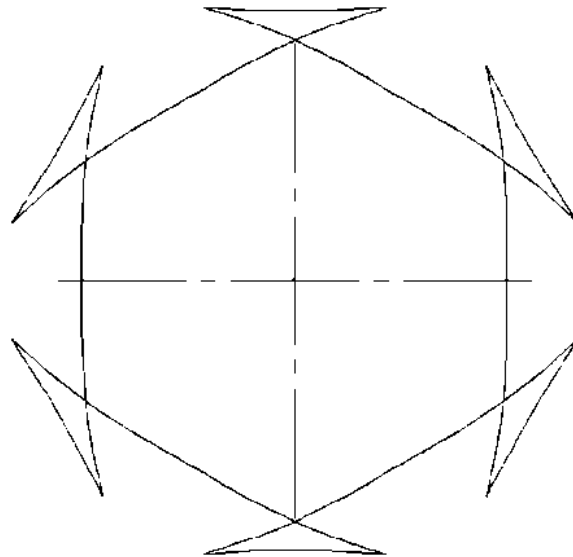


Рис. 2. Теоретическая траектория перемещения инструмента при обработке профиля

Инструмент для такой обработки будет иметь форму параллелограмма с двумя режущими кромками (рис. 3), смещенными относительно оси на величину Δ . Диаметр описанной окружности инструмента D и смещение Δ зависит от размеров обрабатываемого отверстия.

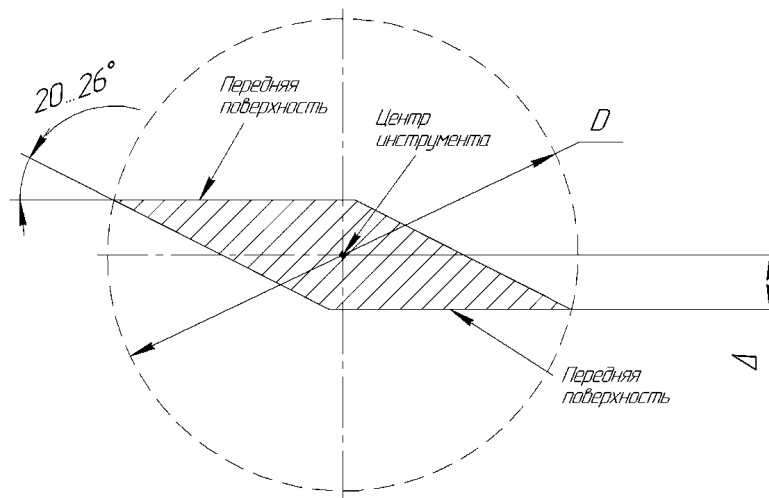


Рис. 3. Сечение теоретического осевого инструмента для обработки отверстий типа TORX

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hexalobular internal driving feature for bolts and screws [Electronic resource]. – Mode of access: https://willrich.com/wp-content/uploads/2017/11/ISO-10664_.pdf. – Date of access: 01.09.2021.
2. **ГОСТ Р ИСО 10664–2007.** Углубление звездообразное под ключ для болтов и винтов. – Москва: Изд-во стандартов, 2009.
3. **Полторацкий, С. Г.** Основные способы получения гранных отверстий в современном машиностроении / С. Г. Полторацкий, В. М. Шеменков // Менеджмент качества производственных, социально-экономических и технических систем: развитие и совершенствование: сб. науч. тр. – Брянск: БГТУ, 2022.

УДК 621.9

КОНСТРУКЦИЯ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО НАКАТНИКА ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Д. М. СВИРЕПА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В Белорусско-Российском университете разрабатывается метод для формирования антифрикционных покрытий, основанный на модифицировании поверхностного слоя деталей машин магнитно-динамическим накатыванием и химически активными компонентами. В работе представлена конструкция инструмента для реализации данного метода. Известна технология магнитно-динамического раскатывания [1], однако для решения новых задач конструкция раскатника требует существенной модернизации.

Представленная конструкция (рис. 1) оснащена магнитной системой разгона, состоящей из элементов 6–8, 15, приводных шаров 13, а также системой намагничивания поверхности обрабатываемой детали, состоящей из элементов 4, 5, 9, 10, 15, что позволяет обеспечить решение поставленных задач.

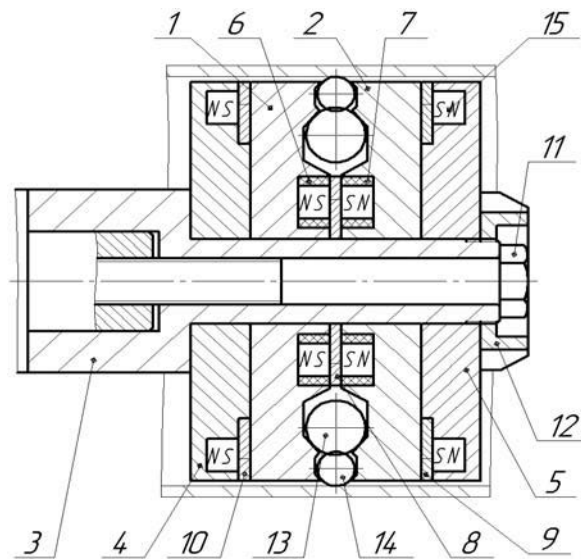


Рис. 1. Конструкция магнитно-динамического накатника для модифицирования поверхностного слоя деталей машин и формирования антифрикционных покрытий: 1, 2 – диски; 3 – оправка; 4, 5 – обоймы; 6, 7 – обоймы магнитной системы разгона; 8 – зубчатый магнитопровод магнитной системы разгона; 9, 10 – зубчатые магнитопроводы; 11 – винт; 12 – гайка; 13 – приводные шары; 14 – деформирующие шары; 15 – магниты

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Довгалец, А. М. Технология магнитно-динамического раскатывания и ее реализация в машиностроении / А. М. Довгалец, Д. М. Свирепа // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2014. – С. 10–15.

УДК 621.9

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КОМПЛЕКСНЫМ МАГНИТНО-СИЛОВЫМ И НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Д. М. СВИРЕПА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Для формирования модифицированного поверхностного слоя с высокими качественными и эксплуатационными характеристиками предложен перспективный метод комплексного воздействия магнитно-динамической обработки и тлеющего разряда на внутреннюю цилиндрическую поверхность деталей машин [1, 2].

При реализации метода комплексной обработки процесс магнитно-динамического раскатывания внутренних цилиндрических поверхностей деталей машин реализуется следующим образом: на поверхностный слой ферромагнитной детали предварительно воздействуют переменным магнитным полем, затем колеблющимися в радиальном, вращаемыми в окружном и перемещаемыми в осевом направлениях деформирующими шарами, после чего окончательно воздействуют переменным магнитным полем.

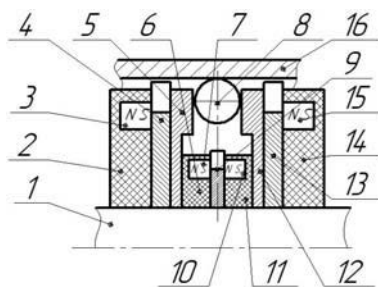


Рис. 1. Схема магнитно-динамического раскатывания при комплексной обработке: 1 – оправка; 2 – обойма; 3 – источник магнитного поля; 4 – зубчатый магнитопровод; 5, 12 – диски; 6, 11 – обоймы магнитной системы разгона; 9 – зубчатый магнитопровод магнитной системы разгона; 7, 10 – источники магнитного поля; 8 – деформирующие шары; 13 – зубчатый магнитопровод; 14 – обойма; 15 – источник магнитного поля; 16 – обрабатываемая заготовка

Элементы 2–4 обеспечивают предварительное воздействие переменным магнитным полем на обрабатываемую заготовку 16. Элементы 6, 7, 9–11 обеспечивают колебательное движение в радиальном направлении деформирующих шаров 8, свободно установленных в кольцевой камере, образованной дисками 5, 12. Элементы 13–15 обеспечивают окончательное воздействие переменным магнитным полем на обрабатываемую заготовку 16.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свирепа, Д. М. Актуальность комплексной обработки магнитно-динамическим раскатыванием и тлеющим разрядом / Д. М. Свирепа, В. М. Шеменков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 74.
2. Довгалев, А. М. Технология магнитно-динамического раскатывания и ее реализация в машиностроении / А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2014. – С. 10–15.

УДК 621.9

ФОРМИРОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКИМ НАКАТЫВАНИЕМ

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

В технологических системах непосредственное участие в работе принимают тонкие слои материала взаимодействующих деталей, образующих пару трения. В связи с этим целесообразно отказаться от изготовления деталей пар трения из дорогостоящих материалов, а заданные триботехнические свойства обеспечить технологическими методами на основе модификации их поверхностного слоя.

Традиционные методы модификации поверхностного слоя (механические, термические, химико-термические, ионная имплантация и др.) являются энергоемкими, реализуются на сложном технологическом оборудовании, не всегда обеспечивают необходимую износостойкость пар трения, характеризуются значительным временем воздействия, не предусматривают формирование на поверхности деталей благоприятного микрорельефа и имеют высокую себестоимость.

Перспективным направлением модификации поверхностного слоя ферромагнитных деталей является получение металлических покрытий методом совмещенного магнитно-динамического накатывания (СМДН) в активной технологической среде. При реализации метода на поверхностный слой ферромагнитной детали одновременно воздействуют вращающимся переменным магнитным полем и колеблющимися деформирующими шарами. При этом динамическое поверхностное пластическое деформирование детали осуществляется в активной технологической среде [1, 2].

Для повышения эффективности формирования металлических покрытий на поверхности ферромагнитных деталей предложено СМДН осуществлять двухрядным комбинированным инструментом, содержащим деформирующие и приводные шары. Разработанный комбинированный инструмент позволяет существенно увеличить характеристики действующего на поверхность ферромагнитной детали вращающегося магнитного поля, частоту взаимодействия приводных и деформирующих шаров, динамические параметры деформирующих шаров. Вследствие этого интенсифицируется процесс формирования на поверхности ферромагнитной детали металлического покрытия, повышаются качественные характеристики и эксплуатационные свойства упрочненного слоя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелег, В. К. Получение на поверхности ферромагнитных деталей антифрикционных твердосмазочных покрытий совмещенным магнитно-динамическим накатыванием / В. К. Шелег, А. М. Довгалева // Актуальные вопросы машиностроения. – 2021. – № 10. – С. 231–237.
2. 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. Свирица, С. А. Сухоцкий. – Опубл. 30.10.2018.

УДК 621.787

СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО НАКАТЫВАНИЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

С. А. СУХОЦКИЙ, И. В. ТРУСОВ, А. А. ПАНЬКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Магнитно-динамическое накатывание плоских поверхностей деталей машин обеспечивает снижение ее исходной шероховатости, увеличение маслостойкости, микротвердости и, в конечном итоге, повышает эксплуатационные характеристики. Накатывание осуществляется специальными инструментами, использующими энергию магнитного поля для обеспечения взаимодействия шаров-ударников с упрочняемой поверхностью.

Долговечность инструмента для поверхностного пластического деформирования в первую очередь определяется стойкостью его деформирующих шаров, роликов и других индентеров, непосредственно взаимодействующих с обрабатываемой поверхностью.

Износ деформирующих шаров при магнитно-динамическом упрочнении происходит из-за их трения в местах контакта с корпусом инструмента и поверхностью обрабатываемой детали, а также вследствие силовых нагрузок, появляющихся при взаимодействии с приводными шарами.

Увеличение шероховатости сферической поверхности деформирующих шаров является характерным параметром их износа. Износ деформирующих шаров приводит к росту шероховатости контактируемой с ними обрабатываемой поверхности детали.

Таким образом, для своевременной замены износившихся деформирующих элементов и обеспечения высоких качественных характеристик обработанной детали, необходимо иметь теоретические или экспериментальные данные о стойкости применяемых при магнитно-динамическом накатывании деформирующих шаров.

Критерием износа деформирующих шаров принимают максимально-допустимое увеличение шероховатости их сферической поверхности, при которой обеспечивается шероховатость упрочняемой поверхности заготовок в пределах рассматриваемого класса шероховатости [1].

Экспериментальные исследования показали, что существенное влияние на стойкость деформирующих шаров оказывает твердость упрочняемого материала. При обработке стали 45 твердостью 200...220 НВ период стойкости шаров составил 13,6 ч, а стали твердостью 41...44 HRC – 11,2 ч.

При достижении предельно допустимой шероховатости сферической поверхности деформирующие шары инструмента подлежат замене или восстановлению известными методами снижения шероховатости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Папшев, Д. Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием / Д. Д. Папшев. – Москва : Машиностроение, 1978. – 152 с.

УДК 621.787

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, УПРОЧНЕННЫХ ИМПУЛЬСНО-УДАРНЫМ НАКАТЫВАНИЕМ

И. А. ТАРАДЕЙКО, М. В. ТАРАДЕЙКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Шероховатость обработанной поверхности является одной из важнейших характеристик, определяющих качественные и эксплуатационные свойства деталей машин. В связи с этим в работе выполнено исследование влияния режимов процесса импульсно-ударного накатывания на шероховатость поверхности. Упрочняющую обработку осуществляли двухрядным инструментом для импульсно-ударного деформирования [1].

Измерение шероховатости поверхности, упрочненной импульсно-ударным накатыванием, производили на профилометре-профилографе модели Surfa-se SJ-210 (Япония). Величина шероховатости упрочненной поверхности определялась как средняя из пяти измерений профилометра-профилографа.

Упрочняющую обработку осуществляли на токарно-винторезном станке модели 16Д25. Материал упрочняемой детали – сталь 45 (180...200 НВ); диаметр обрабатываемой детали – 60 мм; длина обработки – 20 мм; исходная шероховатость поверхности после точения составляла по параметру Ra 3,2...3,0 мкм.

Параметры упрочняющего устройства: диаметр шаров внешней кольцевой камеры – $\varnothing 22$ мм; диаметр шаров внутренней кольцевой камеры – $\varnothing 12$ мм; материал шаров ШХ 15 (62...65 HRC); количество шаров внутренней кольцевой камеры – 14 шт.; материал цилиндрических постоянных магнитов – Nd Fe B; размеры цилиндрических постоянных магнитов ($D \times l$) – 15×10 мм; индукция магнитного поля намагниченной поверхности детали – 0,20...0,25 Тл.

Режим накатывания: частота вращения детали – 500...1250 мин⁻¹; осевая подача упрочняющего устройства – 0,05...0,48 мм/об; количество рабочих ходов инструмента – один; смазочно-охлаждающая жидкость – масло индустриальное 45.

Результаты исследований представлены на рис. 1–3.

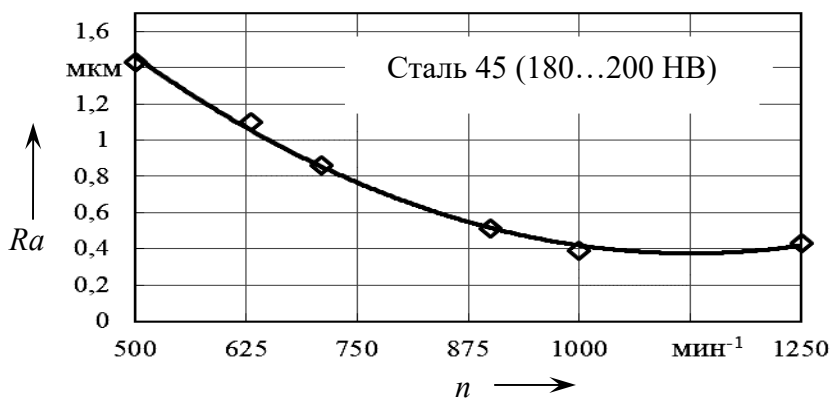


Рис. 1. График зависимости шероховатости упрочненной поверхности от скорости вращения детали ($S = 0,10$ мм/об; $d_1 = 12$ мм; $d_2 = 22$ мм; $Ra = 3,2...3,0$ мкм)

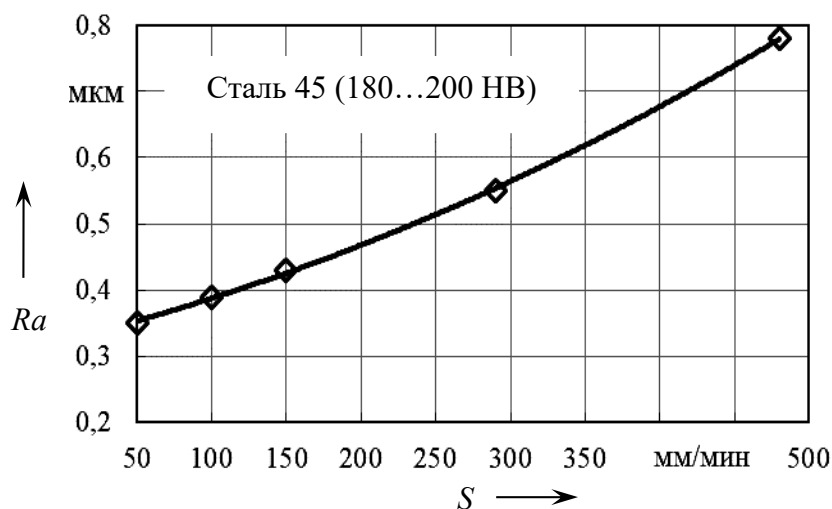


Рис. 2. График зависимости шероховатости упрочненной поверхности от подачи инструмента ($n = 1000 \text{ мин}^{-1}$; $d_1 = 12 \text{ мм}$; $d_2 = 22 \text{ мм}$; $Ra = 3,2 \dots 3,0 \text{ мкм}$)

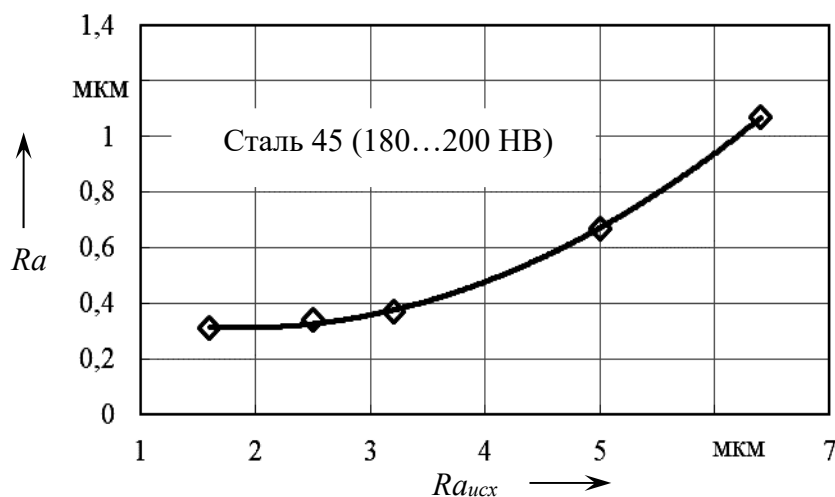


Рис. 3. График зависимости шероховатости упрочненной поверхности детали от исходной шероховатости ($v = 188,4 \text{ м/мин}$; $S = 0,10 \text{ мм/об}$; $d_1 = 12 \text{ мм}$; $d_2 = 22 \text{ мм}$)

В ходе исследований выявлены рациональные значения режимов импульсно-ударного накатывания поверхности при упрочнении валов из стали 45 (180...200 HB): $v = 188,4 \text{ м/мин}$; $S = 0,05 \text{ мм/об}$. Анализ результатов исследования показал, что обработка импульсно-ударным накатыванием обеспечивает снижение шероховатости поверхности валов из стали 45 (180...200 HB) в 5,2–5,9 раза (с 1,6...6,3 до 0,31...1,07 мкм).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарадейко, М. В. Двухрядный инструмент для импульсно-ударного деформирования / М. В. Тарадейко, И. А. Тарадейко // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 62.

УДК 621.787

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ИМПУЛЬСНО-УДАРНОГО НАКАТЫВАНИЯ

М. В. ТАРАДЕЙКО, И. А. ТАРАДЕЙКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Актуальной задачей машиностроения является разработка и исследование новых методов поверхностного упрочнения.

Хорошо зарекомендовали себя методы отделочно-упрочняющей обработки, основанные на поверхностном пластическом деформировании. Указанные методы позволяют повысить качественные и эксплуатационные характеристики упрочненных поверхностей и исключить из технологического процесса финишные абразивные операции.

Перспективными являются методы поверхностного пластического деформирования, основанные на комплексном влиянии на упрочняемый слой двух и более различных видов энергии.

Импульсно-ударное накатывание поверхностей деталей машин вследствие совмещенного магнитно-импульсно-ударного воздействия на зону деформирования позволяет интенсивно снижать исходную шероховатость поверхности, получить поверхностный слой с новыми физико-механическими свойствами, сформировать на поверхности детали маслосъемный рельеф в виде сетки микролунок, повысить износостойкость поверхностей более чем в 2 раза.

Авторами предложен способ импульсно-ударной обработки, обеспечивающий высокие колебательные характеристики деформирующих шаров [1].

В ходе исследования способа импульсно-ударного накатывания предложена математическая модель, описывающая движение деформирующего шара в кольцевой камере инструмента, отличающаяся учетом силы магнитного притяжения деформирующих шаров к намагниченной поверхности вала и зубьям зубчатого магнитопровода; получены системы дифференциальных уравнений, позволяющие определить скорости деформирующего шара в момент его взаимодействия с отражателями и обрабатываемой поверхностью вала; описана теория ударного взаимодействия деформирующего шара инструмента в моменты его удара об отражатели и по упрочняемой поверхности детали.

Полученные аналитические зависимости позволят разработать эффективные конструкции инструментов для импульсно-ударной обработки и прогнозировать параметры качества поверхностного слоя детали от режимов накатывания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарадейко, М. В. Двухрядный инструмент для импульсно-ударного деформирования / М. В. Тарадейко, И. А. Тарадейко // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 62.

УДК 621.9

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ И МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКИМ РАСКАТЫВАНИЕМ

И. В. ТРУСОВ, А. С. КРУЧИНИНА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Известен процесс совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим раскатыванием. Интерес вызывает моделирование данного процесса с целью выявления оптимальных характеристик [1].

Математическая модель процесса совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим раскатыванием описывает движение деформирующего шара 4, свободно расположенного в кольцевой камере между дисками 5 от поверхности магнитной системы 2, с радиально установленными постоянными цилиндрическими магнитами 3 до поверхности детали 6 в системе OXY . В свою очередь, расточной резец 7, установленный в расточную головку воздействует на обрабатываемую поверхность детали 6 с результирующей силой R , при этом исходя из расчета сил закрепления, приложенных в центре масс фрезерной оправки 1 на $1/3$ расстояния l , вызывает интерес для исследования изгибающий момент $M_{изг}$ и его влияние на погрешность формы и шероховатость обработанной поверхности. Схема моделирования процесса совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим раскатыванием представлена на рис. 1.

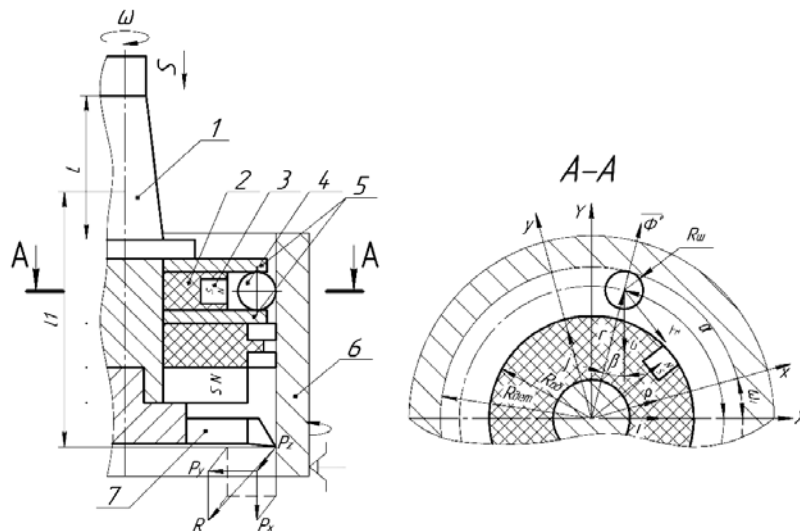


Рис. 1. Схема процесса совмещенной обработки резанием и магнитно-динамического раскатывания: 1 — фрезерная оправка; 2 — магнитная система; 3 — постоянный цилиндрический магнит; 4 — деформирующий шар; 5 — диски; 6 — обрабатываемая деталь; 7 — расточной резец

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Довгалец, А. М. Математическое моделирование процесса магнитно-динамического раскатывания / А. М. Довгалец, И. И. Маковецкий, Д. М. Свирепа // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. Сер. Машиностроение. — 2010. — № 4 (64). — С. 26–30.

УДК 621.9.06

КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

А. М. ФЕДОРЕНКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Основным преимуществом построения технологических процессов обработки с использованием станков с ЧПУ является возможность их работы без участия оператора в течение продолжительного времени. Такая бесконтрольная работа в случае внезапной поломки или износа инструмента может привести к существенным потерям как рабочего времени, так и к финансовым потерям, связанным с получением бракованных изделий вследствие несвоевременного обнаружения аварийной ситуации. В связи с этим задача автоматического наблюдения за ходом технологического процесса является актуальной.

Автором разработаны принципы контроля за ходом технологического процесса на основе использования непрерывного акустического мониторинга. Как правило, любое изменение расчетных режимов работы технологического оборудования сопровождается изменением акустического рисунка выполняемой операции, что позволит своевременно выявлять аварийные ситуации, а также упреждать их появление.

Стойки современных станков с ЧПУ оснащены корректорами подач и скоростей, с помощью которых оператор может изменять в довольно широком диапазоне скорость резания и подачу при обработке. Используя данные корректоры, автором предложено также выполнять управляющие воздействия при выявлении соответствующего акустического рисунка на ход технологического процесса. Своевременная корректировка подачи и скорости резания позволит ликвидировать рассогласования расчетных режимов с текущей ситуацией обработки, что положительно скажется как на качестве обработки, так и на стойкости режущего инструмента.

Разрабатываемое устройство акустического мониторинга должно содержать следующие основные функциональные узлы:

- акустический и вибропреобразователи;
- процессорный модуль, задачей которого является распознавание текущей ситуации путем сравнения с характерными акустическими картинками, возникающими в различных аварийных и иных ситуациях;
- обучаемый модуль, содержащий в себе картину обработки текущей заготовки при удовлетворительных условиях и результатах;
- исполнительный модуль, задачей которого является принятие решения об аварийности ситуации или необходимости корректировки.

Разрабатываемое устройство позволит решить важную задачу по автоматическому контролю процессов механической обработки, исключению (предупреждению) аварийных ситуаций и отвечает в полной мере задачам цифровизации производства.

УДК 621.735.34

ВЫБОР МАССЫ ЗАГОТОВОК В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ КОЛЬЦЕРАСКАТНОМ КОМПЛЕКСЕ

В. В. ЯВОРСКИЙ¹, О. М. ЕЛОВОЙ², А. В. БУДЗИНСКАЯ²

¹ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ»

Жодино, Беларусь

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Производство бесшовных колец диаметром до 3000 мм автоматизированным кольцераскатным комплексом запланировано на ОАО «Завод ПАК» в Орше [1]. В мировой практике кольцераскатки отсутствуют аналоги планируемого автоматизированного кольцераскатного комплекса, совмещенного с участком термической обработки кольцевых заготовок.

Существуют принципиальные отличия формирования кольца способом кузнечного производства и способом кольцераскатки. При кузнечной обработке происходит контакт заготовки с инструментом по всей поверхности заготовки. При кольцераскатке формирование кольцевого изделия происходит только в локальной зоне контакта с радиальными и осевыми инструментами. Еще одно отличие – при кузнечной обработке тел вращения лишнюю массу заготовки перемещают в заранее предусмотренный облой [2], а при кольцераскатке всю массу (весь объем материала) перераспределяют в окончательную кольцевую заготовку. Излишки массы уйдут в высоту и толщину детали. В процессе изготовления кольцевой заготовки происходит непрерывное изменение геометрических размеров и массы кольца. Поэтому к моменту кольцераскатки масса заготовки может отличаться от расчетной до 0,5 %.

Расчет максимальной, номинальной и минимальной массы проведен на примере кольцевой заготовки 7519-2405496-02 (рис. 1) с параметрами, указанными в табл. 1.

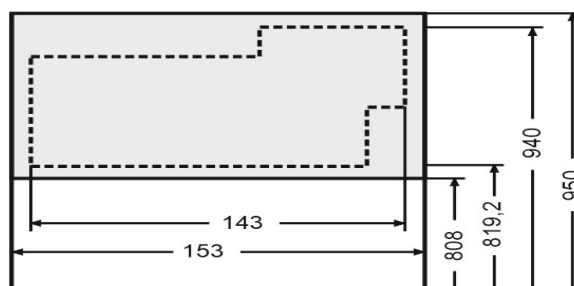


Рис. 1. Эскиз кольцевой заготовки 7519-2405496-02 с контуром окончательной детали

Расчетные массы окончательной кольцевой заготовки в пределах заданных допусков качества IT16 отличаются от номинальной массы заготовки до 17 кг.

Возникает вопрос, какова может быть точность заготовки по трем геометрическим параметрам кольца при неизменной массе кольца 235,5 кг.

Табл. 1. Расчетные массы при допустимых размерах окончательной кольцевой заготовки по степени точности IT16

Геометрические параметры окончательной кольцевой заготовки, мм			Масса окончательной кольцевой заготовки, кг	Примечание
Внешний диаметр D	Внутренний диаметр d	Высота h		
$950 \pm 4,5$	$808 \pm 4,5$	$153 \pm 1,25$	235,5	Номинальная масса
$D_{\min}: 945,5$	$d_{\max}: 812,5$	$h_{\min}: 151,75$	218,8	Минимальная масса в пределах допусков
$D_{\max}: 954,5$	$d_{\min}: 803,5$	$h_{\max}: 154,25$	252,5	Максимальная масса в пределах допусков

В табл. 2 приведен вариант расчета требуемой точности изготовления кольца по наружному и внутреннему диаметру при допуске на высоту кольца по качеству IT16 с номинальной массой 235,5 кг.

Табл. 2. Расчетные массы при допустимых размерах окончательной кольцевой заготовки

Вариант распределения допусков при использовании номинальной массы	Наружный диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Высота, мм	Расчетная масса, кг
Номинальный размер	$D_{ном}$	$d_{ном}$	$h_{ном}$	Номинальная масса 235,5
	950	808	153	
Минимальный размер	$D_{\min}$	$d_{\min}$	$153 \pm 1,25$	235,5
	945,5	803,5	154,25 (в допуске)	
Максимальный размер	$D_{\max}$	$d_{\max}$	$153 \pm 1,25$	235,5
	954,5	812,5	152,3 (в допуске)	

Выводы

1. Достижение точности по качеству IT16 на все три геометрических параметра кольца при номинальной массе невозможно.

2. При номинальной массе возможно достижение точности по качеству IT16 на наружный и внутренний диаметр кольца только на половину допуска по качеству IT16 при достижении допуска по качеству IT16 на высоту кольца.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 18970–84. Обработка металлов давлением. Операцииковки и штамповки. Термины и определения. – Введ. 01.07.85. – Москва: Изд-во стандартов, 1985. – 52 с.
- ОАО «БЕЛАЗ» построит современный комплекс кольцераскатки в Орше. – Режим доступа: <https://www.belta.by/economics/view/belaz-postroit-sovremennyj-koltseraskatnyj-kompleks-v-orshe-434867-2021/>. – Дата доступа: 19.01.2022.

УДК 621.878.6

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ МОДЕЛИ РУКИ-МАНИПУЛЯТОРА

О. В. БЛАГОДАРНАЯ, И. А. БОРОДИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В связи с широким распространением в современной промышленности универсальных манипуляторов для гибких производств робототехнических комплексов возникает необходимость разработки механизированной человеческой руки, которая позволяет расширить функциональные возможности, увеличить точность рабочих операций и снизить себестоимость конечной продукции.

Разработка оригинальных методов и механизмов, позволяющих гибко управлять работой всех суставов руки и пальцев кисти с помощью минимального количества приводов, необходима для обеспечения полного сходства живых и искусственных конечностей по внешнему виду, размерам и массе, а также для максимального облегчения конструкции.

Для обеспечения быстроты и плавности перемещений искусственных конечностей необходимо построение систем управления движением искусственной рукой. Основным условием является независимое движение пальцев. Определение координат шарниров механической руки в зависимости от углов сгиба фаланг даст возможность составить траекторию движения.

Получены следующие зависимости для определения координат шарниров механической руки:

$$\begin{cases} x_1 = \cos(\pi - \alpha) \cdot b, \\ y_1 = \sin(\pi - \alpha) \cdot b; \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_2 = x_1 + \cos(2\pi - \alpha - \gamma) \cdot c, \\ y_2 = y_1 + \sin(2\pi - \alpha - \gamma) \cdot c; \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_3 = x_2 + \cos(3\pi - \alpha - \gamma - \beta) \cdot d, \\ y_3 = y_2 + \sin(3\pi - \alpha - \gamma - \beta) \cdot d, \end{cases}$$

где x, y – координаты шарниров; α, γ, β – углы наклона фаланг; b, c, d – длины фаланг.

Разработанная математическая модель позволит определить размеры фаланг руки и величину охватываемой поверхности в зависимости от требуемых кинематических параметров и в дальнейшем написать программное обеспечение для проектирования руки-манипулятора с различными массогабаритными параметрами.

УДК 621.878.6

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОГО ПОЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

О. В. БЛАГОДАРНАЯ, О. А. ПОНОМАРЕВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Технологическое обеспечение качества поверхности изделий с нетехническим профилем наиболее эффективно достигается при применении метода магнитно-абразивной обработки (МАО).

Преимуществами МАО является совмещение в одном процессе нескольких технологических операций; возможность одновременной обработки нескольких деталей; достижение минимальной шероховатости поверхности детали; повышение износостойкости за счет увеличения микротвердости поверхности; снижение себестоимости изготовления изделий.

При МАО скорость обрабатываемой детали равна 0,9...2,5 м/с, магнитная индукция – 0,9...2,1 Тл. При таких режимах обработки шероховатость поверхности за небольшой период времени (60...90 с) снижается как минимум в 10 раз.

Результаты экспериментальных исследований показали, что за 2 мин обработки деталей, имеющих исходную шероховатость $Ra = 1,6...0,63$ мкм, создается поверхность с шероховатостью $Ra = 0,04...0,02$ мкм; увеличивается микротвердость и износостойкость в 1,5–2 раза; упрочняется поверхностный слой; снижаются остаточные напряжения.

При правильном выборе оптимальных параметров режимов обработки (магнитной индукции, скорости обрабатываемой детали, амплитуды осцилляции) и соблюдении требований к абразивному материалу (составу абразивного материала, состоянию, концентрации) МАО дает возможность получить поверхность с минимальными погрешностями формы и высокими характеристиками качества поверхностного слоя.

Применение МАО обеспечивает более высокие характеристики по сравнению с исходными по шероховатости и незначительные отклонения по исходной геометрии поверхности.

Эластичный слой порошка под воздействием магнитного поля формируется у поверхности обрабатываемой детали, копируя ее профиль. Это дает возможность обрабатывать различные сложнопрофильные поверхности.

Целесообразность применения метода магнитно-абразивной обработки для деталей любой геометрической формы из магнитных и немагнитных материалов доказана на основе анализа особенностей данного метода.

УДК 621.833.68

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ЗУБЧАТОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЛАВНОРЕГУЛИРУЕМОЙ ПЕРЕДАЧИ

А. М. ДАНЬКОВ¹, Ю. В. ГОНЧАРОВ²

¹Белорусско-Российский университет

²Могилевский институт МВД Республики Беларусь
Могилев, Беларусь

Существуют две основные модификации зубчатой планетарной плавнорегулируемой передачи, включающей двухпоточные сателлит и центральное зубчатое колесо, отличающиеся, казалось бы, такой несущественной особенностью, как взаимное расположение зубчатых венцов сателлита (соосное или оппозитное), но обеспечивающей настолько существенную разницу конструктивных особенностей и свойств этих модификаций, что создаются объективные предпосылки отдавать, при определенных условиях, предпочтение той или другой. При этом предполагается, что конструкция обеих модификаций удовлетворяет трем известным условиям существования плавнорегулируемой зубчатой передачи.

Конструктивная схема модификации передачи с соосными зубчатыми венцами сателлита предполагает синхронное (но автономное!) радиальное перемещение совершающего планетарное движение сателлита и секторов неподвижного центрального зубчатого колеса (инверсия функций сателлита и колеса не исключается, но труднореализуема), осуществляемое специальным механизмом управления, способным сообщать управляющее перемещение вращающемуся сателлиту. При этом может быть реализована динамическая балансировка сателлита, но только с помощью перемещающихся противовесов. Неизбежная кинематическая погрешность передачи нивелируется за счет упругой связи зубчатых венцов сателлита друг с другом с помощью упругих элементов, в качестве которых могут быть использованы торсионы или тарельчатые пружины. Следует отметить, что торсионы значительно увеличивают осевые размеры узла сателлита. Выходным элементом в такой передаче является сателлит, но для передачи его вращения выходному валу механизм w , в отличие от классической передачи К-Н-V, неприменим, а его функцию выполняет вспомогательная планетарная передача. Применение такого конструктивного усложнения дополнительно оправдывается его способностью выполнять пусть и менее важные, но все же значительные функции: увеличивать передаточное отношение передачи за счет собственной преобразующей способности и устранять консольное расположение сателлита.

В модификации передачи с оппозитными зубчатыми венцами сателлита ведущим является вал с двумя оппозитными эксцентриками, на которых посредством использования промежуточных эксцентриковых втулок установлены зубчатые венцы сателлита. При зафиксированных от вращения вокруг собственных осей зубчатых венцах сателлита ведомым звеном будет центральное зубчатое колесо, жестко связанное с выходным валом, что позволит избежать

в конструкции передачи каких-либо механизмов съема вращения с ведомого элемента. Эксцентрики ведущего вала и поворотные эксцентриковые втулки, а также механизм радиального перемещения секторов центрального зубчатого колеса образуют механизм регулирования передаточного отношения передачи, обеспечивающий синхронные перемещения зубчатых венцов и секторов и имеющий более компактную конструкцию по сравнению с аналогичным механизмом вышеописанной модификации передачи. В модификации передачи с оппозитными зубчатыми венцами сателлита упругие элементы механизма компенсации кинематической погрешности целесообразно перенести с сателлита на центральное зубчатое колесо. Последнее в этом случае целесообразно выполнить с нечетным числом секторов, снабдив каждый двумя неполными зубчатыми венцами, имеющими возможность независимых упругих перемещений в окружном направлении. Проблема фиксации зубчатых венцов сателлита может быть решена следующим образом. Можно соединить зубчатые венцы между собой муфтой Ольдгейма, но в этом случае отсутствует гарантия, что при передаточных отношениях, близких к максимальному, момент сил трения в муфте будет превышать рабочий крутящий момент на зубчатых венцах. Как выход из этой ситуации, можно не только предложить, но и реализовать фиксацию одного из зубчатых венцов относительно корпуса передачи с помощью муфты Ольдгейма весьма специфичной конструкции, что, несомненно, значительно снизит потребительскую ценность передачи.

Более приемлемое решение проблемы противоповоротного устройства для планетарной плавнорегулируемой передачи может быть сформировано на основе схемы планетарной передачи с двумя внутренними зацеплениями, приведенной в [1, рис. 3.110]. В соответствии со схемой-прототипом одно из центральных зубчатых колес выполняется неподвижным и составным (с радиально перемещающимися секторами), а сопряженный с ним сателлит – с соответственно изменяющимся вылетом.

В обеих модификациях может быть использовано силовое замыкание сателлита и центрального зубчатого колеса, каждый из которых в зависимости от выбранной конструктивной схемы может быть как активным (совершать управляющее движение), так и пассивным (совершать вынужденное движение под воздействием активного). Силовое замыкание позволяет упростить конструкцию механизма регулирования передаточного отношения передачи. Одновременное применение силового замыкания и эвольвентного зацепления неэффективно из-за реализации при этом двухпрофильного контакта зубьев. Как показывают предварительные исследования, наиболее эффективно при силовом замыкании циклоидально-цевочное зацепление или зацепление Гребенюка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кожевников, С. Н.** Справочник / С. Н. Кожевников, Я. И. Есипенко, Я. М. Раскин; под ред. С. Н. Кожевникова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1976. – 784 с.: ил.

УДК 621

БАЛКИ РАВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. А. КАТЬКАЛО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Изготовление балок равного сопротивления позволяет уменьшить вес конструкции до 30 % при сохранении прочности конструкции. Однако изготовление таких балок до недавнего времени было сложно в технологическом отношении, поэтому применение их ограничено. Значительно облегчить этот процесс позволяют современные аддитивные технологии, применение которых дает возможность изготовить балки поперечного сечения любой конфигурации.

Балка равного сопротивления должна иметь момент сопротивления поперечного сечения

$$W_x(z) = \frac{M_x(z)}{[\sigma]},$$

где W_x – момент сопротивления поперечного сечения балки; $M_x(z)$ – аналитическое выражение изгибающего момента, действующего на балку; $[\sigma]$ – допускаемое сопротивление на изгиб для материала балки.

Рассматриваем консольную балку квадратного поперечного сечения высотой H равномерно загруженной распределенной нагрузкой g , приведенную на рис. 1.

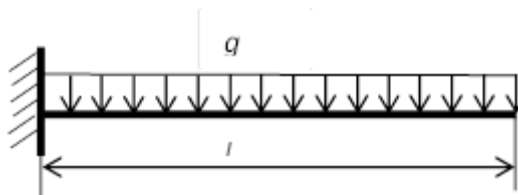


Рис. 1. Схема балки

Высота балки в этом случае описывается выражением

$$h(z) = \sqrt[3]{6 \cdot W_x(z)} = \sqrt[3]{6 \cdot \frac{M_x(z)}{[\sigma]}} = \sqrt[3]{3 \cdot g \cdot \frac{z^2}{[\sigma]}}.$$

Форма поперечного сечения при постоянной ширине изображена на рис. 2. Балка в этом случае будет иметь сверху и снизу или снизу криволинейные поверхности, что не всегда удобно для всей конструкции.

Такое сечение не всегда приемлемое для конструкции, но можно изготовить балку прямоугольного внешнего сечения, сохранив равное сопротивление за счет пустоты внутри (рис. 3).

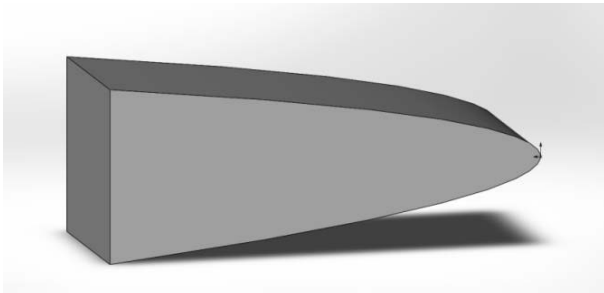


Рис. 2. Балка равного сопротивления

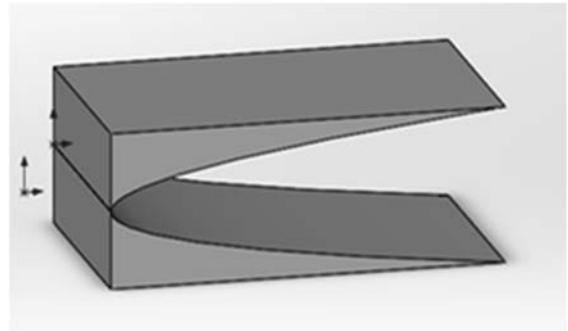


Рис. 3. Балка равного сопротивления с плоскими гранями

Однако в сечении два прямоугольника будут работать независимо. Их следует соединить. Пространство между ними можно соединить стойкой. В результате образуется конструкция, напоминающая двутавр с изменяющейся толщиной полки (рис. 4).

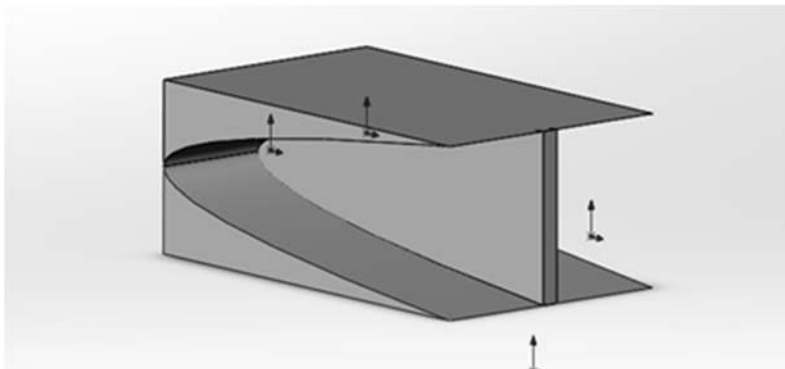


Рис. 4. Двутавр с переменной высотой полки

Внутренняя поверхность полок описывается выражением

$$h(z) = \sqrt[3]{6 \cdot W_x(z)} = \sqrt[3]{6 \cdot \frac{M_x(z)}{[\sigma]}} = \sqrt[3]{3 \cdot g \cdot \frac{z^2}{[\sigma]}}$$

и зависит от вида загрузки балки.

Изготовление такой конструкции в современных условиях несложно. Например, в SolidWorks можно создать модель и распечатать на 3D-принтере.

К особенностям балок равного сопротивления изгибу следует отнести способность смягчить действие динамической нагрузки.

Свойство (с постоянной высотой) деформироваться значительно больше балок постоянного сечения (при тех же нагрузках и допускаемых напряжениях) используется в случаях, когда это необходимо.

УДК 621.926

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЛОЕНИЯ И НАЛИПАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ НА ЛЕНТОЧНОМ КОНВЕЙЕРЕ

В. Л. КОМАР

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

С целью исследования процесса протекания расслоения и налипания строительных материалов на конвейерной ленте предложена конструкция испытательного стенда.

При разработке стенда был использован принцип обращенного движения, заключающийся в том, что конвейерная лента с расположенным на ней грузом была неподвижной, а роликоопоры, прикрепленные к подвижной ленте, движутся под неподвижной лентой. Натяжение в неподвижной конвейерной ленте создается натяжным устройством и регистрируется динамометром растяжения. Барабан конвейера приводится в движение от электродвигателя через редуктор. Изменение скорости движения конвейерной ленты регулируется сменной открытой передачей с различными передаточными отношениями. Для исключения поперечных колебаний подвижной конвейерной ленты установлены направляющие.

Исследование процесса перераспределения фракций проводится на стенде с помощью разметочной сетки с размерами ячейки 30×30 мм, которая устанавливается над исследуемым транспортируемым материалом. Процесс расслоения регистрируется по изменению фракционного состава на свободной поверхности материала с помощью фотоаппарата, который устанавливается над сеткой и исследуемым материалом.

Исследования проводились при следующих пределах изменения конструктивных и режимных параметров стенда:

- скорость транспортирования – 1,6; 2,6; 3,6; 4,6 м/с;
- расстояние между роликоопорами на грузовой ветви – 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 м;
- угол наклона боковых роликов – 30° , 45° , 60° ;
- натяжение ленты – 3000; 4000; 5000 Н.

Для качественной оценки картины перераспределения фракций материала на экспериментальном стенде к неподвижной ленте с помощью эластичной резины крепятся два трапециодальных органических стекла на расстоянии 1,5 м друг от друга, между ними помещается исследуемый материал. Данная конструкция позволяет рассмотреть закономерность всплывания кусков при распределении фракций. Перед проведением исследований определялись физико-механические свойства: фракционный состав, липкость, влажность, подвижность.

УДК 621.83.06

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЗАКЛИНИВАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОГРАНИЧИТЕЛЯ СКОРОСТИ ЛИФТА ДВУХСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ

А. В. КУЦЕПОЛЕНКО¹, М. Э. ПОДЫМАКО¹, Е. С. ЛУСТЕНКОВА²¹ОАО «Могилевлифтмаш»²Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Ограничитель скорости лифта приводит в действие механизм ловителей при превышении допустимой скорости движения кабины или противовеса [1]. В настоящее время на ОАО «Могилевлифтмаш» разрабатывается конструкция ограничителя с горизонтальной осью. В процессе работы при увеличении скорости вращения шкива заклинивающие элементы рычажно-шарнирного механизма под действием центробежных сил перемещаются от центра в радиальном направлении. Когда рабочие поверхности заклинивающих элементов выходят на орбиту срабатывания, происходит их контакт с упорами корпуса, что приводит к заклиниванию шкива и срабатыванию ловителей.

Предлагаемый механизм, в отличие от большинства известных аналогов, предполагает двухстороннее действие ограничителя. Два заклинивающих элемента при этом обращены рабочими поверхностями друг к другу и соединены пружиной, благодаря которой происходит возврат этих элементов в исходное положение при снижении скорости вращения ниже предельной. Схема встречной установки элементов механизма приводит к тому, что первоначальный контакт упоров корпуса может произойти с нерабочими поверхностями заклинивающих элементов. Это, в свою очередь, может привести к их «отбою» – вынужденному перемещению к оси вращения шкива. При этом ограничитель не срабатывает, шкив продолжает вращаться.

На основе анализа геометрии контактирующих тел, технологических возможностей изготовления сложных профилей и их упрощения [2] был спроектирован и рассчитан контур нерабочей части заклинивающих элементов, позволяющий минимизировать «отбой». Эффективность предложенного профиля была подтверждена результатами компьютерного моделирования и испытаний экспериментальных образцов ограничителей скорости.

Усилие протягивания троса, соответствующее требованиям нормативной документации (ГОСТ 339844.1–2016 (EN 81-20: 2014)), было обеспечено подбором профиля и материала канавки шкива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лустенков, М. Е. Определение профиля кулачка ограничителя скорости лифта с инерционным роликом / М. Е. Лустенков, Я. Н. Метелица // Современные проблемы машиностроения: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф., Томск, 25–29 окт. 2021 г. – Томск: Томский политехн. ун-т, 2021. – С. 44–45.
2. Лустенков, М. Е. Расчет геометрии адаптированного профиля эллипсной шариковой передачи / М. Е. Лустенков // Технология машиностроения. – 2005. – № 5. – С. 36–38.

УДК 621.83.06

ИССЛЕДОВАНИЯ КПД МУЛЬТИПЛИКАТОРА СО СФЕРИЧЕСКОЙ ШАРИКОВОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ

Е. С. ЛУСТЕНКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При применении сферических передач с промежуточными телами качения с двухрядным сателлитом [1, 2] в качестве мультипликаторного механизма важным вопросом является обеспечение высокого КПД [3]. В данном случае для сферических шариковых передач (СШП) аналогом выступают планетарные передачи с двухвенцовым сателлитом с двумя внутренними зацеплениями.

На основе разработанной модели СШП по методике В. Л. Кудрявцева и [3] для передачи с радиусом основной сферы $R = 50$ мм было исследовано влияние на КПД передачи разницы ΔZ_s периодов беговых дорожек ведомого Z_2 и остановленного Z_3 сферических кулачков, что также соответствует разнице чисел взаимодействующих с кулачками роликов n_{s1} и n_{s2} соответственно:

$$\Delta Z_s = |Z_2 - Z_3| = n_{s2} - n_{s3}. \quad (1)$$

Параметры сравниваемых вариантов передач представлены в табл. 1. Среднее передаточное отношение $u = 30$ для всех СШП задавалось изначально, однако у различных вариантов передач оно впоследствии уточнялось и могло существенно отличаться от заданного значения. По результатам расчета определялись также оптимальные значения угла Θ_{opt} , при которых обеспечивался максимальный КПД передачи η_{max} .

Табл. 1. Параметры сравниваемых СШП

Вариант	Z_2	Z_3	n_{s2}	n_{s3}	u	Редуктор		Мультипликатор	
						Θ_{opt}	η_{max}	Θ_{opt}	η_{max}
1 ($\Delta Z_s = 1$)	5	4	6	5	25	0,53	0,606	0,53	0,349
2 ($\Delta Z_s = 2$)	8	6	9	7	28	0,42	0,628	0,42	0,408
3 ($\Delta Z_s = 3$)	11	8	12	9	33	0,36	0,623	0,36	0,394
4 ($\Delta Z_s = 4$)	13	9	14	10	32,5	0,34	0,642	0,34	0,474
5 ($\Delta Z_s = 5$)	9	14	10	15	28	0,33	0,650	0,33	0,529

Результаты анализа показаны на рис. 1, где приведены зависимости КПД СШП от основного геометрического параметра – угла наклона кривошипа Θ . Для всех вариантов передач принимался приведенный коэффициент трения $f = 0,01$. Номера кривых соответствуют номерам вариантов. На рис. 1, а показаны зависимости КПД для СШП, работающей в редукторном режиме, на рис. 1, б – в мультипликаторном. Номером б обозначена кривая, показывающая изменение

оптимального значения угла Θ при различных ΔZ_s .

Также был проверен вариант, при котором $Z_3 > Z_2$. При этом передаточные отношения имеют отрицательные значения, что означает разнонаправленность вращения ведущего и ведомого валов. Но на зависимости, показанные на рис. 1, это влияния не оказывает, варианты $Z_2 > Z_3$ и $Z_3 > Z_2$ оказались равнозначными, поэтому рассматривался только первый вариант.

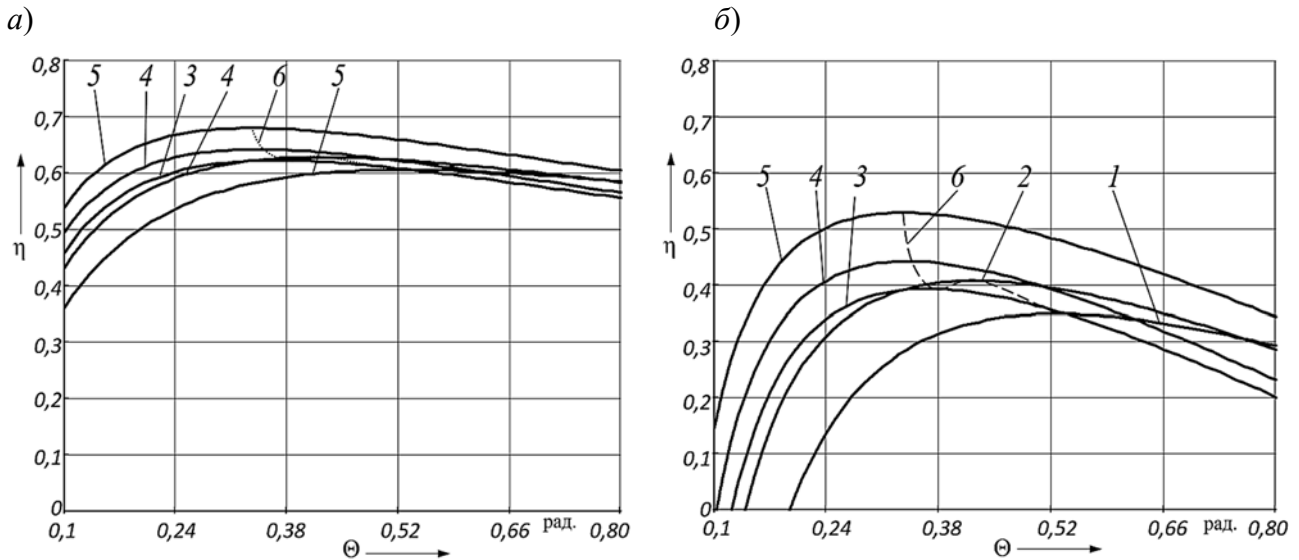


Рис. 1. Зависимость КПД СШП от угла наклона кривошипа Θ , работающей в редукторном (а) и мультипликаторном (б) режимах

Выводы.

КПД СШП, работающих в мультипликаторном режиме, при прочих равных условиях ниже, чем КПД СШП, работающих в редукторном режиме. С увеличением разности чисел периодов беговых дорожек (чисел роликов в двух рядах) ΔZ_s КПД передачи и в редукторном, и в мультипликаторном режимах возрастает. При увеличении разности ΔZ_s для обеспечения максимального КПД требуются меньшие значения угла наклона кривошипа Θ . Для передачи в редукторном и мультипликаторном режимах оптимальные значения Θ одинаковы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лустенков, М. Е. Механизм с изменяющимся углом между осями валов / М. Е. Лустенков, Е. С. Фитцова // Вестн. Брянского гос. техн. ун-та. – 2014. – № 1. – С. 46–50.
2. Лустенков, М. Е. Сферическая роликовая передача с двухрядным сателлитом: силовые расчеты и определение КПД / М. Е. Лустенков, Е. С. Лустенкова // Вестн. Брянского гос. техн. ун-та. – 2019. – № 5. – С. 32–43.
3. Лустенков, М. Е. Определение КПД передач с составными промежуточными телами качения / М. Е. Лустенков // Изв. вузов. Машиностроение. – 2014. – № 6. – С. 13–19.

УДК 621.83.06

ПЛАНЕТАРНАЯ ЦЕПНАЯ ПЕРЕДАЧА ТИПА К-Н-V

Д. М. МАКАРЕВИЧ, В. Л. КОМАР
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

С целью повышения коэффициента полезного действия планетарной зубчатой передачи типа К-Н-V и обеспечения зацепления двух колес с внутренним зацеплением с разницей в один зуб, которая позволяет реализовать большое передаточное отношение в одной ступени, необходимо использовать специальный профиль зубьев (цевочное зацепление). Основной проблемой при реализации цевочного зацепления является технологическая сложность при нарезании циклоидальных зубьев. Для ее решения предлагается центральное колесо заменить на роликовую цепь, закрепленную на цилиндрической поверхности втулки, зафиксированной в корпусе, а сателлит выполнять в виде звездочки. Для съема момента с сателлита используется механизм с параллельными кривошипами.

Разработана 3D-модель предложенной передачи с передаточным отношением 34. Для подтверждения ее работоспособности в САПР NX был выполнен кинематический анализ. График скорости вращения ведомого звена (при частоте вращения ведущего звена 60 мин^{-1}) приведен на рис. 1.

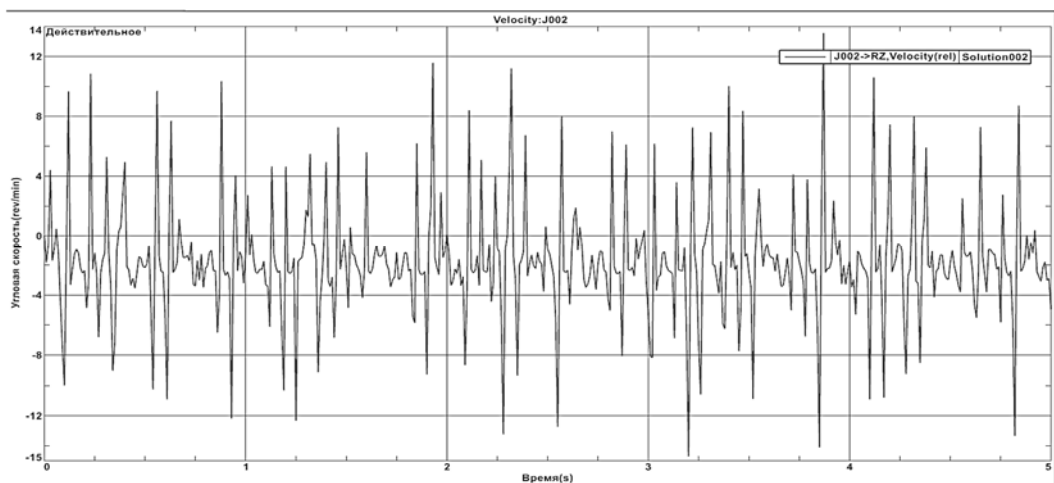


Рис. 1. График скорости вращения ведомого звена

Анализ полученных результатов показал, что средняя частота вращения ведомого звена составила 1,81. Погрешность относительно теоретической скорости вращения – менее 3 %. Скачки скорости на графике объясняются жесткостью звеньев цепи и соответствующими ударами при вхождении в зацепление звездочки и цепи. Для их снижения предлагается уменьшить шаг цепи.

УДК 621.83.06

СТАТИЧЕСКОЕ УРАВНОВЕШИВАНИЕ ДВУХРЯДНОГО САТЕЛЛИТА СФЕРИЧЕСКОЙ РОЛИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

А. Н. МОИСЕЕНКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Сферические роликовые передачи (СРП) предназначены для получения больших значений передаточных отношений при малых габаритах и массе привода [1]. В конструкции СРП сателлит с двумя рядами роликов устанавливается на эксцентрик с возможностью вращения относительно него [2, 3]. Эксцентрик жестко соединяется с ведущим валом. Вследствие того, что два ряда роликов расположены вдоль оси сателлита и их число не одинаково, возникает дисбаланс, который при высоких частотах вращения может привести к ухудшению работы передачи. На рис. 1 показана схема сателлита.

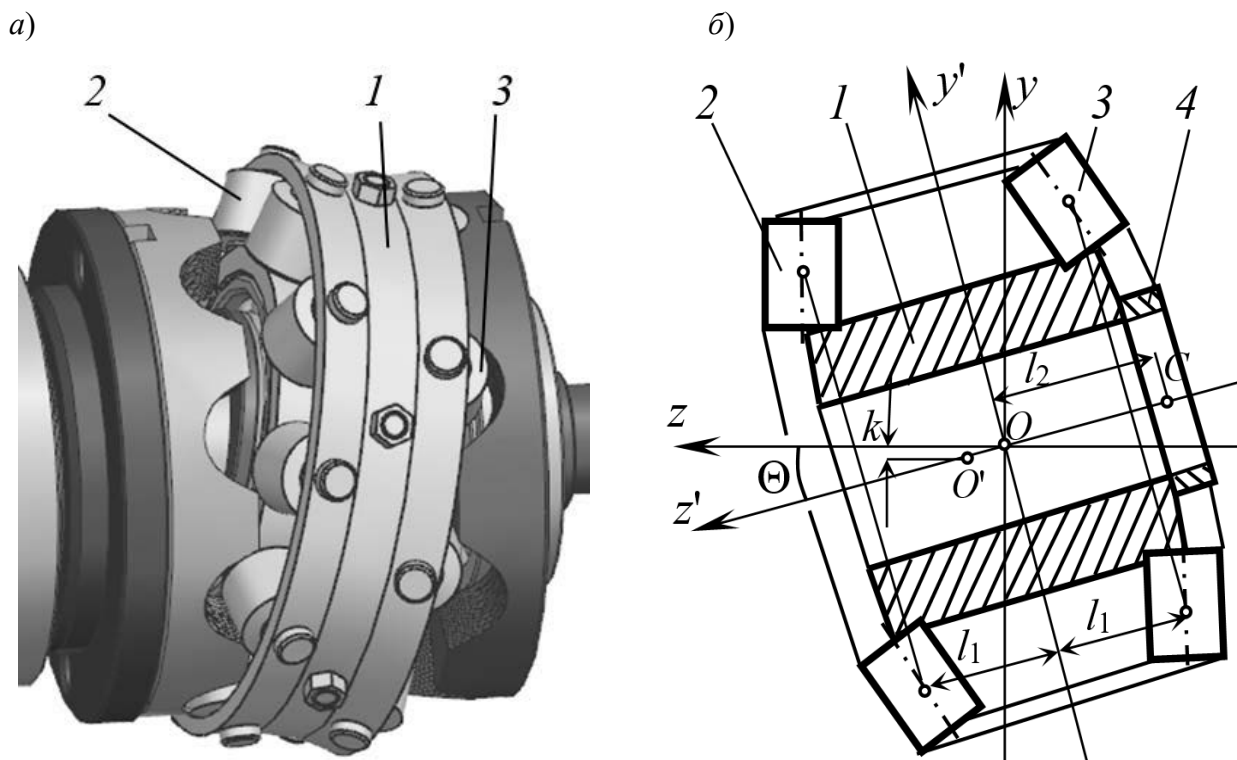


Рис. 1. Компьютерная модель (а) и схема (б) сателлита, устанавливаемого на эксцентрик ведущего вала СРП: 1 – сателлит; 2 – ролики левого ряда; 3 – ролики правого ряда; 4 – уравнивающий груз

Сателлит в процессе работы передачи совершает сферическое движение относительно центра O . Из-за разного количества роликов в левом и правом рядах центр масс сателлита смещается вдоль его центральной оси симметрии z' в точку O' , что приводит к появлению эксцентриситета k относительно оси передачи z и дисбаланса. Предположим, что все ролики имеют одинаковые

размеры и массу, сателлит имеет центр симметрии, совпадающий с точкой O . Из проекции уравнения для определения положения центра масс сателлита на ось z' получим выражение для определения искомой координаты в системе $z'Oy'$

$$z_{O'} = \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^{n_{s2}+n_{s3}} m_s \cdot z_{si} = \frac{m_s \cdot (n_{s2} - n_{s3}) \cdot l_1}{M}, \quad (1)$$

где M – масса сателлита с роликами; n_{s2} , n_{s3} – количество роликов левого и правого рядов соответственно; m_s – масса одного ролика; l_1 – расстояния от точки O до центров масс рядов роликов; z_{si} – расстояние от центра масс i -го ролика до точки O .

Статическая уравновешенность системы возможна при равенстве нулю числителя в правой части уравнения (1). Это возможно при равенстве чисел роликов в рядах или при добавлении уравновешивающей массы. Из формулы (1) получено выражение

$$m_4 \cdot l_2 = (n_{s2} - n_{s3}) \cdot l_1 \cdot m_s, \quad (2)$$

где m_4 – масса уравновешивающего груза; l_2 – расстояния от точки O до центра масс груза 4.

В левой части уравнения (2) имеем две переменные, значениями которых можем варьировать. Приняв из конструктивных соображений заданным расстояние $l_2 = OC$, получим необходимую массу уравновешивающего груза 4 (см. рис. 1, б), что позволяет провести статическую балансировку сателлита.

Рассмотрим численный пример. Масса сателлита без груза 4 составляет $M = 0,2013$ кг, угол $\Theta = 11,5^\circ$. Число роликов в рядах $n_{s2} = 10$ и $n_{s3} = 8$, масса одного ролика (с учетом оси, стопора и втулки) составляет $m_s = 0,0053$ кг. При расстоянии $l_1 = 7$ мм эксцентриситет k , равный $(n_{s2} - n_{s3}) \cdot m_s \cdot \cos(\Theta) \cdot l_1 / M$, составит всего 0,369 мм. Однако следует учесть, что при частоте вращения ведущего вала 3000 мин^{-1} главный вектор сил инерции сателлита может достигать 36,4 Н. При установленном расстоянии $l_2 = 12$ мм необходимая масса уравновешивающего груза $m_4 = 0,0062$ кг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лустенков, М. Е.** Определение основных геометрических параметров планетарных шариковых передач / М. Е. Лустенков // Сборка в машиностроении и приборостроении. – 2008. – № 1. – С. 12–17.
2. **Lustenkova, M. E.** Load Capacity of Spherical Roller Transmission with Double-Row Pinion / M. E. Lustenkova, E. S. Lustenkova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – № 795 (2020) 012020. – P. 6.
3. **Лустенков, М. Е.** Сферическая роликовая передача с двухрядным сателлитом: силовые расчеты и определение КПД / М. Е. Лустенков, Е. С. Лустенкова // Вестн. Брянского гос. техн. ун-та. – 2019. – № 5. – С. 32–43.

УДК 621

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОДИНАМИКИ

В. Б. ПОПОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Разработка и исследование гидравлических систем зачастую приводит к необходимости решения уравнения Бернулли в следующем виде:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = A_1 \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 - A_2 \frac{dz}{dt} - A_3 z.$$

При этом $A_1 = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $A_2 = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$, $A_3 = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ представляют собой зависимости от геометрических параметров элементов, входящих в состав гидравлической системы (диаметры трубопроводов, их длины, шероховатость стенок, перепады диаметров и т. д.). Количество таких параметров даже для простых систем может достигать десяти и более.

При таких исходных данных аналитическое решение приведенного уравнения, с целью определения зависимости положения уровня жидкости от значений технических параметров элементов системы, представляет значительную сложность, а иногда и вообще отсутствует.

Для решения подобного рода задач возможно применение следующей методики.

Этап 1. Исходя из количества технологических параметров системы составляется классическая матрица планирования эксперимента. Удовлетворительные результаты дает трехуровневый план второго порядка.

Этап 2. Исходя из матрицы производится численное решение рассматриваемого уравнения методом Рунге – Кутты четвертого порядка.

Этап 3. Полученные на этапе 2 данные обрабатываются с применением метода регрессионного анализа.

В результате проведенных действий решение первоначального уравнения представляется в общем виде как регрессионная зависимость:

$$z = f(x_1, x_2, \dots, x_n, x_m, x_k).$$

Данный вид решения позволяет оценить влияние и вклад отдельных параметров системы на конечное значение, а также исключить из дальнейшего рассмотрения малозначимые факторы.

Таким образом, представленная методика позволяет получать решение в виде регрессионных зависимостей, которые в дальнейшем позволяют переходить к оптимизации технического решения.

УДК 621.833.51

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

А. А. ПРИХОДЬКО, А. В. НОВИЦКИЙ

Кубанский государственный технологический университет
Краснодар, Россия

Механизмы, в которых вращательное движение входного звена преобразуется в возвратно-поступательное движение рабочего органа, широко используются в различных областях промышленности. На их базе построены поршневые машины (компрессоры, насосы), машины ударного действия (вибромолоты, прессы, трамбовки), вспомогательное оборудование металлообрабатывающей отрасли.

Традиционно в качестве исполнительного механизма, реализующего возвратно-поступательное движение, используется кривошипно-ползунный механизм. Предлагается новый механизм возвратно-поступательного действия, построенный на базе планетарной передачи с эллиптическими зубчатыми колесами [1]. Схема механизма показана на рис. 1.

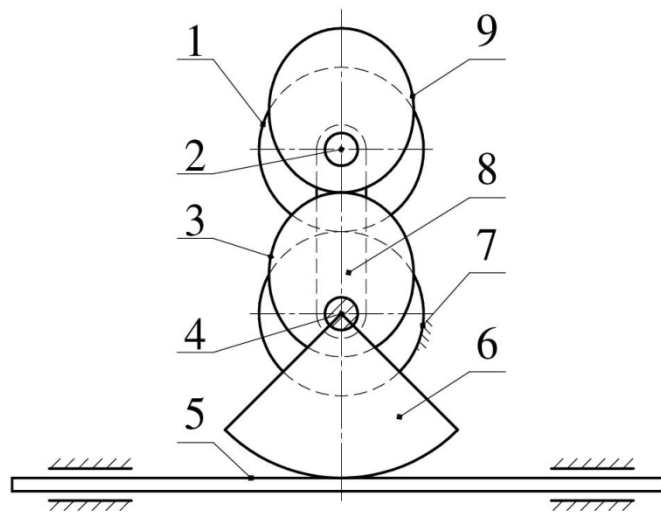


Рис. 1. Механизм возвратно-поступательного движения

Разработанный механизм работает следующим образом. Вращательное движение входного вала вместе с жестко закрепленным на нем водилом 8 передается валу сателлита 2, вследствие чего цилиндрическое зубчатое колесо 1 обкатывается по солнечной шестерне 7. Движение сателлита посредством эллиптического колеса 9 передается на эллиптическое зубчатое колесо 3, жестко закрепленное на выходном валу 4. На выходном валу также закреплен зубчатый сектор 6, возвратно-вращательное движение которого приводит к возвратно-поступательному движению зубчатой рейки 5.

Проведем структурный анализ разработанного механизма с помощью структурной математической модели механизмов и машин [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} p = \frac{1}{2} \left(\sum_{t=T-j}^2 t n_t + s \right); \\ n = \sum_{t=T-j}^T n_t; \\ W = \sum_{i=1}^{II-1} i p_i - k II; \\ k = p - n; \\ p = \sum_{i=1}^{II-1} p_i; \\ T \leq k + 1, \end{array} \right. \quad (1)$$

где p – общее число кинематических пар; T – количество вершин базового звена; t – число вершин звеньев; n – общее число подвижных звеньев; n_t – число подвижных звеньев с t вершинами; p – общее число кинематических пар; p_i – число кинематических пар i -й подвижности; k – число независимых замкнутых контуров; II – подвижность пространства, в котором синтезируется механизм; s – число присоединений к стойкам; i, j – целочисленные индексы.

Представленная схема содержит четыре одноподвижные ($p_1 = 4$) и три двухподвижные ($p_2 = 3$) кинематические пары, два двухвершинных ($n_2 = 2$) и два трехвершинных ($n_3 = 2$) звена, четыре присоединения к стойкам ($s = 4$). Подставляя исходные данные в систему уравнений (1), получим

$$\left\{ \begin{array}{l} 7 = \frac{1}{2} (3 \cdot 2 + 2 \cdot 2 + 4); \\ n = 2 + 2 = 4; \\ W = 1 \cdot 4 + 2 \cdot 3 - 3 \cdot 3 = 1; \\ k = 7 - 4 = 3; \\ p = 4 + 3 = 7; \\ 3 \leq 4. \end{array} \right. \quad (2)$$

Анализ системы (2) показывает, что рассматриваемая конструкция имеет правильную структуру и является одноподвижным механизмом ($W = 1$). Преимуществами предложенного устройства, по сравнению с рычажными аналогами, являются его компактность при сохранении возможности передачи больших усилий, а также простота статической и динамической балансировки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Prikhodko, A. A.** Structural and kinematic analysis of a stirred tank planetary drive / A. A. Prikhodko // Matec Web of Conferences. – 2018. – Т. 226. – 01012.
2. **Смелягин, А. И.** Структура машин, механизмов и конструкций / А. И. Смелягин. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 387 с.

УДК 621.83.06

МУЛЬТИПЛИКАТОР НА БАЗЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ТИПА К-Н-V

А. П. ПРУДНИКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Планетарная зубчатая передача типа К-Н-V обеспечивает большое передаточное отношение в одной ступени и высокий коэффициент полезного действия (КПД). Высокое значение КПД в передаче реализуется наличием внутреннего зацепления и низкой скоростью скольжения в зацеплении, а также малым количеством звеньев, участвующих в преобразовании параметров движения.

При использовании рассматриваемой передачи в качестве мультипликатора возникает вопрос с выбором механизма передачи вращения с ведущего вала на сателлит, расположенный с радиальным смещением относительно оси ведущего вала. В качестве такого механизма с передаточным отношением, равным единице, можно использовать механизм с параллельными кривошипами, кулачково-дисковую муфту и муфту Гука.

В САПР NX были спроектированы 3D-модели планетарной зубчатой передачи типа К-Н-V (число зубьев сателлита – 36, число зубьев центрального неподвижного колеса – 45) с указанными механизмами передачи вращения с ведущего вала на сателлит, что позволило выполнить в NX их кинематический и силовой анализ.

При использовании механизма с параллельными кривошипами вследствие возникающей неопределенности при попытке вращать сателлит относительно его оси передача в режиме мультипликатора оказалась неработоспособна.

При использовании кулачково-дисковой муфты и муфты Гука КПД передачи в режиме мультипликатора составил 0,72...0,86 (с учетом замены в рассматриваемых механизмах передачи вращения с ведущего вала на сателлит трения скольжения на трение качения). Однако при применении кулачково-дисковой муфты диапазон колебаний частоты вращения ведомого вала оказался в 1,6 раза больше, чем при использовании муфты Гука. Также необходимо учитывать, что кулачково-дисковая муфта позволяет передавать вращение с радиальным смещением между осями ведущего вала и сателлита до 2,5 мм, которое зависит от передаточного отношения (коэффициента мультипликации скорости вращения). При этом с увеличением радиального смещения значительно увеличиваются скорости скольжения в зацеплении кулачково-дисковой муфты, что приводит к снижению ее КПД. Указанные недостатки отсутствуют при применении муфты Гука.

Таким образом, в качестве механизма передачи вращения с ведущего вала на сателлит при радиальном смещении между их осями до 1 мм целесообразно использовать кулачково-дисковую муфту, поскольку она имеет более простую конструкцию, а при больших величинах радиального смещения – муфту Гука.

УДК 621.83.06

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В ШЛИЦЕВОМ СОЕДИНЕНИИ

А. П. ПРУДНИКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Вследствие неизбежных погрешностей при изготовлении и сборке деталей соединения нагрузка между ними распределяется неравномерно, что приводит к преждевременному выходу деталей из строя. Данная проблема решается путем увеличения коэффициента запаса при проектировании, что приводит к повышению массогабаритных параметров изделия, или усложнением технологии изготовления и контроля деталей, что увеличивает их себестоимость.

Одним из способов обеспечения равномерного распределения нагрузки между деталями соединения является повышение деформируемости одной из деталей соединения. В результате чего при приложении нагрузки к соединению вследствие деформации детали будут компенсироваться зазоры в соединении, и нагрузка распределится более равномерно.

В САПР SolidWorks было смоделировано и рассчитано на прочность шлицевое соединение (ширина шлица составляет 8 мм, длина 40 мм), в котором один шлиц на валу контактирует с втулкой без зазора, а другой – с зазором в 0,2 мм. Материал деталей – сталь 40. К соединению был приложен момент 50 Н·м.

В первом рассматриваемом случае шлицевые втулка и вал были выполнены цельными. При этом напряжения возникли только в зоне контакта шлица, установленного без зазора. Контактные напряжения составили 288 МПа, эквивалентные напряжения – 307,5 МПа.

Во втором случае втулка была выполнена цельной, а шлицевый вал представлял собой набор дисков толщиной 2 мм. При этом напряжения распределились равномерно между обоими шлицами, т. е. под действием приложенной нагрузки диски деформировались в угловом направлении и нивелировали зазор в соединении между валом и втулкой. Контактные напряжения составили 176,5 МПа, эквивалентные напряжения – 171,5 МПа.

Анализ полученных результатов показывает, что во втором случае возникающие напряжения меньше на 38,72 %, что подтверждает работоспособность предложенного метода обеспечения равномерного распределения нагрузки между деталями соединения. Получение еще большей равномерности распределения нагрузки возможно путем добавления на диски пазов и отверстий, что повысит их деформируемость, не сильно усложняя при этом их технологичность и снижая массу изделия.

Данный способ может применяться не только для неподвижных соединений деталей, но и, например, для зубчатых передач, обеспечивая повышение их нагрузочной способности.

УДК 621.878.6

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЦИКЛОВОЙ МАШИНЫ

О. В. ПУЗАНОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Математическая модель динамики цикловой машины чаще всего представляет собой систему дифференциальных уравнений. Эта система включает уравнения движения механической системы и механическую характеристику источника энергии. Применяются источники энергии с идеальными, статическими и динамическими характеристиками. На ранних стадиях проектирования используется идеальная кинематическая характеристика источника энергии. Тогда можно определить движущий момент, а затем исследовать динамику методом кинетостатики.

Если используется статическая характеристика источника энергии, то решается нелинейное уравнение второго порядка, полученное при подстановке статической характеристики в уравнение Лагранжа второго рода

$$a(q)\ddot{q} + \frac{1}{2}a'(q)\dot{q}^2 = F_{cm}[u(t), \dot{q}] + Q_c(q, \dot{q}),$$

где q – обобщенная координата; $a(q)$ – инерционный коэффициент; F_{cm} – обобщенная движущая сила; Q_c – обобщенная сила сопротивления.

Для его решения необходимо задать закон входного параметра управления двигателя $u(t)$, начальные и граничные условия. При установившемся режиме $u = u_0 = \text{const}$.

Если используется динамическая характеристика источника энергии, то необходимо решить систему дифференциальных уравнений вида

$$\begin{cases} a(q)\ddot{q} + \frac{1}{2}a'(q)\dot{q}^2 = Q + Q_c(q, \dot{q}), \\ \tau\dot{Q} + Q = F_{cm}(u_0, \dot{q}), \end{cases} \quad (1)$$

где τ – собственная постоянная времени, характеризующая инерционность процессов источника энергии; Q – обобщенная движущая сила.

Неизвестными являются функции времени $q(t)$ и $Q(t)$. Необходимо определить некоторые частные решения этой системы. Вид решений зависит от знаний и представлений о свойствах объекта. Например, для установившегося режима движения цикловой машины, когда скорость должна совпадать с заданной, можно применить метод последовательных приближений. Для его применения необходимо представить инерционный коэффициент и обобщенную силу сопротивления как сумму постоянных (обозначены индексом «нуль») и переменных (обозначены тильдой) составляющих:

$$a(q) = a_0 + \tilde{a}(q), \quad Q_c(q, \dot{q}) = Q_{c0}(\dot{q}) + \tilde{Q}_c(q, \dot{q}).$$

В качестве нулевого приближения, с учетом постоянной заданной скорости для установившегося режима движения цикловой машины $q_0 = \omega_0 t$, выбираем устойчивое решение уравнения

$$F_{cm}(u_0, \omega_0) + Q_{c0}(\omega_0) = 0. \quad (2)$$

Вопрос устойчивости решается путем составления уравнения в вариациях для решения $q_0 = \omega_0 t$ и линеаризации уравнения (2). Решение устойчивое, если механическая постоянная времени машины больше нуля.

Уравнение перехода системы последовательных приближений имеет вид:

$$\begin{cases} a_0 \ddot{q}^{(k)} - Q^{(k)} - Q_{c0}(\dot{q}^{(k)}) = -\tilde{a}(q^{(k-1)}) \ddot{q}^{(k-1)} - \frac{1}{2} a'(q^{(k-1)}) (\dot{q}^{(k-1)})^2 + \tilde{Q}_c(q^{(k-1)}, \dot{q}^{(k-1)}), \\ \tau \dot{Q}^{(k)} + Q^{(k)} - F_{cm}(u_0, \dot{q}^{(k)}) = 0; \quad k = 0, 1, 2. \end{cases}$$

Для решения технических задач достаточно использовать первое приближение.

Математическая модель (1) применена для динамического анализа пресс-автомата, включающего электродвигатель мощностью 22 кВт, зубчатый редуктор (передаточное отношение 3,9; приведенный к выходу осевой момент инерции 0,4 кг·м²), пятизвенный рычажный механизм (кривошип 0,21 м, 10 кг; шатуны 0,71 и 0,99 м, по 50 кг; коромысло 0,95 м, 48 кг; ползун 50 кг). К ползуну приложена полезная нагрузка, которая изменяется ступенчато от нуля до 5 кН. Первое приближение имеет вид:

$$\begin{cases} J_0 \ddot{q}^{(1)} - Q^{(1)} - Q_{c0} = -\frac{1}{2} J'(\omega_0 t) \omega_0^2 + \tilde{Q}_c(\omega_0 t), \\ \tau \dot{Q}^{(1)} + Q^{(1)} - F_{cm}(u_0, \dot{q}^{(1)}) = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где J_0 – постоянная составляющая приведенного момента инерции системы; J' – производная приведенного момента инерции по обобщенной координате.

Выражение в правой части первого уравнения системы (3) является возмущающим моментом $L(t)$, который характеризует внутреннюю виброактивность системы. Его снижение положительно влияет на динамику.

Определен уровень динамической ошибки по углу поворота и скорости. Коэффициент неравномерности составляет 24 %. Для повышения точности рекомендовано увеличить на 11,2 % маховые массы или обеспечить двигатель отрицательной обратной связью по скорости или положительной по моменту.

Установлено, что в редукторе действует переменный момент, который вызывает упругие колебания, нарушая точность работы. Этот момент приводит к ускоренному износу передачи. Суммарный момент, передаваемый редуктором, изменяется в диапазоне от 2 до –2,3 кН·м. Он изменяет направление с каждым циклом. Это приводит к перекладке зазоров в зацеплениях зубчатого редуктора. Ударные нагрузки ухудшают качество работы и приводят к необоснованной потере энергии, снижая КПД механизма. Для улучшения динамики рекомендуется увеличивать крутизну характеристики среднего момента сопротивления.

УДК 669.15:620.178.1

ВЫБОР НАГРУЗКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

С. П. РУДЕНКО, А. Л. ВАЛЬКО, С. Г. САНДОМИРСКИЙ

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Метод микротвердости или твердости с малой нагрузкой является единственным методом, который позволяет определить твердость фаз и структурных составляющих многокомпонентных сплавов. Уменьшение нагрузки при испытании на твердость приводит к увеличению неопределенности результата измерений. Согласно рекомендациям ГОСТ 9450–76 для получения наиболее точного результата измерения микротвердости нагрузка должна быть возможно большей. Поэтому для уменьшения погрешностей измерений, в частности методом Виккерса, величина нагрузки на индентор должна быть максимально возможной с учетом размеров образца и свойств испытываемого материала.

Но в ряде случаев при исследованиях поверхностно упрочненных изделий возникает необходимость в получении результатов измерений твердости при более низких нагрузках на индентор. Например, в методике расчета и прогнозирования ресурса поверхностно упрочненных зубчатых колес с учетом качества химико-термического упрочнения используют пределы контактной выносливости в зависимости от твердости материала, определяемой методом Виккерса по толщине диффузионных слоев при нагрузке на индентор 1,961 Н [1, 2].

Сообщается о результатах исследования образцов зубчатых колес из стали 14ХНЗМА после химико-термической обработки, на которых твердость поверхностных слоев изменяется в диапазоне 500...750 HV. Результаты испытаний на твердость (рис. 1) при нагрузке 1,961 Н (HV0,2), в сравнении с результатами испытаний при нагрузке 4,903 Н (HV0,5), характеризуются большим диапазоном колебания величин твердости.

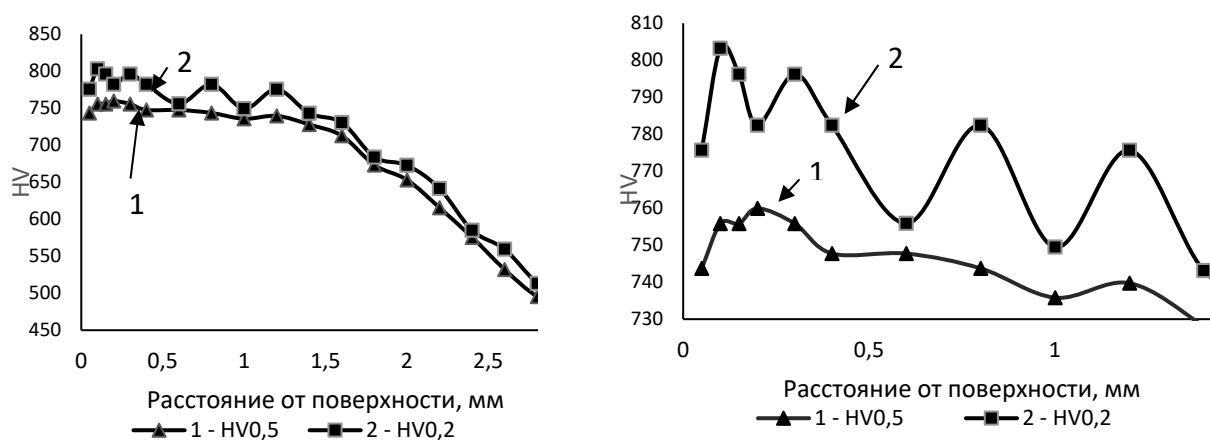


Рис. 1. Распределение твердости по толщине упрочненного слоя исследованного образца при испытаниях с разной нагрузкой

Установлено, что основной причиной увеличения размаха результатов измерений при испытаниях на твердость с меньшей нагрузкой является структурная неоднородность (полосчатость) исследуемого образца.

Учитывая, что испытания на твердость при нагрузке 4,903 Н дают более стабильные результаты, были проведены исследования по установлению связи между значениями твердости при испытаниях с нагрузками 1,961 и 4,903 Н. Построение линии тренда и расчет достоверности аппроксимации R^2 (квадрат коэффициента R корреляции) проведены в программе Microsoft Excel. В результате получена аппроксимирующая зависимость (рис. 2) с достоверностью $R^2 = 0,9883$ между твердостями HV0,2 и HV0,5, измеренной по толщине упрочненного слоя образца до 3 мм от поверхности с интервалом 0,1 мм:

$$H_{\text{HV}0,2} = 1,0638 H_{\text{HV}0,5} - 19,08. \quad (1)$$

Сопоставление результатов измерения распределения по толщине упрочненного слоя образца из стали 14ХНЗМА величин твердости HV0,2 при нагрузке на индентор 1,961 Н и расчета твердости HV0,2 по установленной зависимости (1) показало их тесную связь с коэффициентом корреляции $R = 0,9941$ (см. рис. 2).

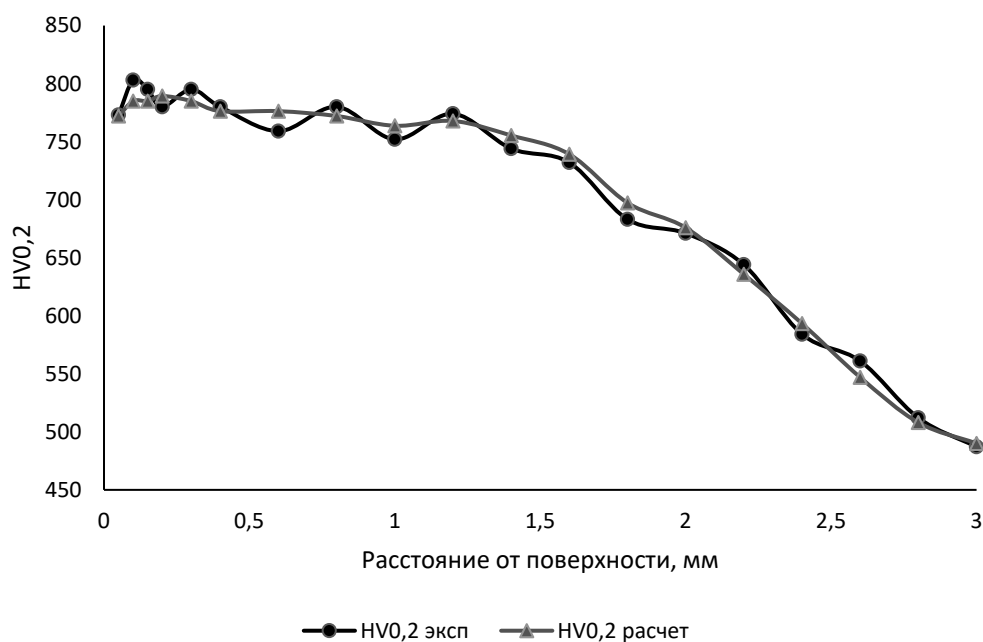


Рис. 2. Распределение твердости по толщине упрочненного слоя исследованного образца, полученное при испытаниях с нагрузкой 1,961 Н и расчетом по зависимости (1)

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. Руденко, С. П. Особенности расчета зубчатых колес трансмиссий на глубинную контактную выносливость / С. П. Руденко, А. Л. Валько // Вестн. машиностроения. – 2015. – № 11. – С. 5–7.

УДК 539.383

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ PLA-ПЛАСТИКА ПРИ СЖАТИИ

Л. Л. СОТНИК, О. И. НАЛИВКО

Барановичский государственный университет

Барановичи, Беларусь

Аддитивная технология с каждым годом все больше и больше проникает в различные направления промышленности, в том числе и в машиностроение. Для внедрения FDM-технологий в машиностроение необходимо четкое понимание прочностных характеристик материала после 3D-печати.

Целью исследования является определение прочностных характеристик изделий, полученных 3D-печатью, при различной степени заполнения изделий. Наблюдение за поведением образцов проводилось при сжатии элементов.

Представлены исследования с варьированием одним параметром – величина заполнения. Заполнение сильно влияет на прочность детали. Использование различных вариантов заполнения – это хорошее решение для декоративных изделий, т. к. увеличивается скорость печати и при этом уменьшается расход материала, но для нагруженных деталей в машиностроении такое решение нуждается в анализе.

Специально для испытаний напечатаны на FDM 3D-принтере образцы в форме цилиндра диаметром 25 мм и высотой 25 мм с заполнением 100 %, 75 % и 50 % (рис. 1, а, в, д), температура экструдера – 200 °С, температура стола – 60 °С, толщина слоя – 0,1 мм, скорость печати – 60 мм/с, обдув – 100 %.

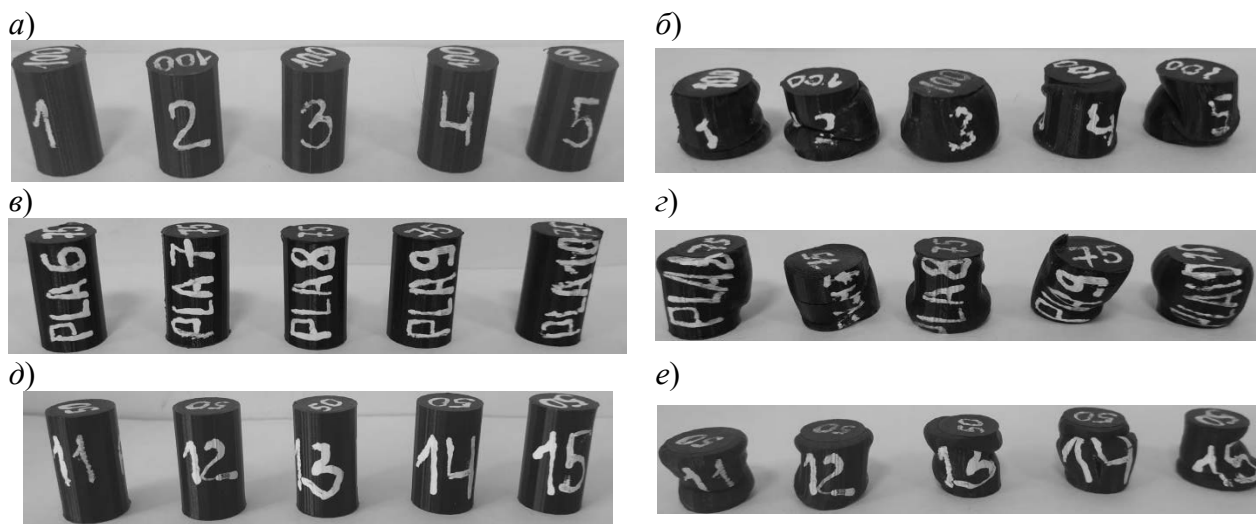


Рис. 1. Форма образцов: а – образцы до испытания, заполнение 100 %; б – образцы после испытания, заполнение 100 %; в – образцы до испытания, заполнение 75 %; г – образцы после испытания, заполнение 75 %; д – образцы до испытания, заполнение 50 %; е – образцы после испытания, заполнение 50 %

Методика испытаний. Для проведения испытаний на сжатие использовался универсальный пресс с пишущим механизмом. Образцы по очереди

устанавливаются на нижнюю опорную плиту пресса. Верхняя опорная плита опускается при помощи винтового механизма, затем включается насос и при помощи гидравлического усилия происходит сжатие образцов. Испытания проводились при скорости сближения опорных плит 50 мкм/с в соответствии с ГОСТ 4651–2014 и ГОСТ 28840–90 [1, 2].

На первой стадии нагружения образцы работали упруго. При достижении текучести стрелка оставалась на месте или колебалась в небольших пределах, что говорит о наступлении стадии пластических деформаций. Далее стрелка медленно двигалась вверх, испытания прекращались при сжатии образца на 50 % первоначальной длины. На рис. 1, б, г, е представлены образцы после силового нагружения, а на рис. 2 показаны диаграммы сжатия образцов (заполнение 100 %), полученные на универсальном прессе.

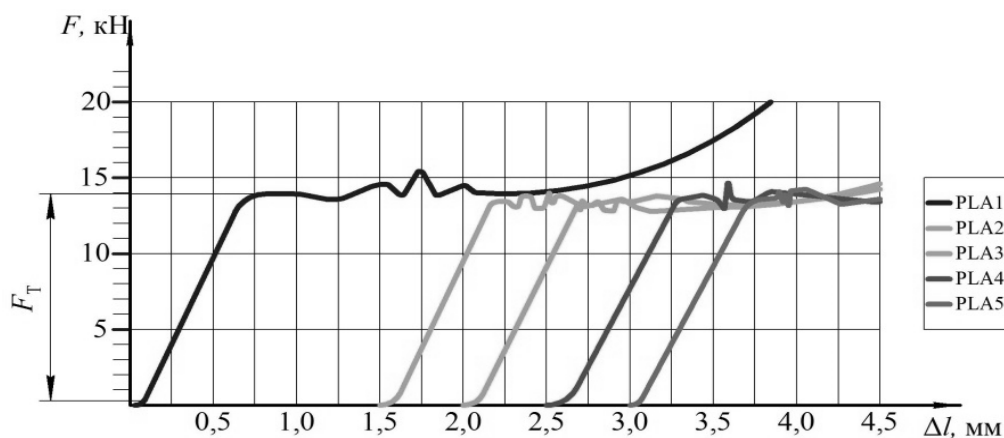


Рис. 2. Диаграммы сжатия образцов из PLA-пластика в осях F – Δl

Аналогичные диаграммы получаются при величине заполнения 75 % и 50 %.

Анализ результатов показывает, что при заполнении образца на 75 % несущая способность образца снижается, по сравнению со 100 % заполнением, на 16 %, модуль продольной упругости — на 2,4 %, напряжение текучести — на 3,8 %. При заполнении образцов на 50 % несущая способность образца снижается на 29,5 %, модуль продольной упругости — на 2,8 %, напряжение текучести — на 5,9 %.

Работа материала в пластической стадии представляет огромный резерв прочности, благодаря которому конструкция, как правило, не разрушается в прямом смысле (нарушение целостности), а теряет несущую способность из-за больших остаточных деформаций. Изменение процента заполнения элементов конструкции снижает несущую способность, но при этом в конструкции происходит перераспределение напряжений, о чем свидетельствует их изменение в небольшом диапазоне.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 4651–2014.** Пластмассы. Метод испытания на сжатие.
2. **ГОСТ 28840–90.** Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования.

УДК 621.833

КОСВЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА НА ВХОДНОМ ВАЛУ МОТОР-РЕДУКТОРА

И. В. ТРУСОВ, Е. Г. КРИВОНОГОВА, В. В. ПОКЛАД

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Для определения коэффициента полезного действия, при проектировании мотор-редукторов, редукторов, зубчатых зацеплений, необходимо иметь определенный набор исходных данных. К ним можно отнести такие показатели, как частота вращения входного вала и мощность, крутящий момент на входном валу передачи или редуктора. Определение частоты вращения не вызывает определенных проблем. Существует широкий спектр недорогих датчиков, позволяющих измерить данный параметр без усложнения конструкции испытательного стенда. Определение же крутящего момента на входном валу мотор-редуктора, редуктора или передачи требует внесения в конструкцию дополнительных элементов: фланцевых измерительных датчиков, компенсирующих и переходных муфт, которые увеличивают габариты стенда, а также вносят погрешности в измерения параметров исследуемого механизма из-за введения дополнительных элементов.

При проведении стендовых испытаний мотор-редуктора или редуктора возможно использование косвенного метода определения крутящего момента на его входном валу. Для этого необходимо получить механическую характеристику используемого в испытаниях электродвигателя, т. е. зависимость частоты вращения ротора от крутящего момента на валу. Электродвигатель помещается на испытательный стенд [1], который позволяет измерять его частоту вращения, силу тока в обмотках статора и развиваемый крутящий момент. По полученным данным строится механическая характеристика двигательного режима работы асинхронного двигателя. Оттарированный подобным образом двигатель можно использовать в стендовых испытаниях мотор-редукторов. По показаниям датчика частоты вращения, аппроксимировав механическую характеристику, получаем значение крутящего момента.

Предложенный косвенный метод не является точным, но позволяет с минимальными затратами оценить силовые характеристики исследуемого редуктора. Тарировку электродвигателя в зависимости от частоты проведения испытаний следует осуществлять с периодичностью раз в три-шесть месяцев.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стенд для испытания электродвигателей переменного тока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://volna.by/product/produktsiya-sobstvennogo-proizvodstva/ispytatelnye-stendy-elektrodvigatelay-postoyannogo-i-peremennogo-toka/stend-dlya-ispytaniya-elektrodvigatelay-peremennogo-toka/>. – Дата доступа: 18.01.2022.

УДК 621.794.61

ФОРМИРОВАНИЕ СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ДЛИННОМЕРНЫХ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ

Ю. Г. АЛЕКСЕЕВ¹, А. Э. ПАРШУТО¹, Г. М. СЕНЧЕНКО²¹Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

Минск, Беларусь

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.

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). Применяемые методы МДО обеспечивают высокие прочностные и эксплуатационные характеристики светопоглощающих покрытий: высокую износостойкость, твердость, термостойкость, коррозионную стойкость, хорошую адгезию к основе. Однако основной проблемой является создание на основе метода МДО таких покрытий на внутренних поверхностях длинномерных изделий и изделий сложной формы.

Для решения проблемы получения качественных покрытий на внутренних поверхностях разработаны новый метод и оборудование, основным компонентом которого является специальная электродно-гидравлическая система, которая дает возможность создавать в зоне обработки необходимые электрические и гидравлические условия для успешного протекания микродугового плазменного процесса. Характеристики оборудования позволяют формировать светопоглощающие покрытия на поверхности образцов с возможностью управления их структурой и свойствами за счет изменения характеристик процесса МДО. Погружение электрода-инструмента в зону обработки осуществляется с помощью модуля перемещения, который приводится шаговым двигателем через винтовую передачу (рис. 1). Диапазон регулирования скорости привода перемещения электрода-инструмента (от 0 до 146 мм/мин) для обработки внутренних поверхностей обеспечивает возможность точного управления временем воздействия на определенный участок обрабатываемой поверхности. Вид струи электролита, формируемой на выходе из электрода-инструмента при обработке внутренней поверхности образца, представлен на рис. 2.



Рис. 1. Внешний вид оборудования для получения МДО покрытий на внутренних поверхностях трубчатых изделий

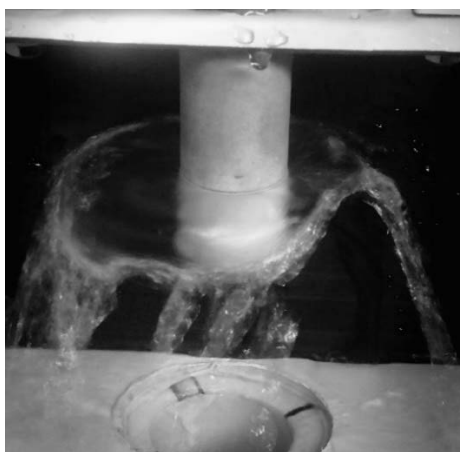


Рис. 2. Струя электролита, формируемая на выходе из электрода-инструмента

В качестве образцов использовались отрезки труб из алюминиевого сплава АМг2 $\varnothing 25 \times 1$ длиной 100 мм. Для исследования режимов МДО использовался базовый электролит на основе силиката натрия ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 - 1\%$) и гидроксида калия ($\text{KOH} - 0,2\%$). Для получения светопоглощающих МДО покрытий в электролит добавлялись компоненты, обеспечивающие в условиях высокотемпературных плазменных процессов на обрабатываемой поверхности окрашивание оксидного слоя в темные цвета – молибдат натрия и ферроцианид калия.

МДО внутренних поверхностей образцов выполнялось в анодно-катодном режиме с бестоковой паузой при амплитуде анодного импульса до 520 В и катодного импульса до 200 В. В зависимости от режимов в результате обработки формировались покрытия с различными структурой и свойствами, которые отличались морфологией, твердостью, прочностью сцепления с подложкой, цветом. Установлено, что наиболее прочное и равномерное черное покрытие формируется при следующих электрических режимах: соотношение положительного и отрицательного импульсов – 3:1, амплитуда положительного импульса – 300...350 В, коэффициент заполнения положительного импульса – 25 %.

УДК 621.74.04

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННИХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТВОДА В ВИДЕ ДРОБИ НА ДЕТАЛИ ИЗ ИЗНОСОСТОЙКОГО ХРОМИСТОГО ЧУГУНА

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

Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

Проведен эксперимент по заливке детали «Лист подкладной УЗ.1,1» из износостойкого хромистого чугуна с применением в качестве внутреннего источника теплоотвода дробы чугуной литой (ДЧЛ) из доэвтектического белого чугуна.

Подкладной лист является сложной деталью переменного сечения и изготавливается в комбинированной форме, выполненной частично из металла, частично из холоднотвердеющей смеси.

Детали отливались из износостойкого хромистого чугуна ИЧХ18ВМ следующего химического состава: 3,59 % С; 18,8 % Cr; 0,11 % Ni; 0,47 % Mn; 0,52 % Si; 0,4 % W; 0,16 % V; 0,25 % Mo. В ходе эксперимента были получены два подкладных листа, в один из которых засыпалась ДЧЛ диаметром 1,4...1,8 мм, а другой выступал в качестве эталона. Для удаления влаги проводилось ее предварительное просушивание при температуре 120 °С. Дробь подавалась в струю расплава с задержкой в 4 с с момента начала заливки, что было обусловлено задачей локализации всей дробы в рабочем элементе (утолщении) детали. Масса вводимой дробы – 120 г, что соответствует примерно 4,5 % от массы утолщения, составляющей 2,7 кг.

Экспериментальная деталь, полученная с использованием ДЧЛ в качестве внутреннего источника теплоотвода, представлена на рис. 1.

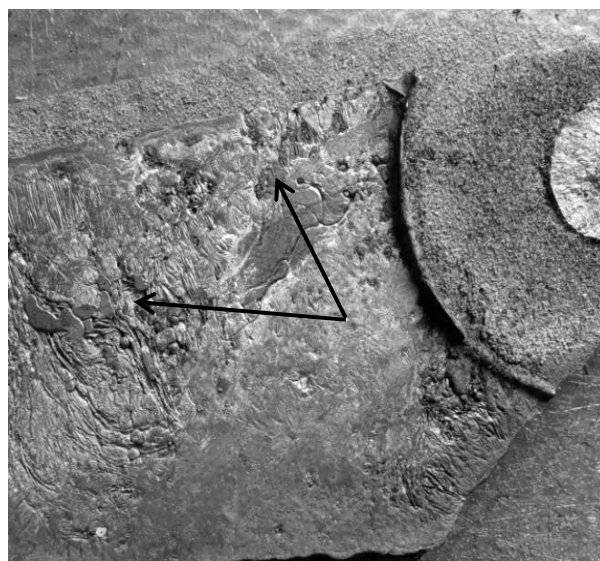
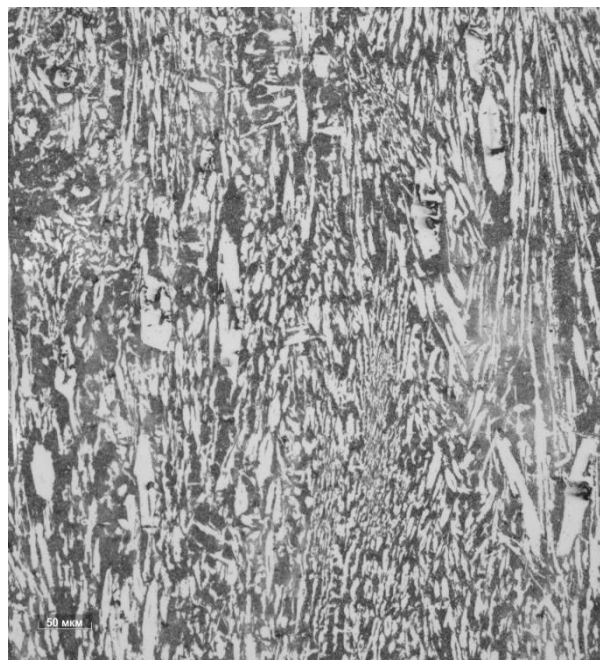


Рис. 1. Экспериментальная деталь «Лист подкладной УЗ.1,1», изготовленная с применением дробы

Как видно из рис. 1, на поверхности детали можно наблюдать несколько дробин (показаны стрелкой на рис. 1), из чего можно сделать вывод, что большая часть дробы локализовалась в утолщении отливки. Анализ изломов листа в нескольких местах показал, что, за исключением нескольких дробинок на поверхности, вся введенная в отливку чугунная дробь расплавилась.

Кристаллическое строение исследовали в середине сечения по высоте рабочего элемента детали (утолщения). С целью более отчетливого выявления карбидной фазы образцы прошли предварительный высокотемпературный отжиг.

а)



б)

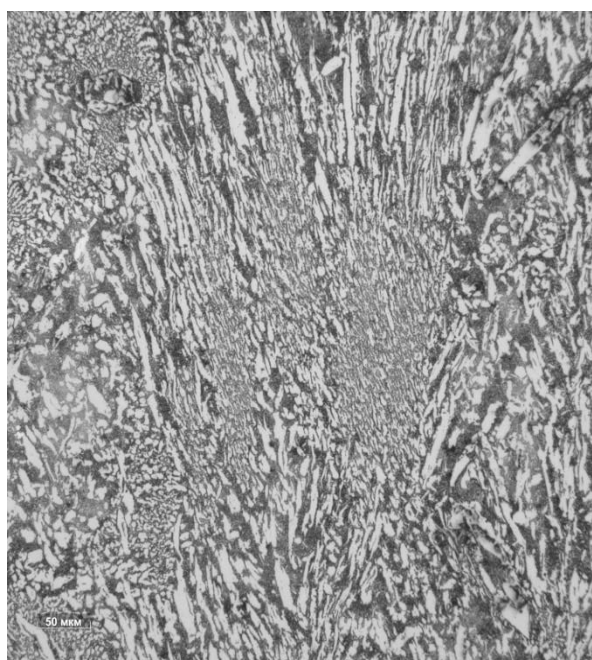


Рис. 2. Микроструктура образца, вырезанного из эталонного подкладного листа (а), и образца, вырезанного из подкладного листа с применением дробы (б), увеличение $\times 200$

Как видно из рис. 2, введение дробы значительно измельчило микроструктуру. В образце из подкладного листа, отлитого с применением ДЧЛ, крупные первичные карбиды не встречаются и наблюдается большее количество колоний мелких эвтектических карбидов.

Таким образом, проведенный эксперимент продемонстрировал практическую возможность получения отливки с применением внутреннего источника теплоотвода. Результатом этого эксперимента стало измельчение структуры внутри детали с помощью дробы из белого чугуна, что положительно скажется на его износостойкости и прочности.

УДК 621.74.047

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША
МАЛОЙ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ ПРИ ЛИТЬЕ НАМОРАЖИВАНИЕМ

К. Н. БАРАНОВ, А. П. ГУТЕВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

В настоящее время для повышения механических и эксплуатационных свойств чугунов используется модифицирующая обработка расплава различными добавками, которая позволяет регулировать процесс структурообразования при затвердевании отливки. Кроме металлургических и технологических факторов (состав и структура шихтовых материалов, тип плавильного агрегата, условия плавки, температура перегрева, условия внепечной обработки расплава и др.), существенное влияние на эффективность модифицирования оказывают состав и количество модификатора, а также длительность сохранения его модифицирующего эффекта.

По результатам экспериментов, проведенных в ИТМ НАН Беларуси, было установлено, что после модифицирования экономнолегированного жидкого чугуна в разливочном ковше комплексным модификатором ($\text{FeSiBa} + \text{ГЛСЗ}$) максимальный эффект модифицирования наблюдался в первые 5...10 мин, а затем следует монотонное его снижение. Стабилизация модифицирующего эффекта в условиях перегрева или длительной выдержки при постоянной или понижающейся температуре является основной проблемой выплавки высококачественных серых чугунов [1]. Следует отметить, что к снижению эффекта модифицирования чугуна также приводят потери тепла в разливочном ковше в процессе литья [2]. В работе для повышения эффективности модифицирования решалась задача по определению возможности снижения тепловых потерь от расплава в разливочном ковше.

Исследование температурного состояния разливочного ковша проводили при получении полых цилиндрических заготовок из серого чугуна методом непрерывно-циклического литья намораживанием на специальной литейной машине. Плавку чугуна производили в индукционной печи ИСТ-025. Футеровка ковша была выполнена из двух материалов. Правая часть по традиционной технологии с использованием песчано-жидкостекольной смеси (ПЖСС), вторая половина с использованием смеси на основе кварцита. Для измерения температур по толщине стенки футеровки в разливочном ковше (емкостью 30 кг) были установлены хромель-алюмелевые термопары (диаметр электродов – 0,3 мм) с записью многоканальным регистратором РМТ 69 L. Получено распределение температур по толщине футеровки при различных вариантах набивки разливочного ковша (толщина стенки, огнеупорный материал). Показана зависимость падения температуры расплава в ковше от условий разогрева футеровки (толщиной 25 мм) на основе кварцита (рис. 1).

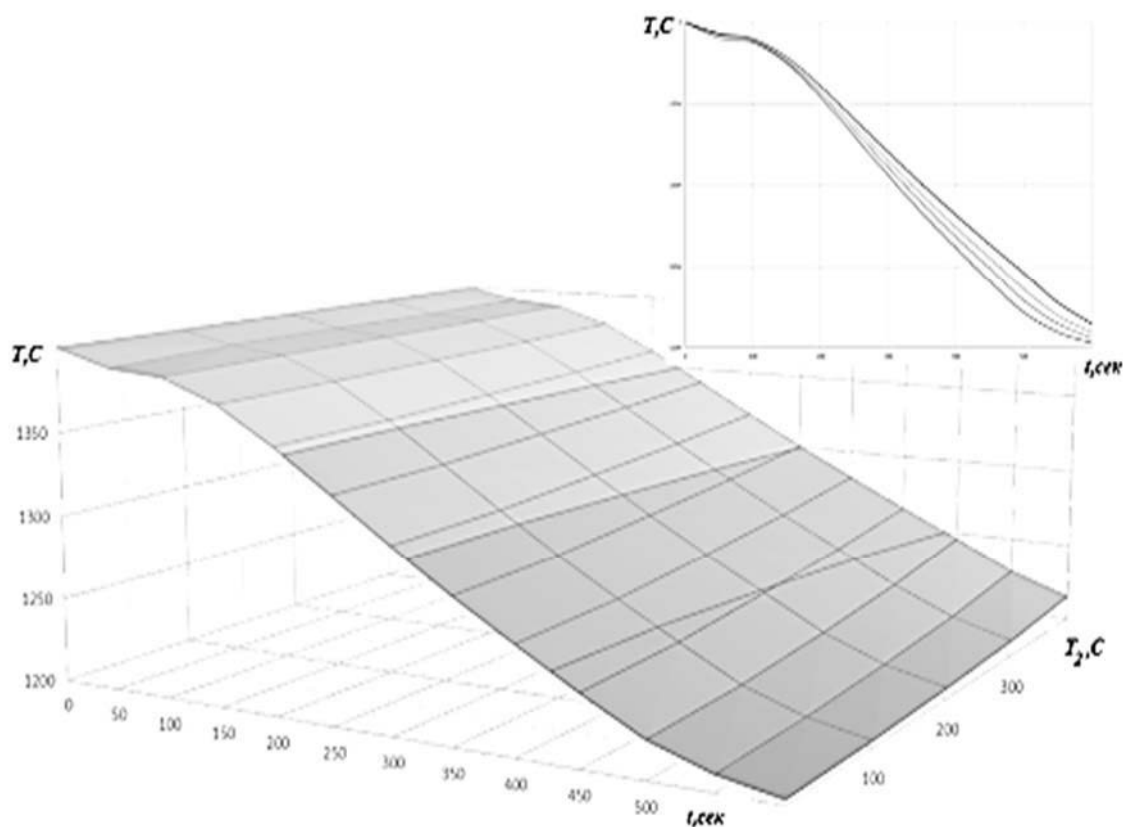


Рис. 1. Зависимость падения температуры расплава в ковше от условий разогрева футеровки (толщиной 25 мм) на основе кварцита

Установлено, что эффективным средством снижения температуры расплава в разливочном ковше является его предварительный разогрев футеровки до температур 300 °С ... 400 °С. Также были проведены исследования по изменению времени формирования и массы отливок из серого чугуна в зависимости от количества расплава, доливаемого в разливочный ковш в процессе литья. Установлено, что эффективным средством стабилизации процесса литья и получения отливок с минимальным разбросом массы в процессе одной разливки является технологический прием долива перегретых порций модифицированного расплава в разливочный ковш.

Экспериментальные плавки были проведены при выполнении хозяйственного договора с ОАО «Могилевхимволокно» при получении отливок из специального серого чугуна для изготовления деталей «Колесо червячное».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Писаренко, Л. З. Влияние температурного и временного факторов на эффект модифицирования чугуна / Л. З. Писаренко // Литье и металлургия. – 2001. – № 1. – С. 26–29.
2. Писаренко, Л. З. Ковш для модифицирования и разливки чугуна / Л. З. Писаренко, С. Ф. Лукашевич, В. К. Филипчик // Литье и металлургия. – 2002. – № 4. – С. 101–102.

УДК 621.746.6:669.15-196.53:004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОТЛИВКИ
ИЗ ХРОМИСТОГО ЧУГУНА В ФОРМЕ
ИЗ ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩЕЙ СМЕСИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАЛЬНОЙ ВСТАВКИ

А. М. БРАНОВИЦКИЙ, Ю. А. ЛЕБЕДИНСКИЙ, П. Ю. ДУВАЛОВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

При литье деталей дробильно-размольного оборудования был проведен эксперимент по измерению температуры. Хромистый чугун заливался в течение 10...12 с в форму из холоднотвердеющей смеси с зафутерованной закладной деталью в виде стержня из стали ст 45. Получены зависимости температуры от времени в двух точках: вблизи поверхности торца стального стержня в контакте с расплавом и на глубине 1 мм в стали под его поверхностью.

В начальные моменты времени, во время заливки и несколько секунд после нее имеет место вынужденная конвекция расплава, при этом форма из холоднотвердеющей смеси мало влияет на теплообмен вблизи торца стального стержня, где измеряется температура. По этой причине имеет смысл тепловая задача без учёта формы. Для учета влияния конвекции в расплаве представляет интерес простой способ, проверенный для случая свободной конвекции [1, 2]. Он заключается в использовании коэффициента эффективной теплопроводности в расплаве $\lambda_{эфф} = k \lambda$. Здесь λ – коэффициент теплопроводности в неподвижном расплаве, $k > 1$ – эмпирический коэффициент, подбираемый при адаптации моделей с использованием результатов измерения температуры. Данная тепловая задача решалась методом конечных разностей на трех сопряженных областях.

Конвекция, как известно, приводит к увеличению теплопередачи от расплава к фронту кристаллизации, что приводит к выравниванию температуры по сечению жидкого ядра и ускорению затвердевания слитка в целом, кроме того, возможно изменение условий теплоотдачи на поверхности слитка.

В данном случае предстояло выяснить влияние конвекции на температуру расплава путем сопоставления численных расчётов с экспериментальными зависимостями температуры от времени в двух точках. Ориентируясь по ранее известным данным [1, 2], выбрали следующие значения для эмпирического коэффициента k , условно характеризующие уровень влияния конвекции: $k = 13$ – сильная конвекция, $k = 7$ – средняя конвекция, $k = 1$ отсутствие конвекции. Вследствие инерции движения расплава, полученной при заливке, имеет место вынужденная конвекция, которая сильнее способствует теплопереносу, чем свободная конвекция, поэтому выбранные значения $k = 7$ и $k = 13$ выше обычно используемых. Эмпирический коэффициент k действует при температуре от ликвидуса и выше. Внутри выбранной двухфазной зоны $(1240 \pm 20)^\circ\text{C}$ k линейно интерполируется до 1 на солидусе.

По результатам проведенных расчетов тепловой задачи для различных уровней конвекции были собраны кривые (рис. 1) в контрольных точках T1

(на поверхности торца стального стержня в контакте с расплавом) и T2 (на глубине 1 мм под поверхностью стального стержня).

На основе сравнения экспериментальных (кривые T1 э, T2 э) и расчётных данных установлено, что вблизи границы «сталь – чугун» имеется значительная конвекция расплава. Видно, что при сильной конвекции (кривые T1 $k = 13$, T2 $k = 13$) вблизи стали не образуется корки чугуна при заливке, расплав выше стержня охлаждается приблизительно равномерно. В случае средней конвекции (кривые T1 $k = 7$, T2 $k = 7$) вблизи стали образуется корка чугуна, которая при дальнейшей заливке плавится. Без конвекции (кривые T1 $k = 1$, T2 $k = 1$) вокруг стали почти сразу образуется корка, которая не плавится и может значительно уменьшать теплопоток из чугуна в сталь. T2-кривые носят монотонный характер, что объясняется нагревом стержня. В общем увеличение уровня конвекции k усиливает теплообмен, что приводит к некоторому сдвигу вверх T1- и T2-кривых, как показано стрелками на рис. 1.

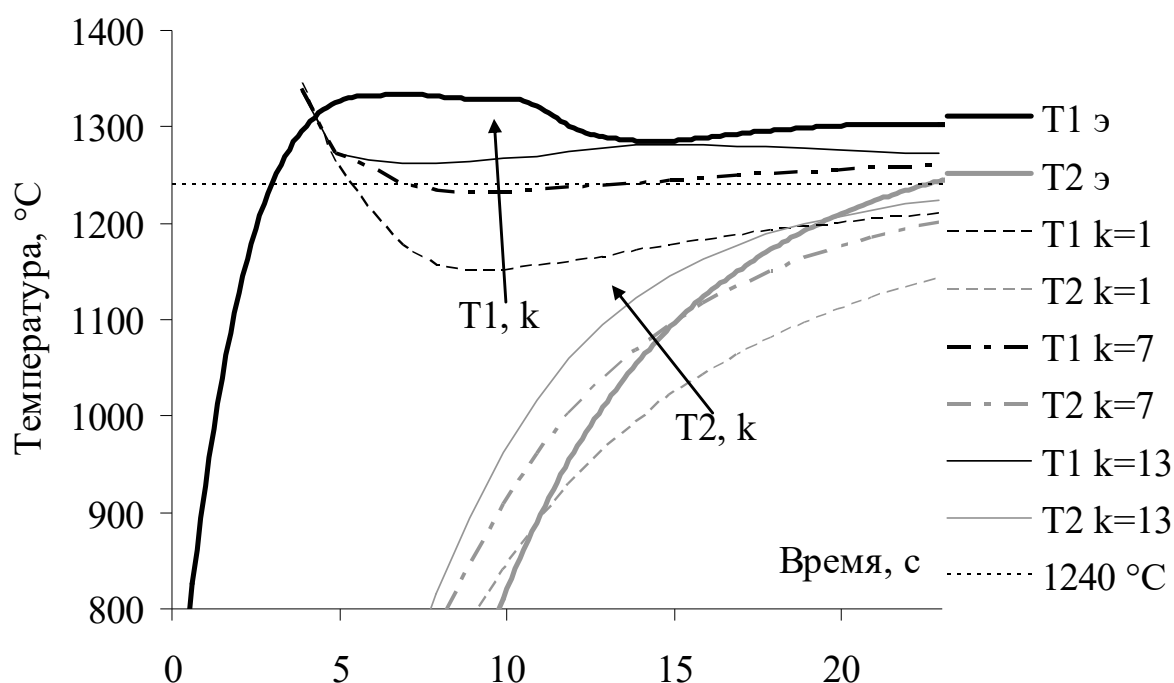


Рис. 1. Сравнение экспериментальных и расчётных температур в контрольных точках T1, T2 при разных уровнях конвекции k

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальное и теоретическое изучение закономерностей затвердевания отливок из бинарных сплавов / В. А. Горяинов [и др.] // *Металлургическая теплотехника*. – 1974. – № 2. – С. 33–40.
2. Обоснование способа учета свободной конвекции при моделировании затвердевания слитков / З. К. Кабаков [и др.] // *Вестн. ЧГУ*. – 2009. – № 1. – С. 116–120.

УДК 678.7

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ СМОЛ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАЛОСЛОЙНЫМ ГРАФЕНОМ

А. А. ВОЗНЯКОВСКИЙ¹, В. Э. СМИРНОВА¹, А. П. ВОЗНЯКОВСКИЙ²,
С. В. КИДАЛОВ¹, Е. В. ОВЧИННИКОВ³, Е. И. ЭЙСЫМОНТ³

¹Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Санкт-Петербург, Россия

²Научно-исследовательский институт синтетического каучука

им. академика С. В. Лебедева

Санкт-Петербург, Россия

³Гродненский государственный университет имени Янки Купалы

Гродно, Беларусь

Фотополимерные смолы (ФС) представляют из себя полимерные материалы в жидкой форме, способные к полимеризации под воздействием обработки ультрафиолетом, лазером и т. д. Новый виток интереса к данному классу полимеров начался с ростом популярности DLP-метода 3D-печати, где в качестве основного материала используются фотополимерные смолы. Однако по сравнению с изделиями, получаемыми из других полимеров (ABS-пластик и т. д.), изделия из ФС хоть и являются более детальными, но проигрывают по комплексу прочностных свойств. Для повышения свойств конечных изделий исследователи часто используют подход создания композиционных материалов путем добавления к исходной полимерной матрице различных добавок. Часто в качестве добавок используются углеродные наноматериалы, в том числе графеновые наноструктуры, которые за счет своих свойств могут кардинально изменять свойства конечных изделий. Так, теплопроводность однослойного графена составляет 5000 Вт/(м·К), а модуль Юнга составляет 1 ТПа. Однако применения на практике полимерных композитов с графеновыми наноструктурами до сих пор не произошло из-за их высокой себестоимости, обусловленной несовершенством методик синтеза как по подходу «снизу-вверх», так и по подходу «сверху-вниз».

Целью работы было исследование влияния малослойного графена (МГ), синтезированного из целлюлозы в условиях СВС процесса [1], на конечные прочностные и теплофизические свойства изделий из ФС, полученных DLP-методом 3D-печати. Разработанный метод синтеза МГ позволяет синтезировать его в больших объемах (тонны и более) при себестоимости в 40 тыс. р./кг.

В качестве исходного материала использовались фотополимерная смола марки Anycubic (405 нм, Китай). К заранее нагретой исходной до 60 °С ФС добавлялся порошок МГ при постоянной УЗ-обработке (22 кГц) и выдерживался в течение 30 мин. Концентрация МГ составляла не более 2 масс. %. Затем полученная суспензия МГ в ФС использовалась в качестве материала для печати изделий методом DLP на 3D-принтере Anycubic photons, Китай.

На рис. 1 и 2 соответственно представлены результаты измерения твердости образцов методом Бринелля (твёрдомер ИТБ-3000-АМ, ГОСТ РФ 9012–59)

и прочности на изгиб (пресс испытательный ПГМ-100МГ4, ГОСТ РФ 4648–2014). Погрешность измерений твердости составила ± 5 %. Погрешность измерений прочности на изгиб – ± 6 %.

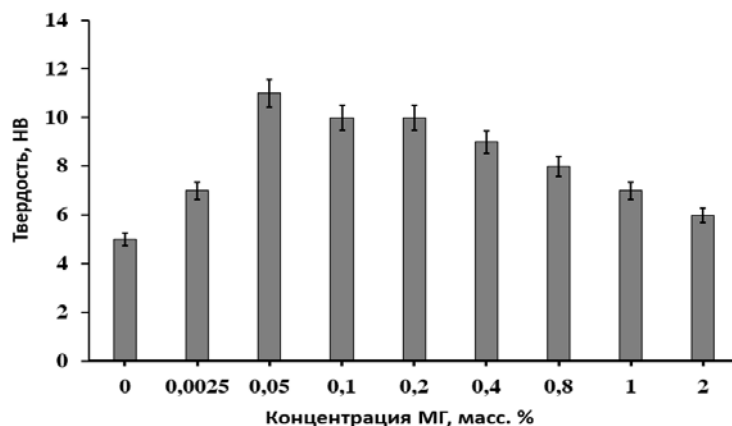


Рис. 1. Зависимость твердости по композитов от концентрации МГ

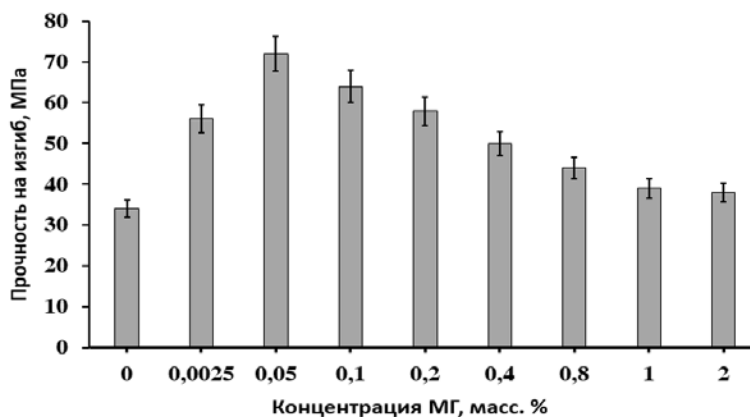


Рис. 2. Зависимость прочности на изгиб композитов от концентрации МГ

Как видно из рис. 1 и 2, введение МГ в концентрации не более 0,05 масс. % приводит к значительному (рост твердости до 57 % и рост прочности на изгиб до 2 раз) росту прочностных свойств. При дальнейшем увеличении концентрации МГ дальнейшего роста свойств не происходит, что может быть связано с невозможностью распределения больших объемов МГ без их агрегирования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и БРФФИ № 20-53-04026.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Structure and Paramagnetic Properties of Graphene Nanoplatelets Prepared from Biopolymers Using Self-Propagating High-Temperature Synthesis / A. A. Vozniakovski [et al.]. – J. Struct. Chem, 2020. – P. 826–834.

УДК 621.73.042

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКРЫТИЯ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ПРОТЯЖКЕ МЕТАЛЛА В СТУПЕНЧАТО-КЛИНОВЫХ БОЙКАХ

А. В. ВОЛОКИТИН, А. О. ТОЛКУШКИН, Е. А. ПАНИН

Рудненский индустриальный институт

Рудный, Казахстан

При получении заготовок для кузнечно-штамповочного производства одной из основных задач является устранение различных дефектов, образующихся на этапе литья. Наиболее типовыми дефектами этого класса являются дефекты несплошности – трещины, газовые пузыри, неметаллические включения и т. п. Наличие их в готовой поковке приводит к существенной анизотропии механических свойств по сечению заготовки, что может привести к поломке детали, выполненной из данной поковки. Поэтому исследования традиционных и разработка принципиально новых способов и устройств, позволяющих повысить уровень внутренней проработки металла в ходе кузнечных операций, остаются актуальными.

В ходе ранее проведенных исследований были предложены новые конструкции кузнечных бойков, конфигурация которых позволяет развить в металле одновременно сдвиговую и знакопеременную деформации [1]. При сравнительном анализе бойков двух конфигураций было выявлено, что применение клина на одном бойке и впадины на другом является наиболее оптимальным решением с точки зрения поверхностного формоизменения металла [2]. Данная работа посвящена изучению закрытия внутренних дефектов при протяжке металла в ступенчато-клиновых бойках оптимальной конфигурации с конечно-элементного моделирования в программе Deform.

В качестве исходной детали была создана заготовка квадратного сечения со стороной 30 мм и протяженностью 15 мм. Выбор небольшой протяженности был обусловлен тем, что на каждом из трех участков бойков конфигурация поверхности (характер наклона граней) остается неизменной, т. е. использование заготовки, длина которой заведомо меньше длины наименьшего из участков, равного 20 мм, дает возможность одновременно оценить формоизменение металла на переднем и заднем конце, а также в центральной зоне заготовки. При использовании заготовки большей длины аналогичные результаты получались бы в ходе разных этапов протяжки.

В качестве внутреннего дефекта было создано сквозное цилиндрическое отверстие диаметром 3 мм. При этом рассматривались три варианта вертикального расположения дефекта – в центре заготовки, вблизи верхней грани у клина и вблизи нижней грани у впадины. Для оптимизации расчета на заготовке была использована вертикальная симметрия (рис. 1). Материалом заготовки была выбрана сталь 35, нагретая до 1100 °С. Обжатие заготовки на каждом участке регламентировалось величиной изменения зазора в 10 % при деформировании на первом участке. Коэффициент трения на контакте заготовки и бойков

был принят равным 0,3. В результате расчета моделей получены следующие результаты (рис. 2).

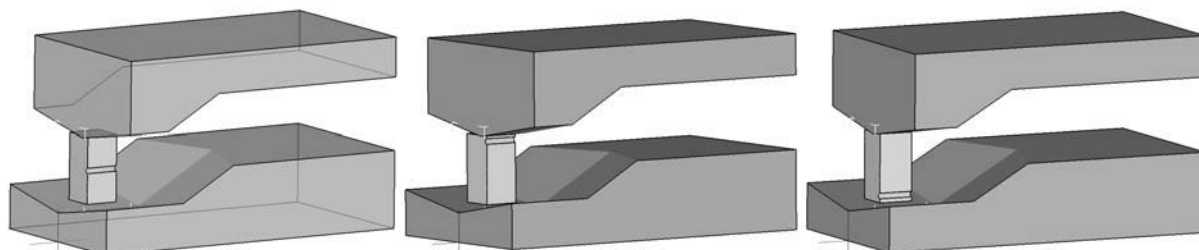


Рис. 1. Исходные модели

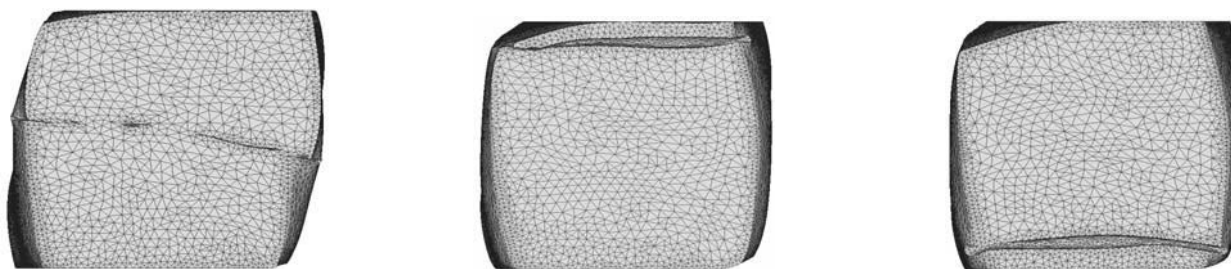


Рис. 2. Результаты моделирования

Во всех трех случаях закрытие внутреннего дефекта носит неравномерный характер. При этом наиболее интенсивное закрытие дефекта наблюдается при его расположении в осевой зоне заготовки. Дефекты, расположенные в поверхностных зонах, закрываются недостаточно хорошо. Это является следствием того, что в осевой зоне заготовка получает деформацию от одновременного действия клина и впадины обоих бойков, что характеризуется наклоном образующей дефекта. У поверхностных дефектов наклон наблюдается лишь со стороны ближайшего элемента конфигурации (клина или впадины), в этой же зоне происходит максимальное закрытие дефекта, которого из-за практически одиночного воздействия все равно недостаточно.

Учитывая то, что основная доля дефектов литых заготовок (в частности, кузнечных слитков) располагается именно в осевой зоне, данная конфигурация бойков является вполне предпочтительным выбором для эффективной проработки внутренних слоев металла с целью закрытия возможных дефектов.

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09057965).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Tolkushkin, A. O.** Study of the drawing process in a step-wedge dies / A. O. Tolkushkin, S. N. Lezhnev, E. A. Panin // *Materials Today: proceedings*. – 2019. – Vol. 19. – P. 1883–1886.
2. Development and computer modeling of a new forging technology in step-wedge strikers / A. Volokitin [et al.] // *Machines, technologies, materials 2021: proceedings of XVIII International Congress*. – 2021. – Vol. 3. – P. 287–290.

УДК 665.947.8

ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕРПЕНОИДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТИКОВЫХ ЛЫЖ

Е. И. ГАПАНЬКОВА¹, И. А. ЛАТЫШЕВИЧ¹, А. В. ПОЛХОВСКИЙ²¹Институт физико-органической химии НАН Беларуси²Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Технология спортивного инвентаря развивается быстрыми темпами. На смену деревянным лыжам пришли пластиковые. Появились новые полимерные материалы, усовершенствовалось оборудование.

В Республике Беларусь единственным производителем лыж является филиал «Телеханы» Республиканского производственно-торгового унитарного предприятия «Беларусьторг» Управления делами Президента Республики Беларусь. Разработка полимерного композиционного материала (препрега), не уступающего по своим характеристикам зарубежному аналогу, используемому в настоящее время на производстве – препрегу компании Hexcel, было приоритетной задачей. Разработано связующее на основе эпоксидной матрицы, органического растворителя и модифицирующих добавок, приготовленное механо-химическим методом. Благодаря наличию реакционноспособных групп в качестве отвердителя использовали терпеноидное сырье, которое является широко доступным в республике, а значит, экономически выгодным.

Лыжный бренд в настоящее время преобразован, что связано с приходом на рынок пластика. Примерная структура лыжи приведена на рис. 1.

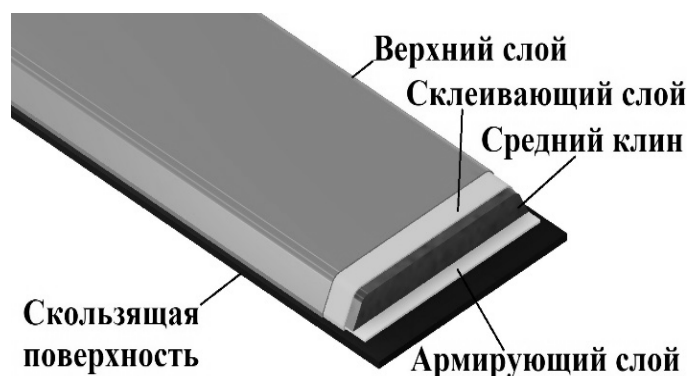


Рис. 1. Структура лыжи

Разработанный препрег представляет собой готовый для переработки однослойный армирующий наполнитель в форме однонаправленной ленты на основе директ-ровинга стеклянного, предварительно пропитанный специальным связующим в неотвержденном состоянии. Здесь связующее – полимерная композиция на основе эпоксидной смолы, отвердителя и функциональных добавок.

Для установления количественного содержания основных компонентов связующего была изучена научная литература и изготовлены около 400 лабораторных образцов.

Лабораторные образцы препрегов успешно прошли испытания по определению прочности на срез [1] и прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов [2]. По результатам этих испытаний отобраны перспективные образцы, изготовлены экспериментальные пластиковые лыжи для дальнейших испытаний по основным эксплуатационным показателям в Белорусском государственном технологическом университете.

Произведены измерения массы, длины, положения центра тяжести и стрелы прогиба лыж [3]. Детально изучены жесткость и прочность средней части лыжи при изгибе, жесткость передней и задней частей лыжи в соответствии с ГОСТ 30045 [4] и разработанной нами на его основе методики (лыжа спортивно-беговая. Методики оценки основных эксплуатационных показателей. 01.12.00.000 ПМ1, утверждена 22.07.19 г. (БГТУ)).

Проведенные исследования позволили уточнить рецептуру разработанной перспективной эпоксидной композиции для изготовления препрега, представленную в табл. 1.

Табл. 1. Рецептура эпоксидной композиции для изготовления препрега

Наименование расходуемых материалов, сырья	Содержание, масс. %
Эпоксидная смола	36,7
Отвердитель	24,5
Растворитель	28,8
Модифицирующая добавка	8,3
Ускоритель отверждения	1,7

Препрег на основе перспективной композиции позволил получить пластиковые спортивно-беговые лыжи, соответствующие нормативным требованиям и по эксплуатационным свойствам находящиеся на уровне импортных аналогов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клеи. Клеи неконструктивные для дерева. Определение напряжения сдвига при растяжении соединений внахлестку: DIN EN 205–2016. – Введ. 01.12.2016. – Нем. ин-т стандартизации, 2016. – 13 с.
2. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов: ГОСТ 15867–79. – Введ. 01.07.1980. – Москва: Изд-во стандартов, 1999. – 7 с.
3. Лыжи. Определение массы и положения центра тяжести: ГОСТ 30199–94. – Введ. 01.01.1996. – Москва: Госстандарт России, 1996. – 7 с.
4. Лыжи спортивно-беговые. Методы испытаний: ГОСТ 30045–93. – Введ. 01.01.1995. – Москва: Изд-во стандартов, 1994. – 15 с.

УДК 620.3

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

С. В. ГРАНЬКО, А. В. КОРОТКЕВИЧ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

Шаровая мельница – это устройство, предназначенное для тонкого, мокрого и сухого измельчения твердых материалов, широко применяющееся в горнорудной, химической, пищевой промышленности, а также для наноструктурирования различных материалов [1]. В результате использования шаровой мельницы получается требуемая степень измельчения материала, а при наноструктурировании – статистическое распределение частиц по линейным размерам, которое оценивается по результатам исследования методом растровой электронной микроскопии.

Факторами, влияющими на процесс механического наноструктурирования, являются физические свойства измельчаемого материала, диаметр, твердость и плотность мелющих тел – шаров, соотношение масс измельчаемого материала и шаров, частота вращения и время процесса. Процесс помола сложен для математического описания и моделирования, т. к. задействованы явления механики, реологии, трибологии и термодинамики наноструктур. Для ряда режимов возможны явления обратного характера – спекание наночастиц в более крупные конгломераты под действием температуры.

Несмотря на то, что температура шаров в процессе механического наноструктурирования является важным фактором, влияющим на результат, ее прямой контроль невозможен.

В рамках данной работы предложен косвенный метод контроля с помощью тестовых объектов, которые представляют собой шары с отверстиями, наполненными материалами с известной температурой плавления. На рис. 1 представлены стальные шары, использовавшиеся для наноструктурирования углерода на планетарной шаровой мельнице РМ 100, в качестве наполнителя использовались припой оловянно-свинцовые различных марок, т. к. данные материалы имеют различную температуру плавления (от 183 °С для ПОС-61 до 280 °С для ПОС-15). Суть применения данных объектов заключается в том, что при нагревании шаров до температуры плавления припоя припой будет оплаиваться из отверстия. По целости наполнителя в отверстии оценивается температура шаров.

Для изготовления тестовых объектов использованы стальные шары диаметром 4, 6, 8, 10 мм, сверление производилось на станке прецизионной лазерной резки МЛП1-2106, получены отверстия диаметрами от 2 до 5 мм и выполнены припоями оловянно-свинцовыми. Температурная калибровка проводилась с помощью камерной печи SNOL 58/350 LSN11, в результате установлена зависимость температуры оплавления от следующих факторов: марка припоя, время нахождения в камере печи, диаметр шаров и отверстий.

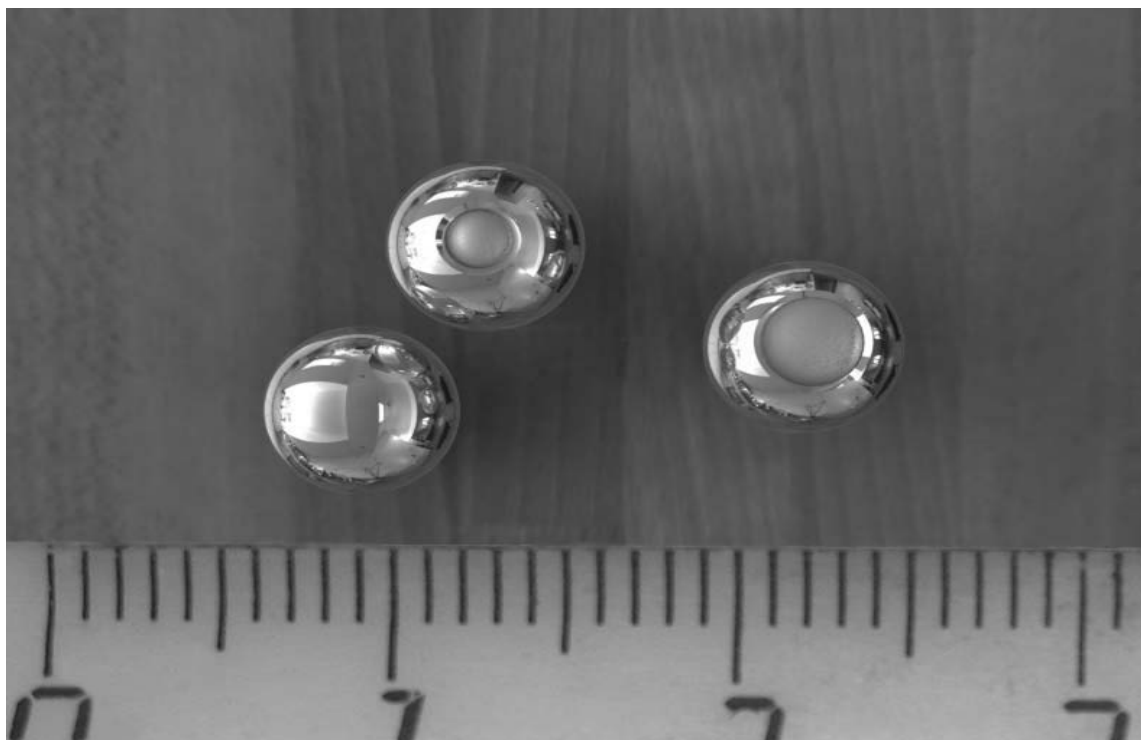


Рис. 1. Тестовые объекты для планетарной шаровой мельниц

Дальнейшее применение тестовых объектов позволило изучить и оптимизировать режимы работы планетарной шаровой мельницы РМ 100 при наноструктурировании углеродных материалов. Получены зависимости температуры шаров от частоты вращения, диаметра шаров, массового соотношения измельчаемого материала и шаров. Наилучшая воспроизводимость процесса оценки температуры установлена у объектов, диаметр отверстия которых равен половине диаметра шара.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балкин, А. Планетарные шаровые мельницы: измельчение до наноразмеров / А. Балкин // Наноиндустрия. – 2012. – № 2 (32). – С. 32–33.

УДК 621.74.047

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННОГО СЕРОГО ЧУГУНА НА ТВЕРДОСТЬ

В. П. ГРУША, К. Н. БАРАНОВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

Метод непрерывно-циклического литья полых цилиндрических отливок направленным затвердеванием (намораживанием) является одним из перспективных способов получения заготовок червячных колес. Он обеспечивает получение изделий из различных типов чугуна [1] с высокой производительностью, является экологически чистым и уже по определенной номенклатуре освоен в промышленном производстве. Исследования, направленные на совершенствование технологии литья и расширение разрешающей способности нового метода, являются целесообразными и актуальными.

Для анализа качества чугунных отливок по параметрам кристаллизации как для традиционных способов литья, так и для литья намораживанием практическое значение имеет углеродный эквивалент S_E или степень эвтектичности S_E , отношение углерода к кремнию C/Si и взаимосвязь этих параметров с пределом прочности и твердостью.

Степень эвтектичности S_E [2] представляет собой показатель положения чугуна данного состава относительно эвтектического состава:

$$S_E = C / (4,26 - 0,3 Si - 0,33 P - 0,4 S - 0,25 Cu - 0,07 Ni + 0,03 (0,04) Mn).$$

Приготовление расплава для литья намораживанием проводили в индукционной печи ИСТ-025 с кислой футеровкой. При индукционной плавке появляется возможность широкого варьирования химическим составом выплавляемого чугуна и, в частности, соотношением углерода и кремния для достижения высоких прочностных показателей.

В качестве шихтовых материалов использовались чушковые чугуны литейные (ЛЗ) и передельные (ПЛ2), лом стальной (СтЗ), лом чугунный, возврат, стружка чугунная россыпью, легирующие элементы и ферросплавы. Для микролегирования в расплав чугуна (взамен дорогостоящих FeV , $FeMo$, $FeCr$, Ni и Cu) добавляли лом чугуна «нирезист» и быстрорежущей инструментальной стали Р6М5.

Анализ химического состава чугуна (табл. 1) проводили с использованием оптико-эмиссионного спектрометра Solaris фирмы GNR (Италия) с программным обеспечением Metallab32.

Измерение твердости по методу Бринелля с использованием твердомера ТШ-2М проводили непосредственно на заготовках ($h = 52$ мм), на которые разрезалась отливка (по четыре заготовки с одной отливки высотой $H = 245$ мм). Твердость материала по периметру обоих торцов заготовки (в рабочей зоне зуба червячного колеса) определялась в шести точках.

Табл. 1. Химический состав экономнолегированного чугуна

Номер опыта	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	V	W	S	P	S _э
1	3,06	1,76	0,78	0,086	0,13	0,209	0,066	0,01	0,084	0,05	0,07	0,84
2	2,91	1,61	0,768	0,133	0,13	0,215	0,077	0,024	0,085	0,04	0,14	0,79
3	2,99	1,53	0,865	0,108	0,11	0,202	0,079	0,019	0,084	0,041	0,07	0,8
4	3,047	1,98	0,798	0,103	0,21	0,417	0,093	0,055	0,05	0,043	0,124	0,87

В результате комплексного анализа химического состава и свойств полых цилиндрических отливок, полученных методом намораживания, установлена зависимость (рис. 1) изменения твердости серого специального экономнолегированного чугуна от степени эвтектичности.

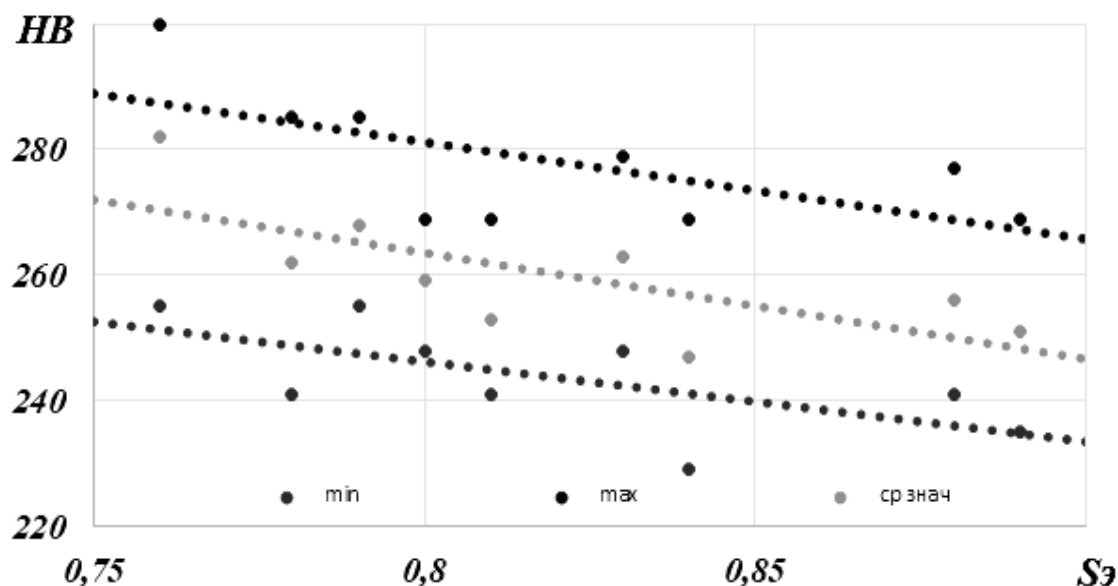


Рис. 1. Зависимость изменения твердости серого специального экономнолегированного чугуна от степени эвтектичности

Показано, что в заготовках червячных колес из серого экономнолегированного чугуна твердость, требуемую по техническим условиям заказчика (ОАО «Могилевхимволокно»), в пределах 241...285 НВ можно гарантированно получить при степени эвтектичности 0,77...0,85.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Груша, В. П. Особенности литья намораживанием полых цилиндрических заготовок из аустенитного чугуна / В. П. Груша, В. Ф. Бевза. – Москва: РАЛ, 2021. – С. 146–150.
2. Шерман, А. Д. Чугун: справочник / А. Д. Шерман; под ред. А. Д. Шермана, А. А. Жукова. – Москва: Металлургия, 1991. – 576 с.

УДК 539.216;539.22

ВЛИЯНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ НА КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СИЛУМИНОВ

О. В. ГУСАКОВА

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

Широкое использование силуминов в различных отраслях промышленности приводит к большому количеству исследований его эксплуатационных свойств. В частности, применение изделий силуминов в различных агрессивных средах требует понимания химических процессов на поверхности металла и исследования коррозионной стойкости [1]. В то же время количество публикаций, посвященных исследованию влияния сверхвысоких скоростей охлаждения, коррозионных свойств силуминов, полученных методом сверхбыстрой закалки из расплава, ограничено.

Экспериментальная установка для исследования коррозионной стойкости состояла из потенциостата-гальваностата Р-45Х компании Electrochemical Instruments. Электрохимические эксперименты выполнены в стандартной трехэлектродной стеклянной ячейке (300 мл) с общим электродным пространством. Использовались графитовый вспомогательный электрод и насыщенный хлорсеребряный электрод сравнения ЭВЛ-1МЗ. В потенциодинамических измерениях скорость развертки потенциала составляла 10 мВ/с. Электрохимические измерения проведены в 5-процентном растворе NaCl. Электролит был приготовлен из химически чистых реактивов с использованием бидистиллированной воды. В качестве рабочих электродов были использованы фольги.

На рис. 1 и 2 представлены потенциодинамические кривые быстрозатвердевших сплавов АК12оч и Al – 11,8 ат. % Si – 0,8 ат. % Mg – 0,3 ат. % Mn – 0,4 ат. % Fe – 0,4 ат. % Ni – 0,8 ат. % Cu соответственно.

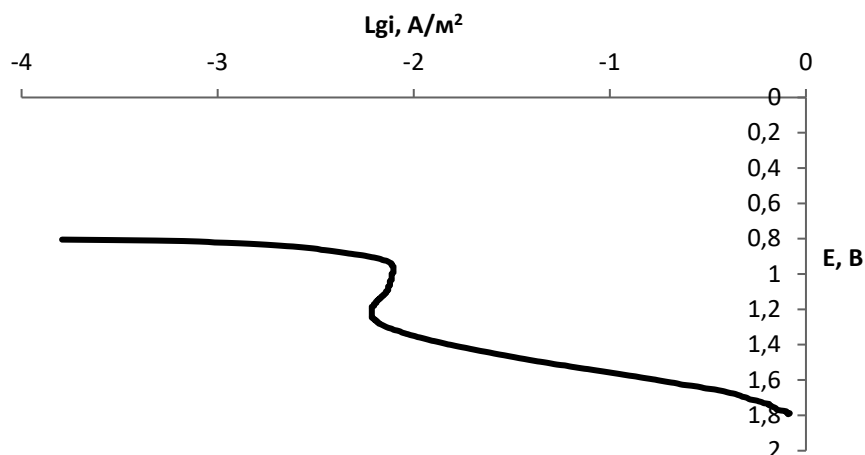


Рис. 1. Анодная потенциодинамическая кривая фольги быстрозатвердевшего силумина АК12оч

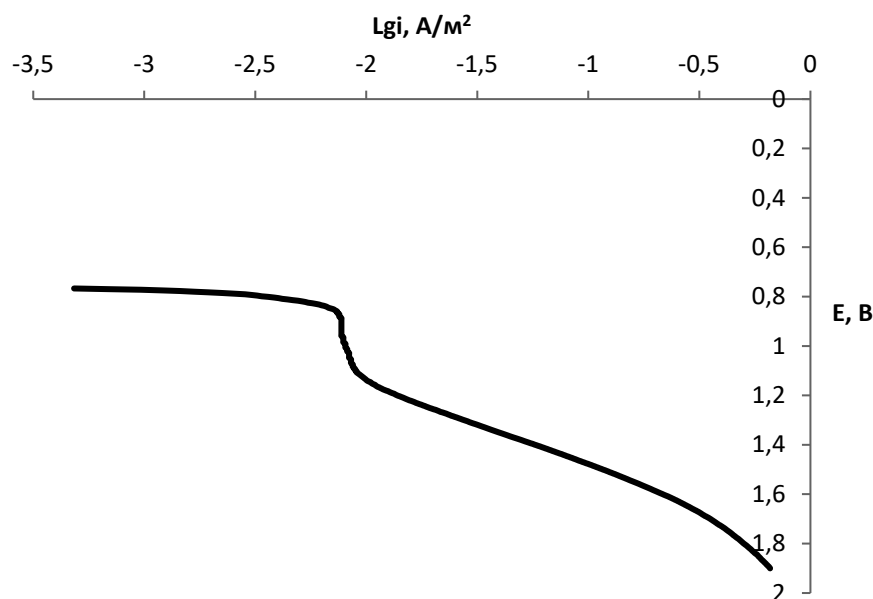


Рис. 2. Анодная потенциодинамическая кривая фольги быстрозатвердевшего силумина Al – 11,8 ат. % Si – 0,8 ат. % Mg – 0,3 ат. % Mn – 0,4 ат. % Fe – 0,4 ат. % Ni – 0,8 ат. % Cu

Результаты анализа потенциодинамических кривых быстрозатвердевших сплавов АК12оч и Al – 11,8 ат. % Si – 0,8 ат. % Mg – 0,3 ат. % Mn – 0,4 ат. % Fe – 0,4 ат. % Ni – 0,8 ат. % Cu приведены в табл. 1.

Табл. 1. Коррозионно-электрохимические характеристики быстрозатвердевших сплавов в среде электролита NaCl

Сплав	$i_{кор}, \text{A/m}^2$	$K \cdot 10^{-3}, \text{г/(м}^2 \cdot \text{ч)}$
АК12оч	0,0075	2,51
Al – 11,8 Si – 0,8 Mg – 0,3 Mn – 0,4 Fe – 0,4 Ni – 0,8 Cu	0,0070	2,34

Скорость коррозии K определяли по току коррозии $i_{кор}$ по формуле

$$K = i_{кор} \cdot k,$$

где $k = 0,335 \text{ г/(A} \cdot \text{ч)}$ для алюминия [2].

Анализ полученных значений скорости коррозии позволяет утверждать, что многокомпонентное легирование не приводит к понижению коррозионной стойкости фольг силумина в растворе NaCl.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенфельд, И. Л. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями / И. Л. Розенфельд, Ф. И. Рубинштейн, К. А. Жигалова. – Москва: Химия, 1987. – 224 с.
2. Потенциодинамическое исследование сплава АЖ 4.5, легированного свинцом в среде электролита NaCl / Ф. Р. Одинаев [и др.] // Обработка сплошных и слоистых материалов. – 2016. – № 2 (45). – С. 68–71.

УДК 539.216;539.22

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ФОЛЬГИ НА МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА Al–Si
ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ЗАТВЕРДЕВАНИИС. В. ГУСАКОВА¹, О. В. ГУСАКОВА², М. В. ГОЛЬЦЕВ³¹Белорусский государственный университет²«Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета³Белорусский государственный медицинский университет

Минск, Беларусь

Высокоскоростное затвердевание алюминиевых сплавов, в том числе сплавов Al–Si (силуминов), обеспечивает измельчение структурных составляющих и повышение эксплуатационных свойств [1]. Технически легко реализуемым является метод закалки из расплава. В этом методе материал получается в виде фольги при затвердевании тонкого слоя расплава после его растекания по внутренней поверхности барабана-кристаллизатора. Целью работы является установление закономерности влияния толщины фольги на микроструктуру силумина, легированного металлами.

Представлены результаты исследования микроструктуры фольги сплава Al – 10,6 Si – 0,9 Mg – 0,3 Mn – 0,6 Fe – 0,7 Ni – 1,9 Cu (цифры даны в масс. %). Фольга получалась при выплескивании капли расплава на вращающийся барабан. При этом капля разделялась на несколько частей различного объема, что приводило к образованию фольги разной толщины. Для исследования выбирали фольгу толщиной 100, 38, и 22 мкм. Микроструктура фольги в поперечном сечении исследовалась с помощью растрового электронного микроскопа. Состав участков определялся методом рентгеноструктурного микроанализа.

На рис. 1, а, б представлен общий вид микроструктуры фольги сплава Al – 10,6 Si – 0,9 Mg – 0,3 Mn – 0,6 Fe – 0,7 Ni – 1,9 Cu толщиной 100 и 22 мкм, а также приведены изображения микроструктуры участков фольги при большем увеличении (рис. 1, в, г, соответственно). В микроструктуре фольги выявляются эвтектические зерна, состоящие из чередующихся участков алюминия и кремния. По границам зерен локализованы светлые области, образованные интерметаллическими соединениями на основе легирующих элементов.

Микроструктура материала зависит от скорости охлаждения расплава, которая при прочих равных технологических параметрах для данного материала обратно пропорциональна толщине фольги [2]. Установлено, что уменьшение толщины фольги приводит к понижению размеров эвтектического зерна. Исследование распределения элементов вдоль линий сканирования L–L^I демонстрирует измельчение структуры эвтектической смеси. Средний размер чередующихся участков Al и Si в фольге толщиной 100 мкм составляет 1,4 мкм, а в фольге толщиной 22 мкм – 0,5 мкм. В толстой фольге при меньших скоростях охлаждения расплава образование интерметаллических соединений протекает

после оттеснения легирующих металлов к границам дендритов Al. Интерметаллические включения выделяются в основном по границам дендритов α -Al и эвтектического зерна.

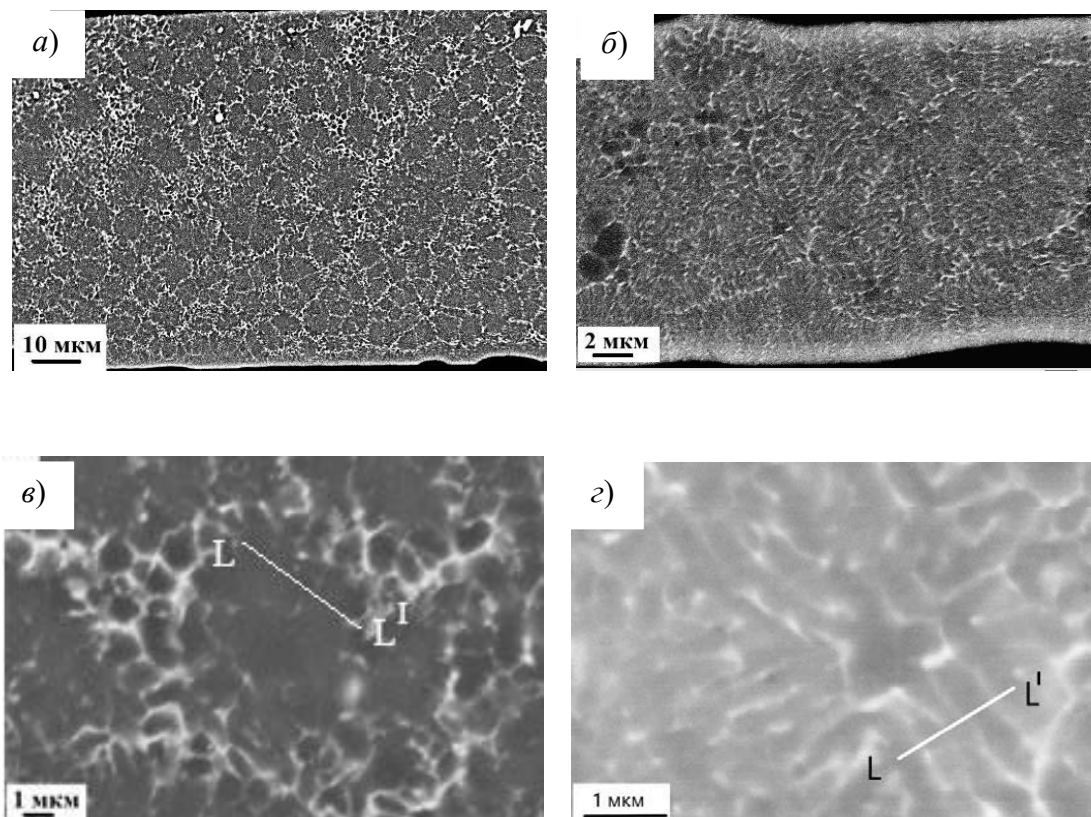


Рис. 1. Микроструктура фольги сплава Al – 10,6 Si – 0,9 Mg – 0,3 Mn – 0,6 Fe – 0,7 Ni – 1,9 Cu различной толщины d : а, в – $d = 100$ мкм; б, г – $d = 36$ мкм

Обнаружено, что повышение скорости охлаждения расплава за счет уменьшения толщины фольги приводит в сплаве Al – 10,6 Si – 0,9 Mg – 0,3 Mn – 0,6 Fe – 0,7 Ni – 1,9 Cu к изменению распределения легирующих элементов. Концентрация интерметаллических соединений в объеме эвтектической смеси почти равна концентрации на границе зерна. Толщина слоя выделений на границе пластин алюминия и кремния не превышает 100 нм.

Таким образом, уменьшение толщины фольги приводит к измельчению структурных составляющих и однородному распределению включений на основе легирующих элементов по объему эвтектического зерна и фольги.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Марукович, Е. И.** Основные проблемы литья силуминов. Пути решения / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // *Литье и металлургия*. – 2016. – № 3 (84). – С. 28–30.
2. **Калиниченко, А. С.** Определение глубины переохлаждения расплава и характера структурообразования при закалке из жидкого состояния / А. С. Калиниченко, Ю. К. Кривошеев // *Литье и металлургия*. – 2001. – № 3. – С. 60–65.

УДК 621.74.047

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ РАСПЛАВА ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННОГО ЧУГУНА

А. П. ГУТЕВ, В. П. ГРУША

Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

В настоящее время при разработке технологии приготовления расплава наблюдается тенденция по существенному изменению соотношения между доменными (передельным и литейным) чугунами и вторичными (лом чугуна, стали, возврат собственного производства) материалами. Увеличение доли чушковых чугунов приводит к увеличению содержания углерода, серы, вредных примесей, газов и неметаллических включений в выплавляемом чугуне. Снижение содержания кремния и марганца в шихте, приготовленной с использованием стальных отходов и возврата собственного производства, вызывает необходимость применения дорогостоящих ферросплавов.

Цель работы заключалась в разработке состава шихты и технологии приготовления расплава экономнолегированного серого чугуна для литья методом намораживания заготовок червячных колес с твердостью 241...285 НВ.

Одним из путей снижения себестоимости отливок, полученных методом непрерывно-циклического литья, является выплавка чугуна с заменой дорогостоящих доменных чугунов и ферросплавов относительно дешевым стальным высоколегированным ломом. Стальные отходы с минимальным содержанием вредных примесей (серы и фосфора) являются более предпочтительными материалами, чем литейные и предельные чугуны, однако их применение в составе шихты ведет к необходимости науглероживания расплава. Уменьшение доменных чугунов и замена их стальным ломом в шихтовой завалке при выплавке чугуна приводит к повышению прочностных характеристик металла за счет роста дисперсности графита и одновременно повышает склонность к отбелу, что затрудняет обрабатываемость.

В качестве науглероживателя при получении синтетического чугуна используют материалы искусственного происхождения (кокс, древесный уголь, графитная крошка различных марок) и природные (чешуйчатый графит и антрацитовые угли). Науглероживание расплава при получении синтетического чугуна происходит из-за диффузионного растворения углерода в жидком чугуне.

В качестве легирующих элементов в сером чугуне чаще всего используют хром, никель, медь, реже – ванадий, в специальных случаях – молибден. Легирующие элементы изменяют растворимость углерода в жидком чугуне, в затвердевающем аустените, входят в состав феррита и карбидной фазы. За счет стабилизации, измельчения перлита и легирования его составляющих повышаются механические свойства чугуна.

Характер изменения прочностных показателей отливок, полученных намораживанием из экономнолегированного чугуна, выплавленного в индукционной

печи, с различным количеством стали в металлозавалке совпадает с результатами других исследований [1]. Влияние содержания стали при плавке серого чугуна в электропечах на его прочность приведены на рис. 1. Авторами работы установлено, что при содержании 20 %...25 % стального лома в шихте и достаточно высоком уровне перегрева металла можно получить высокую твердость (190...230 НВ) и без легирования.

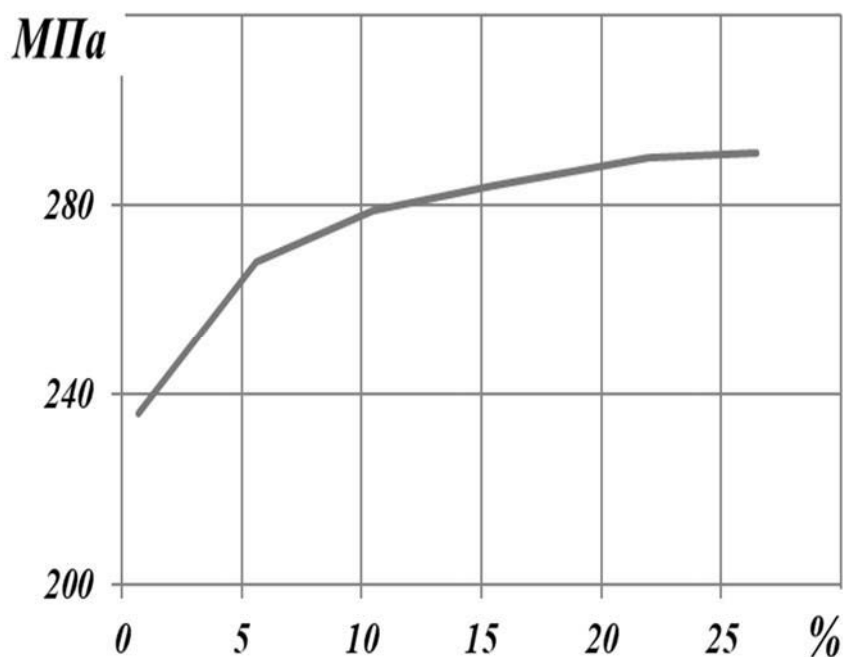


Рис. 1. Влияние содержания стали в шихте на прочность серого чугуна

На основе проведенных экспериментальных исследований разработан состав шихты для выплавки экономнолегированного серого специального чугуна. Состав включает пониженное содержание чушковых чугунов, возврат собственного производства и лом стали в количестве до 15 %. При этом науглероживание расплава осуществлялось смесью, состоящей из карбюризатора «карбомакс» и боя электродного графита. Разработана методика микролегирования расплава легированными отходами: чугуна «нирезист» и инструментальной стали Р6М5.

На опытно-промышленном участке института по разрабатываемой технологии налажен выпуск заготовок червячных колес из серого экономнолегированного чугуна для ОАО «Могилевхимволокно».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шерман, А. Д. Чугун: справочник / А. Д. Шерман; под ред. А. Д. Шермана, А. А. Жукова. – Москва: Металлургия, 1991. – 576 с.

УДК 621.74:517.977

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ ОТЛИВКИ
С ВНУТРЕННИМИ ХОЛОДИЛЬНИКАМИ

П. Ю. ДУВАЛОВ, В. А. ПУМПУР

Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

Эффективность работы дробильно-размольной техники напрямую зависит от работоспособности материалов основных рабочих элементов. К этим материалам предъявляется ряд требований, главными из которых являются прочность и абразивная стойкость. Важнейшим фактором, влияющим на срок службы литых деталей дробильно-размольного оборудования (ДРО) из износостойкого хромистого чугуна (ИЧХ), является скорость кристаллизации отливки при литье. Размеры тригональных карбидов $(Cr, Fe)_7C_3$ оказывают существенное влияние на износостойкость ИЧХ. Так, уменьшение размеров карбидов значительно увеличивает стойкость ИЧХ при ударно-абразивном износе, который наблюдается в защитных деталях центробежных дробилок и мельниц. Благоприятное влияние увеличения скорости кристаллизации на величину карбидов и, следовательно, на износостойкость ИЧХ наблюдается при скоростях охлаждения отливки, близких к 10 К/с. При дальнейшем увеличении скорости охлаждения размеры карбидов и износостойкость меняются незначительно.

При изготовлении массивных толстостенных деталей необходимо принимать меры, ускоряющие процесс кристаллизации, например, отливать такие детали в металлические формы. Более высокие скорости охлаждения расплава в форме создают благоприятные условия для увеличения числа центров кристаллизации в расплаве, формирования структуры отливки с мелкими зернами металлической матрицы и карбидной фазы, повышения плотности литого металла.

При увеличении толщины стенок отливки наблюдается разница скорости кристаллизации поверхностных и внутренних слоев отливки. Для выравнивания скорости кристаллизации по всему сечению отливок применяются способы внутреннего воздействия. Это воздействие может выражаться в использовании внутренних холодильников, причем холодильники могут быть как нерасплавляемыми, так и расплавляемыми. Положительный эффект от применения холодильников связывают с увеличением переохлаждения объема расплава.

Отливки, изготовленные из ИЧХ, имеют существенный недостаток – твердость в центре отливок значительно ниже, чем на поверхности отливок. Это связано с тем, что в середине отливки размер структурных составляющих (особенно карбидов) значительно (в 2–3 раза) больше, чем на поверхности. Поэтому весьма актуальной является задача по получению отливок, имеющих примерно одинаковую структуру и твердость по всему сечению.

Целью проведенных исследований являлось изучение особенностей теплопереноса при литье отливок из ИЧХ с применением суспензионной

заливки расплава для ввода внутренних холодильников в виде дробы из феррохрома и белого чугуна.

В процессе выполнения научно-исследовательской работы осуществлено математическое моделирование теплопереноса при затвердевании и охлаждении отливки с учетом охлаждения расплава за счет введения дробы различной массы – 2 %; 5 % и 10 % от массы заливаемого в форму расплава ИЧХ.

Получена информация о влиянии массы дробленых материалов на скорость затвердевания отливок из ИЧХ, а также об особенностях их формирования. В частности, из анализа результатов расчета параметров процесса литья с использованием в качестве холодильников дробы из белого чугуна и феррохрома сделан вывод о том, что их воздействие на кинетику затвердевания отливок отличается незначительно (табл. 1).

Табл. 1. Результаты расчета доли твердой фазы в процессе затвердевания отливки с добавлением дробы

Время, с	Доля твердой фазы в процессе затвердевания, %					
	Масса дробы, % от массы расплава					
	Дробь из белого чугуна			Дробь из феррохрома		
	2	5	10	2	5	10
0	0	0	0	0	0	0
20	2	3,7	10,2	2	3,3	9,5
40	11,2	12,7	17,6	11,1	12,2	16,9
60	20,7	22	26,2	20,7	21,5	25,5
80	30,6	31,7	35,6	30,6	31,2	34,9
100	40,9	41,8	45,6	40,8	41,4	44,9
120	51,7	52,6	56,6	51,6	52,1	55,8
140	67	69	76,3	66,9	68,1	74,9
160	94,8	98,2	100	94,5	96,4	100

Различия в кинетике затвердевания отливки при применении дробы массой 2 % и 10 % от массы заливаемого в форму расплава значительны и составляют от 7,5 % доли твердой фазы в начале процесса до 4 % в последующем.

Средняя скорость охлаждения перегретого расплава за первые 20 с процесса литья составила 4,75 К/с при использовании дробы меньшей массы по сравнению с 5,5 К/с в другом случае. Средняя скорость охлаждения перегретого расплава за первые 80 с процесса литья также выше в случае использования холодильников большей массы (2,63 К/с против 2,5 К/с), что, конечно же, говорит в пользу их выбора. Но сравнить эффективность использования дробы из различных материалов в качестве внутренних холодильников для улучшения эксплуатационных свойств деталей из ИЧХ предстоит после изучения структуры полученных отливок в процессе выполнения дальнейших исследований.

УДК 669.2/8:539.2

ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ БЕССВИНЦОВЫХ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВОВ ОЛОВО – ЦИНК

Д. А. ЗЕРНИЦА¹, В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ²¹Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина

Мозырь, Беларусь

²Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

Исследования кристаллизации цинка и его сплавов ведутся достаточно давно. В ранней работе Александрова [1] при исследовании влияния термической предыстории чистых массивных образцов Zn и Cd на их кристаллизацию было установлено, что цинк не имеет предкристаллизационного переохлаждения и кристаллизация, имеющая равновесный характер, происходит при температуре кристаллизации, совпадавшей с температурой плавления цинка, а переохлаждение равно нулю. К сожалению, работ, посвященных исследованию кристаллизации цинка с оловом в неравновесных условиях, встречается крайне мало и работы в основном ведутся в областях малых концентраций цинка. Целью исследования является изучение формирования структур при высокоскоростной кристаллизации сплавов цинка с оловом в составах, находящихся в интервалах 0...100 масс. % Zn.

Исследуемые фольги получались методом сверхбыстрого затвердевания из расплава, описанного в [2]. Как было установлено нами ранее, для быстро-затвердевших фольг формируется дисперсная структура, распределение элементов в которой однородное. Кристаллизация сплавов Sn–Zn со сверхвысокими скоростями охлаждения протекает в следующем порядке. Если в чистом олове растворено небольшое количество цинка, то образуется пересыщенный твердый раствор на основе олова. Так как твердый раствор пересыщен, комнатные температуры для него являются высокими и из твердого раствора выделяется цинк. Подобным образом происходит превращение при концентрациях цинка менее 4 масс. %. Для областей концентраций, близких к эвтектике, на графике зависимости параметра ячейки a от концентрации цинка (рис. 1, a) наблюдаются насыщение и дальнейшее падение значения параметра со стабилизацией в области заэвтектических составов ($Zn > 10$ масс. %). Следовательно, вблизи концентрации 4 масс. % образуется пересыщенный твердый раствор и выделяется цинк. Приближаясь к эвтектике, меняется ее состав: образуются твердый раствор цинка в олове и отдельные крупные выделения частиц цинка, наблюдаемые в структуре.

Выделение пересыщенного твердого раствора можно наблюдать на графике зависимости параметра элементарной ячейки a от времени выдержки (рис. 1, b). С увеличением времени выдержки параметр a олова растет, что подтверждает теорию о пересыщении олова цинком. Дальнейшая выдержка приводит к увеличению параметра a , поскольку цинк выходит из олова. Следовательно, образуется пересыщенный твердый раствор, который сопровождается выделением цинка, приводя к уменьшению его доли в олове, и изменением первоначальной концентрации цинка, например, от 8,8 масс. % до 6 масс. %. Далее кристаллизуется

олово, содержащее 6 масс. % Zn, и цинк захватывается оловом. Образуется пересыщенный твердый раствор на основе олова, а затем цинк постепенно выходит из олова, формируясь в виде большого числа дисперсных выделений. Отметим, что с увеличением содержания цинка в быстрозатвердевших фольгах Sn–Zn растет физическое уширение (см. рис. 1), что объясняется увеличением микронапряжений.

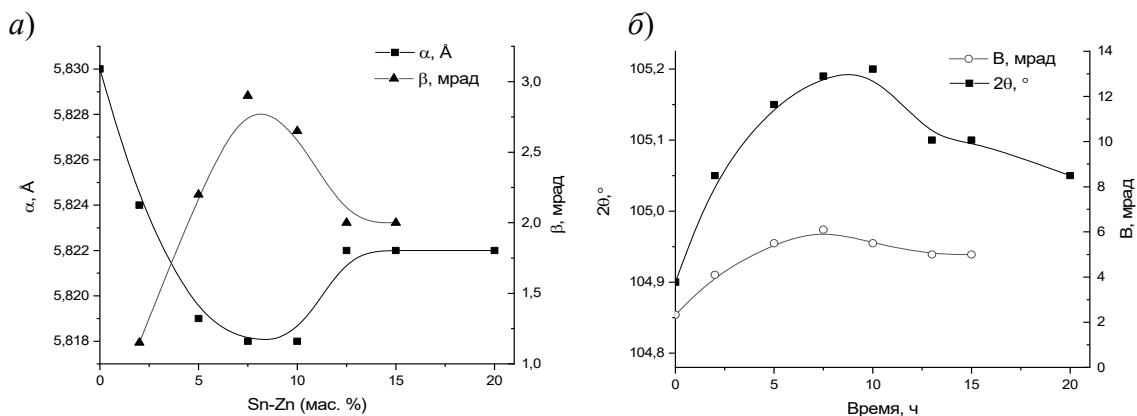


Рис. 1. График зависимости параметра элементарной ячейки и физического уширения дифракционной линии: *a* – от концентрации цинка в быстрозатвердевших фольгах Sn–Zn; *б* – от времени выдержки быстрозатвердевшего эвтектического сплава Sn – 8,8 масс. % Zn

Процесс кристаллизации быстрозатвердевших сплавов цинк – олово с малым содержанием олова подобен процессу, рассмотренному выше. Так, в быстрозатвердевшем сплаве Zn – 5 масс. % Sn процесс кристаллизации начинается с выделением цинка, который захватывает олово, и затем из этого сплава образуется пересыщенный твёрдый раствор. Твёрдый раствор на основе цинка является пересыщенным, и из него постепенно выделяется олово. Аналогичный процесс протекает и в быстрозатвердевших сплавах более высокими концентрациями цинка (до 80 масс. %).

Рассмотрим формирование структуры в быстрозатвердевших сплавах Sn–Zn с равными значениями объёмных долей ($c \sim 50/50$ масс. %). По мере достижения температуры ликвидуса начинает выделяться цинк, что приводит к изменению состава. Частицы цинка увеличиваются, и одновременно протекает эвтектическое превращение, сопровождающееся выделением смеси цинка и олова. Из переохлаждённого расплава выделяется белая масса, являющаяся смесью олова и цинка, из которой в последующем выделяется олово. Олово закристаллизовалось первым, затем из твёрдого раствора олова выделился цинк, который формируется у границ, с образованием дисперсных выделений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Александров, В. Д.** Исследование влияния термической предыстории расплавов цинка и кадмия на их кристаллизацию / В. Д. Александров, А. А. Баранников // Письма в ЖТФ. – 1998. – Т. 24, № 14. – С. 73–78.
2. **Shepelevich, V. G.** The Formation of the Structure of the Alloys of the Tin–Zinc System upon High-Speed solidification / V. G. Shepelevich, D. A. Zernitsa // Inorganic Materials: Applied Research. – 2021. – Vol. 12, № 4. – P. 1094–1099.

УДК 669.15

НЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЕ АЛЮМИНИЕВОГО ПРУТКА
МАЛОГО СЕЧЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНО ВВЕРХ

А. М. КОВАЛЁВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

Непрерывное литье цветных металлов вверх – одно из прогрессивных направлений. Суть метода состоит в погружении кристаллизатора в расплав на рабочую глубину с последующей вытяжкой отливки в режиме «ход – пауза» [1]. Данная технология широко распространена для литья меди и её сплавов. Представляет интерес получение алюминиевого прутка диаметром 9,5 мм электротехнического назначения.

В результате исследований выявлена проблема, влияющая на стабильность процесса литья. При непрерывном литье алюминиевого прутка происходит износ внутренней поверхности фильеры кристаллизатора. По мере увеличения шероховатости увеличивается и сила трения покоя между сформировавшейся корочкой и графитовой основой, и в момент, когда прочность намораживаемой корочки становится меньше силы трения покоя, происходит разрыв прутка по схеме, показанной на рис. 1.

Искусственный графит, из которого изготавливаются фильеры для кристаллизатора, имеет ряд недостатков [2].

1. Интенсивное смачивание алюмином графита (краевой равновесный угол смачивания $\theta < 90^\circ$).

2. Наличие пористости обоих типов в графитовых материалах, применяемых в промышленном производстве (величина пористости меняется в зависимости от марки и производителя).

3. Склонность графита к межслоевой пропитке.

Это и приводит к нарушению стабильности процесса литья алюминиевого прутка. В связи с этим были проведены эксперименты по легированию расплава алюминия, в ходе которых выявлено, что при достижении примесей в виде меди, железа и кремния в общем количестве 1,9 % происходит укрепление намораживаемой корочки до уровня, достаточного для преодоления силы трения покоя, в результате прутки идут гладкие, без видимых дефектов. Однако при повышении содержания примесей снижается электропроводность, поэтому решено пойти по пути замены графитовой фильеры на материал, не взаимодействующий с расплавом алюминия.

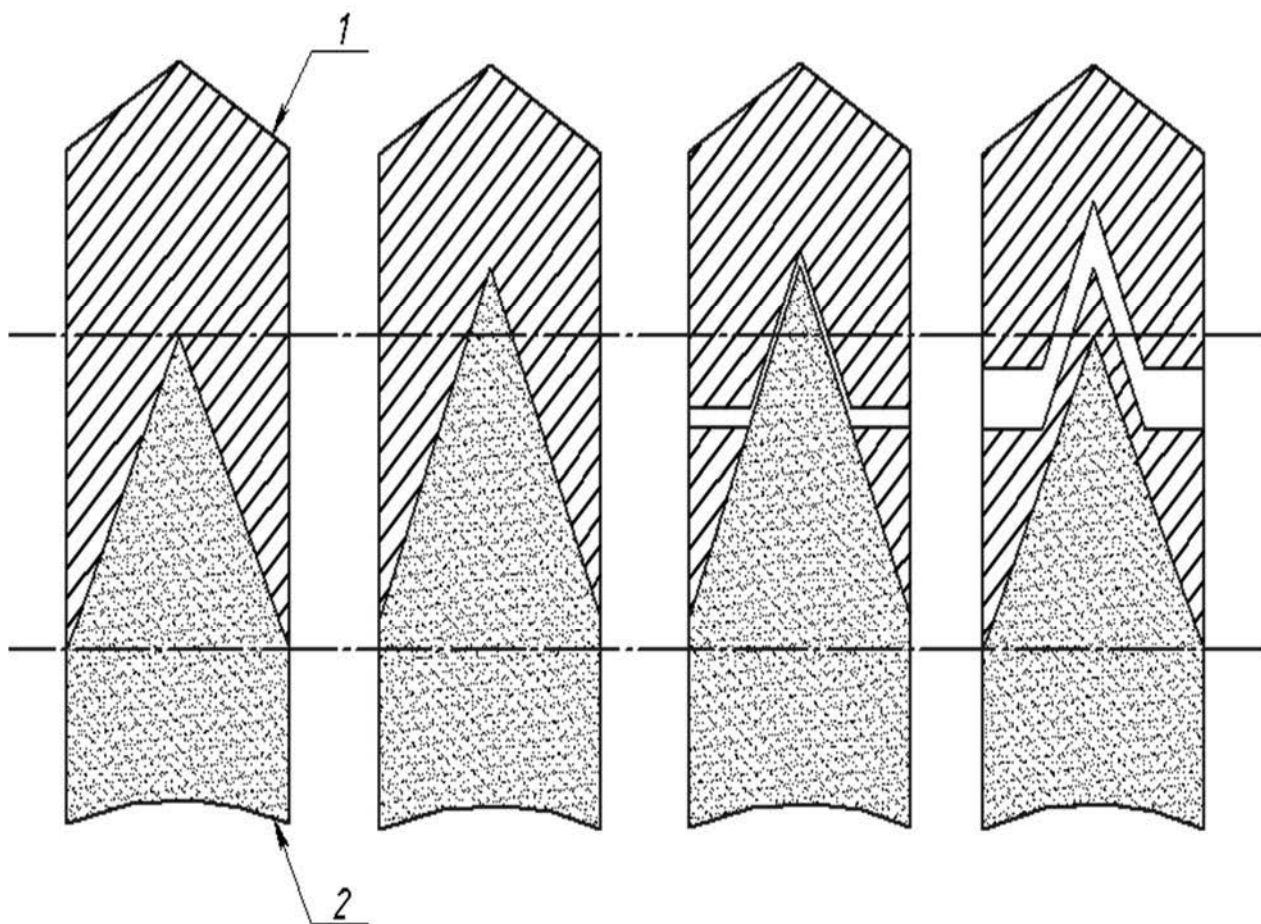


Рис. 1. Схематическое изображение процесса разрыва прутка: 1 – кристаллизованный металл; 2 – жидкий расплав

В настоящее время ведутся работы по поиску подходящего материала, а также по нанесению покрытия на внутреннюю часть фильеры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Непрерывное литье алюминиевой катанки / Е. И. Марукович [и др.] // Литейное производство и металлургия 2020. Беларусь: материалы 28 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 25–27 нояб. 2020 г. – Минск: БМЗ, 2020. – С. 28–32.

2. **Федоров, В. Б.** Углерод и его взаимодействие с металлами / В. Б. Федоров, М. Х. Шоршоров, Д. К. Хакимова. – Москва: Металлургия, 1978. – 208 с.

УДК 539.4: 666.3

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ НА ОСНОВЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

И. М. КУЗМЕНКО, А. Д. КРИЖЕВСКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Аддитивные технологии изготовления деталей и элементов конструкций получают все большее применение в различных областях техники [1]. Материалы для производства таких изделий обладают широким спектром свойств, которые в основном исследуются при статических видах нагружения на однородных образцах, не имеющих дефектов. Однако многие материалы, такие как керамика, порошковые материалы, композиты, склонны к хрупкому разрушению и обладают низкой трещиностойкостью (вязкостью разрушения) [2, 3].

Трещиностойкость характеризует сопротивление материала зарождению и развитию трещин.

В [3–5] и других работах рассмотрены понятия трещиностойкости, вязкости разрушения и методики экспериментального определения этих характеристик.

Для определения трещиностойкости материалов проводятся специальные испытания. Испытания металлических образцов выполняются в соответствии с ГОСТ 25.506–85 [6].

Стандартизированных методик для исследования трещиностойкости пластмасс и композитов нет. Поэтому на практике используются рекомендации указанного выше ГОСТа, в частности, испытания образцов из исследуемого материала на трехточечный изгиб (наиболее часто) и внецентренное растяжение.

В соответствии с ГОСТ 25.506–85 для определения характеристик трещиностойкости испытывают с записью диаграмм «нагрузка – смещение» ($P - v$) или «нагрузка – прогиб» ($P - f$) образцы с предварительно нанесенной усталостной трещиной. На образец до испытания устанавливается датчик перемещений (экстензометр), который предназначен для измерения роста усталостной трещины.

По результатам испытаний определяют основные характеристики трещиностойкости: силовые – критические коэффициенты интенсивности напряжений, деформационные – раскрытие в вершине трещины, энергетические – критические значения J -интеграла.

Для испытаний композитов и пластмасс на трехточечный изгиб рекомендуются образцы вида, представленного в [3]. Испытания проводят на образцах, имеющих трещину (на образцах из металлов это усталостные трещины). Эти

трещины получают с применением специальных устройств, что, например, описано в [7]. При подготовке образцов из пластмасс и композитов, армированных стекловолокном, как указано в [3], выращивание усталостной трещины является сложной задачей. В этих случаях трещину создают искусственным путем.

Многие материалы, в том числе полученные с применением аддитивных технологий, обладают анизотропией механических свойств [8]. В таких случаях ГОСТ 25.506–85 рекомендует специальную схему вырезки образцов.

Пластмассы, в частности армированные стекловолокном, обладают нелинейными характеристиками, связанными с ползучестью [3, с. 83]. Поэтому в отличие от испытаний на трещиностойкость металлов при испытании полимерных материалов необходимо устанавливать максимальную для испытательной машины Kason WDW-1 скорость приложения нагрузки. Диапазон плавно регулируемых скоростей нагружения машины Kason WDW-1 составляет 0,005...1000 мм/мин. Скорость нагружения при проведении испытаний полимерных композитов на растяжение подбирается опытным путем с использованием ГОСТ Р 56800–2015 [9].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ловшенко, Ф. Г.** Механически легированные жаропрочные порошки для производства изделий аддитивными технологиями: монография / Ф. Г. Ловшенко, А. С. Федосенко. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – 405 с.
2. Сопротивление материалов. Твердость и трещиностойкость наноструктурных керамик: учебное пособие для вузов / О. Л. Хасанов [и др.]. – Москва: Юрайт, 2016. – 150 с.
3. **Фудзии, Т.** Механика разрушения композиционных материалов: пер. с японск. / Т. Фудзии, М. Дзако. – Москва: Мир, 1982. – 232 с.
4. Механика разрушения и прочность материалов: справочное пособие: в 4 т. / Под общ. ред. В. В. Панасюка. – Киев: Наукова думка, 1988. – Т. 3. – 436 с.
5. **Пестриков, В. М.** Механика материалов на базе компьютерных технологий: практикум / В. М. Пестриков, Е. М. Морозов. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2007. – 464 с.
6. **ГОСТ 25.506–85.** Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – Москва: Стандартинформ, 2005. – 38 с.
7. **Казачков, О. В.** Способ выращивания усталостных трещин в ударных образцах / О. В. Казачков // Тр. лесоинженерн. фак-та Петрозаводского гос. ун-та. – 1999. – С. 41–42.
8. **Осипок, Т. В.** Оценка анизотропии механических свойств листового проката из углеродистой стали / Т. В. Осипок, С. А. Зайдес // Вестн. Иркутск. гос. техн. ун-та. – 2020. – Т. 24, № 5. – С. 1007–1018.
9. **ГОСТ Р 56800–2015.** Композиты полимерные. Определение механических свойств при растяжении неармированных и армированных материалов. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 26 с.

УДК 620.22:669

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЖАРОСТОЙКИХ АЛЮМИНИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ АЛИТИРОВАНИЯ ПОГРУЖЕНИЕМ В РАСПЛАВ

В. П. КУЛЕВИЧ, А. И. БОГДАНОВ

Волгоградский государственный технический университет

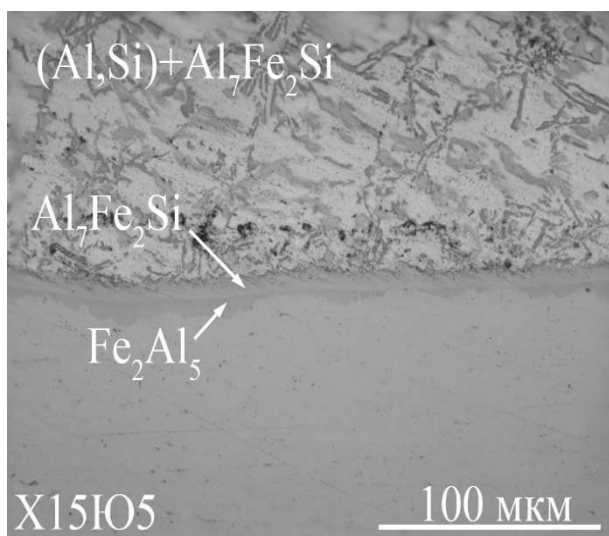
Волгоград, Россия

В работе рассмотрены особенности формирования жаростойких алюминидных покрытий на сплавах системы Fe–Cr–Al с применением технологии алитирования погружением в расплав.

Исследования проводили на прецизионных сплавах X15Ю5 и X23Ю5. Алитирование сплавов проводили в расплаве технически чистого алюминия и силумина с 12 % Si. Для формирования оптимальной структуры и фазового состава покрытия проводили термообработку алитированных сплавов при температурах до 1100 °С. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Olympus BX-61. Исследование химического и фазового состава проводили с применением электронной микроскопии (Versa 3D) и рентгеноструктурного анализа (Bruker D8 ADVANCE ECO).

Проведенные исследования позволили установить, что алитирование погружением в расплав алюминия сплавов X15Ю5 и X23Ю5 обеспечивает формирование структуры покрытия с диффузионной зоной, состоящей из интерметаллидов FeAl_3 и Fe_2Al_5 с включениями $(\text{Cr}, \text{Fe})_5\text{Al}_8$ и Cr_3Si . Замена расплава алюминия на силумин приводит к появлению в составе диффузионной зоны тройного интерметаллида $\text{Al}_7\text{Fe}_2\text{Si}$ (рис. 1).

а)



б)

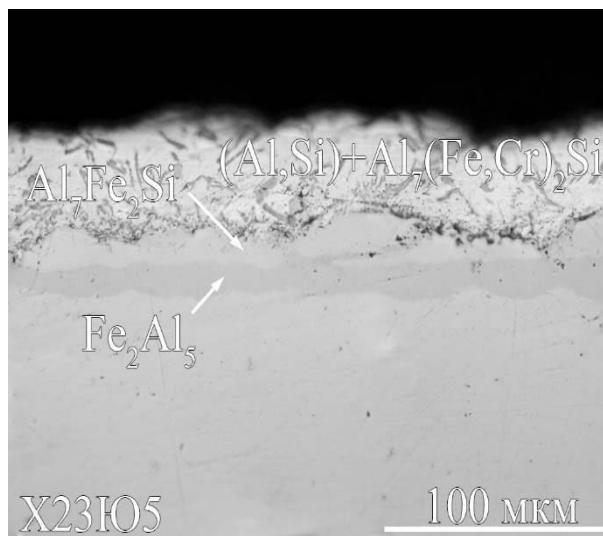


Рис. 1. Структура покрытия на сплаве X15Ю5 (а) и X23Ю5 (б) после алитирования погружением в расплав силумина

Регулировать толщину получаемого покрытия можно как путем изменения температурно-временных условий процесса алитирования, так и за счет воздействия на алитируемый образец ультразвуковых колебаний. Ультразвуковое воздействие способствует уменьшению толщины формируемого покрытия, но не оказывает влияния на его структуру и фазовый состав.

Высокотемпературная термообработка алитированных образцов сопровождается изменением структуры и фазового состава покрытия в следующем порядке: $\text{Fe}_2\text{Al}_5(\text{Cr}) \rightarrow \text{FeAl}_2(\text{Cr}) \rightarrow \text{FeAl}(\text{Cr}) \rightarrow \text{Fe}_3\text{Al}(\text{Cr}) \rightarrow \alpha\text{Fe}(\text{Al}, \text{Cr})$ (рис. 2). Кремний в составе покрытия замедляет диффузионные процессы и входит в состав интерметаллидов $\text{Al}_7\text{Fe}_2\text{Si}$, $\text{Fe}_3(\text{Si}, \text{Al})_5$ и Cr_5Si_3 на ранних этапах трансформации покрытия.

а)



б)

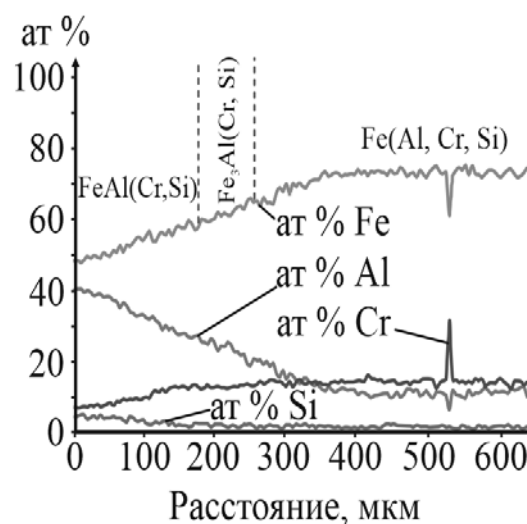


Рис. 2. Структура покрытия на сплаве X15Ю5 после термообработки 1100 °С, 20 ч (а) и распределение химических элементов по толщине покрытия (б)

Жаростойкость алюминидных покрытий во многом определяется структурой и фазовым составом оксидных пленок, формирующихся в процессе эксплуатационных нагревов. Проведенный рентгенофазовый анализ по методу скользящего пучка позволил установить, что окисление покрытий сопровождается формированием стабильной модификации Al_2O_3 .

Оценка жаростойкости алюминидных покрытий, проведенная в соответствии с ГОСТ 6130–71 и 9.312–89, позволила установить, что алюминидное покрытие на сплаве X15Ю5 дает возможность снизить глубину проникновения коррозии почти в 100 раз, а на сплаве X23Ю5 – в 4 раза. Время сохранения жаростойких свойств при 1100 °С для алитированного сплава X15Ю5 составило 5000 ч, а для X23Ю5 – 20000 ч.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10246, <https://rscf.ru/project/21-79-10246/>.

УДК 621.92

ВЫСОКОПОРИСТЫЙ АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ

М. П. КУПРЕЕВ

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины
Гомель, Беларусь

В различных отраслях машиностроения значительно увеличилось применение сложнолегированных сталей. При их шлифовании, особенно при интенсивных режимах, появляются прижоги – структурные изменения металла, вызванные высоким тепловыделением. Существенно уменьшить температуру в зоне шлифования и избежать отрицательных изменений структуры поверхностного слоя металла позволяет использование высокопористых шлифовальных кругов.

Цель исследования – совершенствование технологии изготовления высокопористого абразивного инструмента для обработки легированных сталей.

Отработка технологии проводилась на примере изготовления круга шлифовального с заводским номером 72-039А/050В-012, применяемого на СООО «Дозатор-плюс». Этот круг должен быть изготовлен на керамической связке из белого электрокорунда 25 А зернистостью F 60, иметь среднюю твердость K и повышенную пористость (7–9 структура).

Экспериментальные круги изготовлялись из порошка электрокорунда белого 25 А зернистостью F 60 (250 мкм). В качестве выгорающего наполнителя использовался органический наполнитель с размерами частиц 0,20...0,32 и 0,32...0,63 мм. Размер частиц наполнителя в первом случае соответствовал размерам зерна электрокорунда, а во втором случае был в 2 раза больше.

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 представлен образец экспериментального шлифовального круга, а на рис. 2 – его структура. На рис. 2 видно, что шлифовальный круг имеет развитую однородную поровую структуру.

В табл. 1 представлен состав и характеристики экспериментальных абразивных кругов. Все круги имеют требуемую структуру и твердость. Круги, изготовленные с применением более крупнозернистого порообразователя, в процессе эксплуатации показали хорошие режущие свойства, не сыпались и не засаливались. Но наилучшие режущие свойства имели круги на органическом наполнителе с размерами частиц 0,20...0,32 мм. Это обусловлено небольшой толщиной стенок круга и, следовательно, высокими требованиями к их прочности.

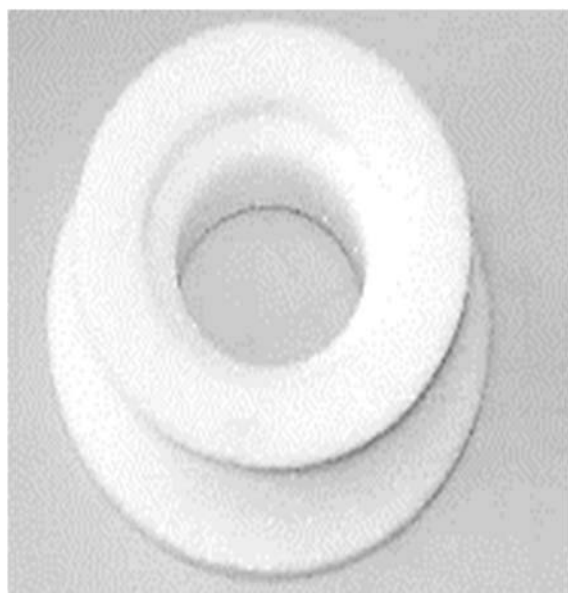


Рис. 1. Высокопористый шлифовальный круг сложной формы

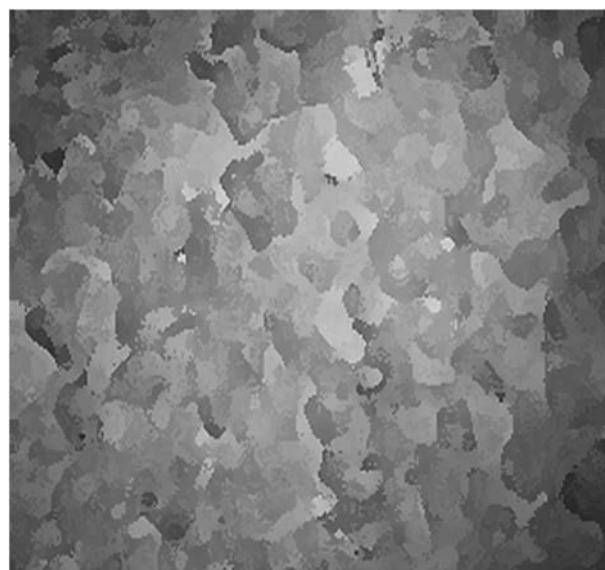


Рис. 2. Поровая структура шлифовального круга

Табл. 1. Характеристики экспериментальных кругов

Но- мер опы- та	Зернистость электрокорунда по ГОСТ Р 52381–2005	Содержание керамической связки, масс. %	Содержание порообразо- вателя, масс. %	Размер частиц порообразо- вателя, мм	Номер струк- туры	Режущие свойства
1	F60	11	5	0,32...0,63	7	Хорошие
2	F60	13	9	0,32...0,63	9	Хорошие
3	F60	11	4	0,20...0,32	7	Отличные

Представленные результаты свидетельствуют о том, что необходимый размер пор шлифовального круга определяется материалом детали и режимами ее обработки. В некоторых случаях мелкопористые круги более эффективны, чем крупнопористые.

В 2020 г. университетом для СООО «Дозатор-плюс» изготавливались шлифовальные круги по опытам 1 и 2. В 2021 г. шлифовальные круги по опыту 3 прошли испытания на СООО «Дозатор-плюс» и в настоящее время применяются взамен импортных дорогостоящих кругов.

УДК 691.175, 620.172

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ABS-ПЛАСТИКА В ОБРАЗЦАХ, ПОЛУЧЕННЫХ FFF-ПЕЧАТЬЮ

И. А. ЛЕОНОВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Механические характеристики реальной детали, выполненной по FFF-технологии (Fused Filament Fabrication – производство методом наплавления нитей), будут отличаться от характеристик проволоки, из которой она изготовлена, в силу многих факторов: неплотной структуры, различного способа укладки нитей и их ориентации по отношению к действующей нагрузке, температурного воздействия в процессе изготовления и т. д. Задачи 3D-проектирования деталей и конструкций требуют накопления достаточного количества подтвержденных данных о свойствах ABS-пластика в изделиях, которые на данный момент очень ограничены.

Нами проведены исследования по определению прочностных и упругих характеристик ABS-пластика при статическом растяжении плоских образцов типа I (ГОСТ 11262–2017 (ISO 527–2:2012)), изготовленных из проволоки ABS-s21 диаметром 1,75 мм (black) на 3D-принтере VSHAPER PRO с диаметром сопла экструдера 0,4 мм и точностью подачи проволоки 1 мкм. Все образцы (две серии по 5 шт.) выполнялись при 100-процентном заполнении, при температуре головки экструдера 235 °C и температуре нагрева камеры и стола в 60 °C и 90 °C соответственно. Образцы располагались плашмя на подложке с продольной ориентацией оси.

Испытание на статическое растяжение проводилось на универсальной машине Kason WDW-1 с цифровой системой измерений.

С учетом статистической обработки результатов предел прочности материала в изделии $\sigma_u = (37,78 \pm 1,48)$ МПа, модуль продольной упругости $E = (617,36 \pm 97,68)$ МПа, относительное удлинение контрольной длины в 25 мм при разрушении $\delta = (12,33 \pm 1,63)$ %. Наиболее нестабильный результат у модуля продольной упругости, значение которого в наибольшей степени отличается от показателей сплошного ABS-пластика (от 1700 до 2900 МПа по разным источникам). Значения предела прочности и относительного (полного) удлинения пластика, полученного аддитивным способом, находятся в пределах значений для сплошного материала.

Результаты экспериментов показали, что свойства ABS-пластика зависят от технологии получения изделия. В образце, полученном по FFF-технологии, пластик проявил себя как непластичный материал, не имеющий площадки текучести, остаточная деформация которого незначительна по сравнению с упругой составляющей.

УДК 691.175, 620.172

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

И. А. ЛЕОНОВИЧ, В. А. КЕМОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Цель исследования – разработать испытательную модель для пластмасс, полученных аддитивными способами, позволяющую сопоставлять и оценивать механические свойства реального образца для дальнейшего их применения в деталях разнообразной формы. В качестве объекта исследования взят образец прямоугольного поперечного сечения типа I по ГОСТ 11262–2017 *Пластмассы. Метод испытания на растяжение*.

Статический расчет на растяжение проводился в программном комплексе SOLIDWORKS 2018 в приложении Simulation. Схема нагружения образца показана на рис. 1, параметры сетки конечных элементов – в табл. 1.

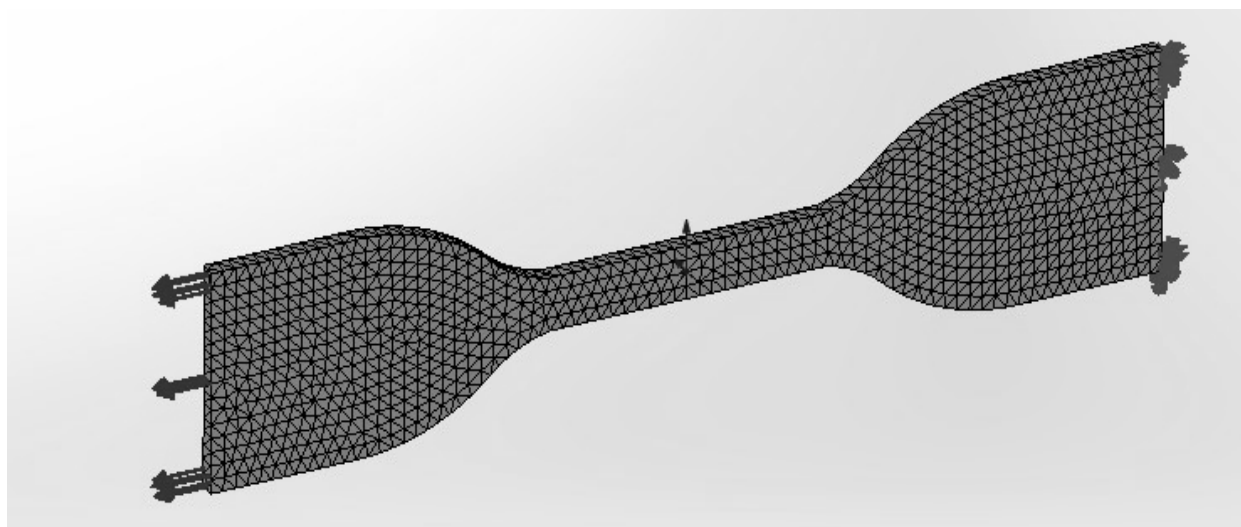


Рис. 1. Конечно-элементная модель испытания образца

Табл. 1. Параметры сетки конечных элементов

Используемое разбиение	Стандартная сетка
Точки Якобиана	4 точки
Размер элемента	1,55769 мм
Допуск	0,0778844 мм
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	15864
Всего элементов	9067
Максимальное соотношение сторон	3,8112
Процент элементов с соотношением сторон < 3	99,9

На натурных испытаниях аналогичного образца определялись механические характеристики двух материалов, полученных по аддитивным технологиям: ABS-пластик (FFF-технология) и фотополимерная смола Formlabs (стереолитография).

Корректировалось значение максимальной нагрузки, т. к. у реального образца площадь поперечного сечения узкой части отличалась, как правило, от стандартных 12 мм^2 . По разработанной модели при воздействии максимальной нагрузки в узкой части образца возникало максимальное напряжение, соизмеримое с пределом прочности материала при натурных испытаниях, что подтверждает возможность применения модели изотропного материала для расчета деталей при их при 100-процентном заполнении. На рис. 2 показана эпюра напряжений образца из ABS-пластика, в средней части которого возникает при разрушающей нагрузке напряжение $37,94 \text{ МПа}$, что почти совпадает с пределом прочности материала в $37,78 \text{ МПа}$.

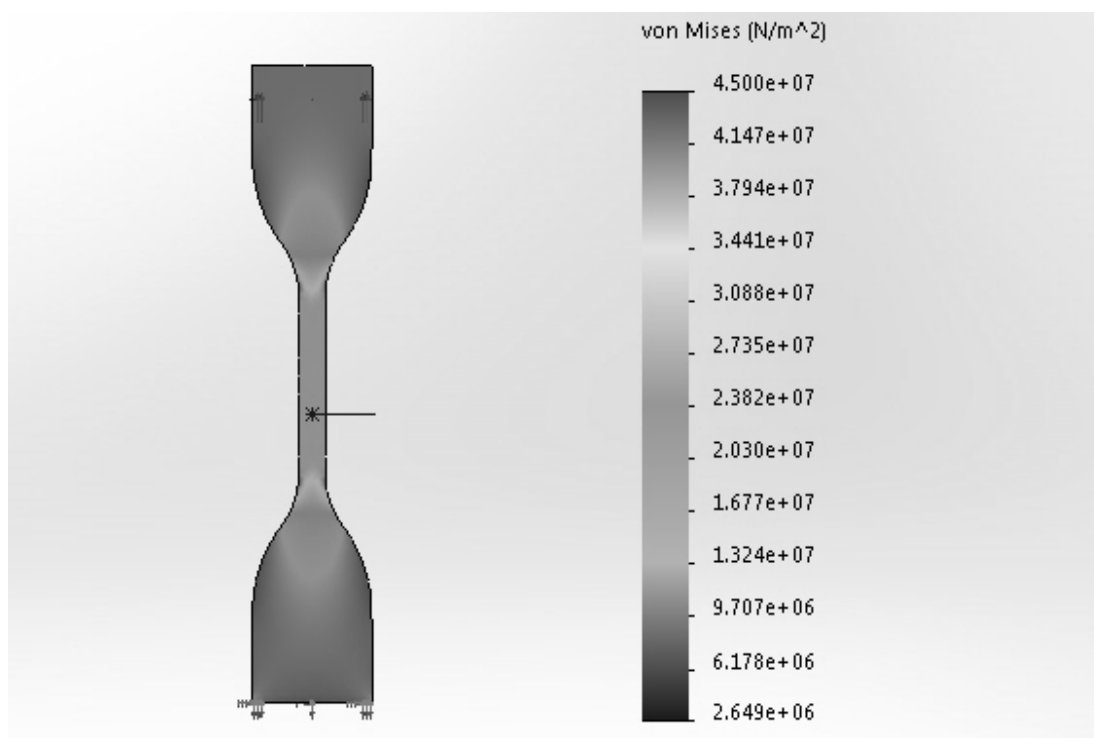


Рис. 2. Эпюра напряжений образца из ABS-пластика

Направление дальнейшей работы:

- необходимо решить вопрос фиксирования в теоретической модели деформации только контрольной длины, т. к. при статическом расчете были получены эпюры перемещений всего образца;

- следует доработать условия закрепления, т. к. реальный образец удерживается по поверхности длиной $17...18 \text{ мм}$, а не по торцам;

- необходимо накопить гораздо больший массив реальных испытаний образцов с учетом их конкретной структуры и особенностей технологии изготовления.

УДК 621.762

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА СВОЙСТВА МОДИФИЦИРУЮЩИХ ЛИГАТУР

Ф. Г. ЛОВШЕНКО, И. А. ЛОЗИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В работе определялось влияние основных технологических факторов на свойства модифицирующих лигатур с высоким содержанием легирующего компонента. В качестве контролируемых параметров приняты: микротвердость гранул, определяющая степень проработки материала; насыпная плотность, характеризующая гранулометрический состав получаемых композиций; содержание Fe, переносимого в шихту со стенок помольной камеры и шаров в процессе обработки, которое при плавке бронз электротехнического назначения резко снижает их электропроводность. В процессе исследований варьировали ускорением размалывающих тел, степенью заполнения помольной камеры рабочими телами, отношением объема рабочих тел к объему шихты, температурой в помольной камере.

В качестве базовой была принята композиция Cu – 20 % Cr.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

– изменение значений таких технологических факторов при реакционном механическом сплавлении, как ускорение для деформирующих тел, величина заполнения рабочей камеры деформирующими телами, соотношение между объемами, занимаемыми деформирующими телами и обрабатываемой композицией, а также температура в рабочей камере, вызывает изменение энергонапряженности процесса. Это приводит к изменению микротвердости гранул как основного фактора, определяющего глубину проработки материала (рис. 1);

– влияние условий механического сплавления на средний размер гранул по сравнению с микротвердостью носит обратный характер. Изменение среднего размера гранул гранулированных композиций от режимов обработки, оказывающих влияние на энергонапряженность процесса, можно описать кривой с минимумом (рис. 2). Самое низкое значение этого параметра имеют сплавленные композиции, технологический процесс получения которых близок к режиму, позволяющему достигнуть их максимального упрочнения, но энергонапряженность его ниже на незначительную величину;

– условия протекания процесса механического сплавления определяют количественное содержание железа в получаемых гранулированных композициях. Варьирование основными факторами, приводящими к повышению энергонапряженности режима обработки и увеличению длительности процесса, приводит к возрастанию концентрации железа в получаемой лигатуре;

– температура в рабочей камере оказывает существенное влияние на скорость протекания диффузионных процессов, снижает пороговое значение интенсивности механического воздействия, вызывающего химические превращения, что активизирует взаимодействие между компонентами. В то же время

это ускоряет процесс грануляции, приводящий к уменьшению контактной поверхности реагирующих компонентов и, следовательно, затрудняющий взаимодействие между ними. Это оказывает негативное влияние на интенсивность механохимических процессов и приводит к значительному снижению степени проработки гранул. Также это увеличивает склонность к адгезии обрабатываемой шихты на рабочие тела и стенки рабочей камеры и отрицательно влияет на воспроизводимость результатов. Полученные результаты указывают на то, что оптимальное значение температуры в помольной камере должно находиться в пределах $70\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

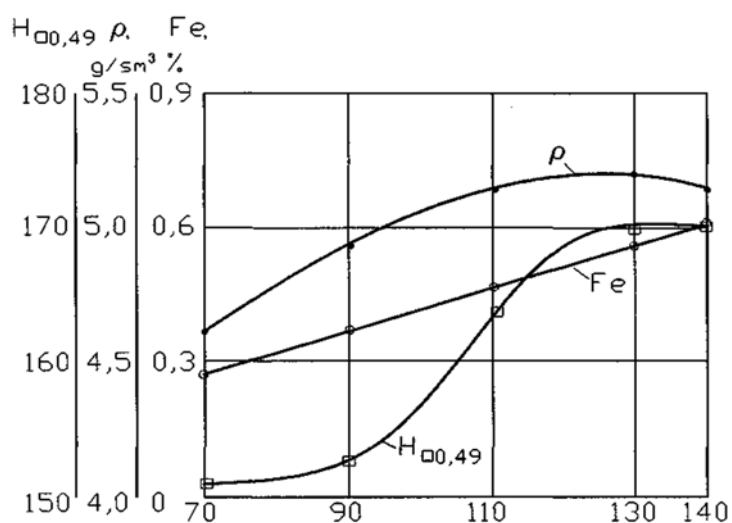


Рис. 1. Изменение физико-механических свойств гранулированной композиции Cu – 20 % Cr в зависимости от ускорения размалывающих тел

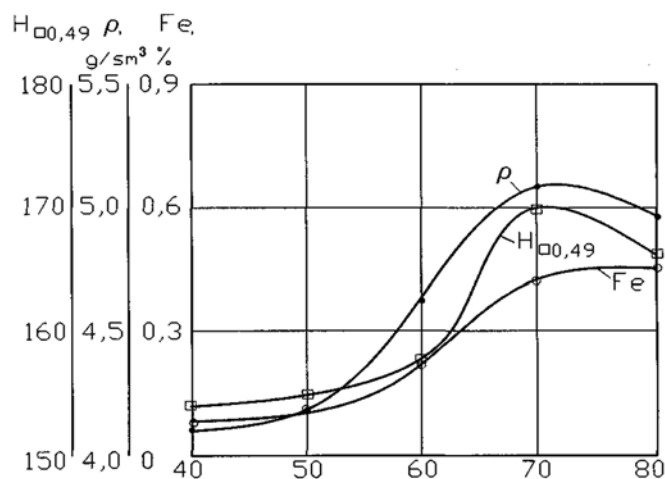


Рис. 2. Изменение физико-механических свойств гранулированной композиции Cu – 20 % Cr в зависимости от степени заполнения помольной камеры деформирующими телами

УДК 621.763

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М. И. МИХАЙЛОВ, О. А. ЛАПКО

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

Целью работы является экспериментально-теоретическое исследование демпфирующих свойств композитов на эпоксидно-полиэфирном связующем [1].

Было изготовлено восемь составов образцов на основе эпоксидной смолы, в которых содержание полиэфирной смолы варьировалось от 10 % до 31 %, содержание карбида кремния изменялось от 5 % до 15 %, а зернистость наполнителя – 50 и 250 мкм.

Ранее были исследованы образцы по ГОСТ 4651–82. Испытания на сжатие проводились на машине INSTRON 5969 с предельной нагрузкой 50 кН.

Образцы были подвергнуты нагружению и разгрузке. По результатам строились графики зависимости перемещения образцов от нагрузки [2].

Демпфирующие свойства определялись с использованием коэффициента поглощения энергии ψ .

Как видно на рис. 1, *а, е*, увеличение процентного содержания полиэфирной смолы в 2 раза при 5-процентном содержании карбида кремния и зернистости 50 мкм приводит к увеличению коэффициента поглощения энергии в 5,5 раза, а увеличение зернистости наполнителя до 250 мкм приводит к увеличению демпфирования в 5,2 раза (рис. 1, *б, з*). Увеличение процентного содержания карбида кремния (15 %) при зернистости 50 мкм приводит к увеличению демпфирования в 5,7 раза (рис. 1, *в, д*). При увеличении процентного содержания полиэфирной смолы в 2 раза и 15-процентном содержании карбида кремния с зернистостью 250 мкм увеличивается демпфирование в 1,7 раза (рис. 1, *г, ж*).

Как видно на рис. 1, *г, б*, увеличение процентного содержания карбида кремния в 3 раза при одинаковом соотношении компонентов (31 % полиэфирной смолы, зернистость карбида кремния – 250 мкм) приводит к уменьшению демпфирования в 1,96 раза, уменьшение зернистости карбида кремния до 50 мкм приводит к увеличению демпфирования в 1,2 раза (см. рис. 1, *а, в*), уменьшение полиэфирной смолы до 15 % при зернистости карбида кремния 50 мкм приводит к увеличению демпфирования в 1,1 раза. Как видно на рис. 1, *з, ж*, увеличение процентного содержания карбида кремния в 3 раза при одинаковом соотношении компонентов (15 % полиэфирной смолы, зернистость карбида кремния – 250 мкм) приводит к увеличению демпфирования в 1,55 раза, а увеличение зернистости в 5 раз при соотношении компонентов (31 % полиэфирной смолы, 5 % карбида кремния) приводит к увеличению демпфирования в 1,4 раза (см. рис. 1, *а, б*), с увеличением содержания карбида кремния до 15 % уменьшается демпфирование в 1,6 раза (см. рис. 1, *в, г*). На рис. 1, *д, ж* видно, что увеличение зернистости в 5 раз при соотношении компонентов (15 % полиэфирной смолы, 15 % карбида кремния) приводит к увеличению

демпфирования в 2,08 раза, а уменьшение до 5 % карбида кремния приводит к увеличению демпфирования в 1,5 раза (см. рис. 1, е, з).

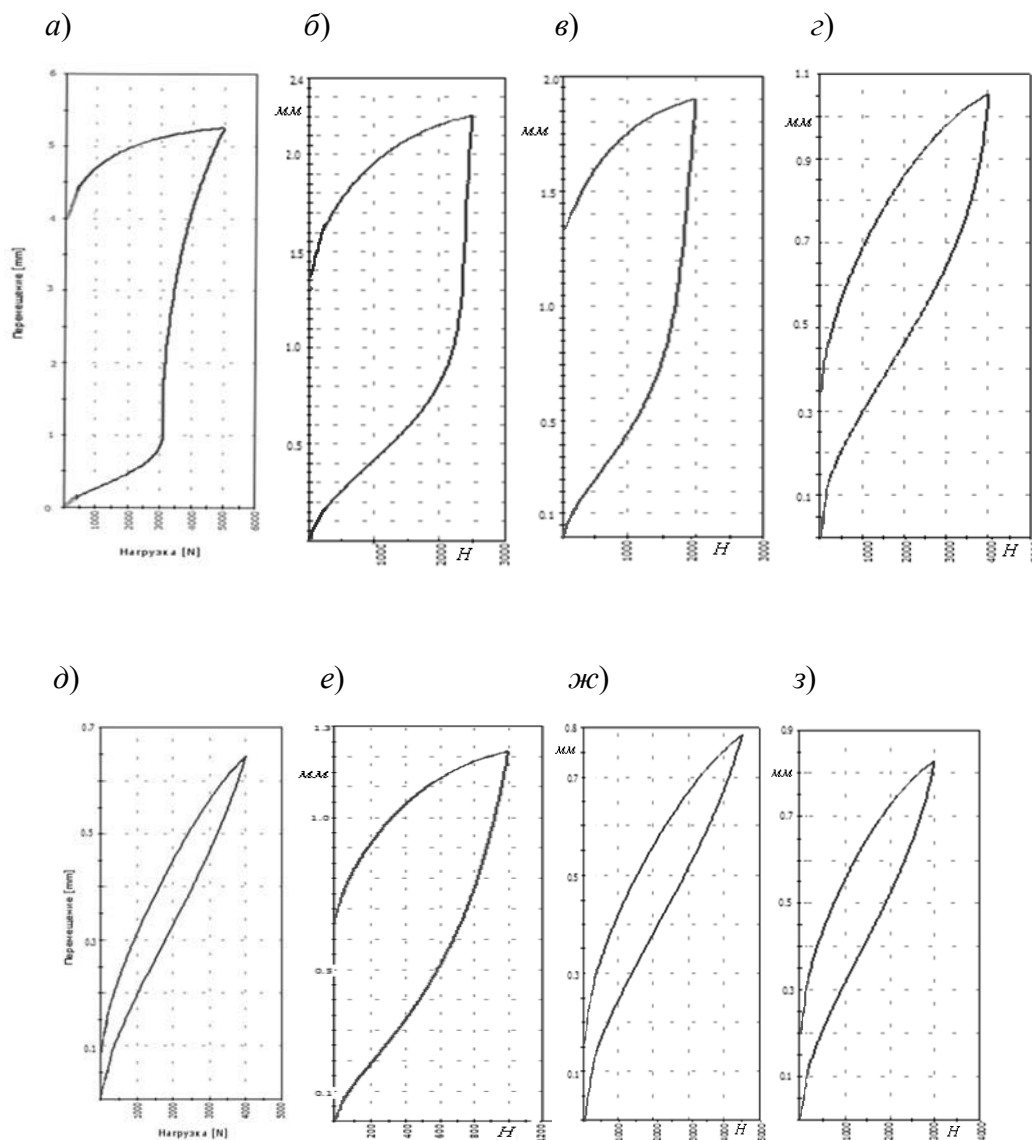


Рис. 1. Графики зависимости перемещения образцов от нагрузки, содержащих полиэфирную смолу, карбид кремния с зернистостью: а – 31 %, 5 %, 50 мкм, $\psi = 1,7$; б – 31 %, 5 %, 250 мкм, $\psi = 2,43$; в – 31 %, 15 %, 50 мкм, $\psi = 1,99$; г – 31 %, 15 %, 250 мкм, $\psi = 1,24$; д – 15 %, 15 %, 50 мкм, $\psi = 0,35$; е – 15 %, 5 %, 50 мкм, $\psi = 0,31$; ж – 15 %, 15 %, 250 мкм, $\psi = 0,73$; з – 15 %, 5 %, 250 мкм, $\psi = 0,47$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бабич, В. Ф.** Основные методы и результаты исследования свойств граничных слоев полимеров / В. Ф. Бабич, Ю. С. Липатов, Н. И. Коржак // Композиционные полимерные материалы. – Киев, 1975. – С. 175–188.
2. **Михайлов, М. И.** Основы научных исследований и инновационной деятельности : учебное пособие / М. И. Михайлов. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – С. 399.

УДК 621.735

ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ 40Х ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ В ИНСТРУМЕНТЕ, РЕАЛИЗУЮЩЕМ СДВИГОВУЮ ДЕФОРМАЦИЮ

А. Б. НАЙЗАБЕКОВ, С. Н. ЛЕЖНЕВ, Е. А. ПАНИН

Рудненский индустриальный институт

Рудный, Казахстан

Одним из передовых способов металлообработки, позволяющим существенно снизить при изготовлении различных металлоизделий коэффициент расхода металла и при этом обеспечить повышение их качества, является обработка металлов давлением (ОМД), и в том числе такой способ ОМД, как ковка. Повышение качества металла при ковке слитков и заготовок во многом зависит от выбранной технологииковки и инструмента для ее реализации. И уже давно доказано, что одной из таких технологий является технологияковки, позволяющая в процессе деформирования реализовывать дополнительные сдвиговые деформации [1]. Добиться реализации значительных дополнительных сдвиговых деформаций при ковке на практике возможно при использовании нового кузнечного инструмента, представленного на рис. 1, дляковки заготовок и поковок круглого поперечного сечения.

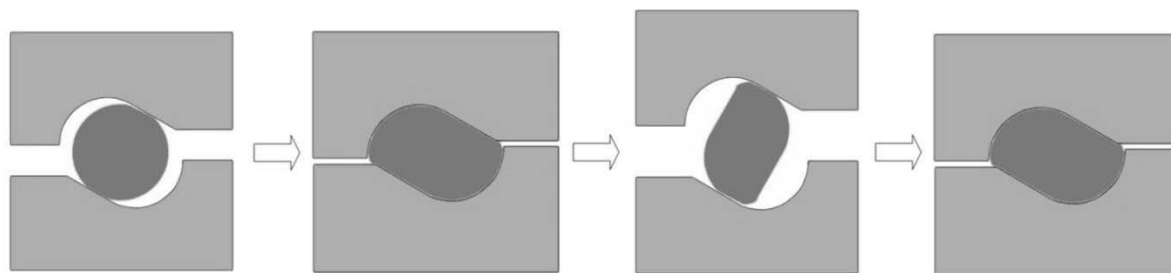


Рис. 1. Кузнечный инструмент и схемаковки заготовок в нем

Целью работы было изучение влияния процессаковки заготовок круглого поперечного сечения в кузнечном инструменте, реализующем сдвиговую деформацию во всем объеме деформируемого металла, на эволюцию микроструктуры стали 40Х. Выбор для проведения эксперимента именно низколегированной конструкционной стали 40Х обоснован тем, что данная марка стали широко применяется при изготовлении различных деталей машин и оборудования.

Эксперимент по деформированию заготовок из стали 40Х размерами $D \times L = 45 \times 300$ мм в кузнечном инструменте новой конструкции, реализующем знакопеременную деформацию, был проведен в лабораторных условиях на гидравлическом прессе с усилием 100 тс. Предварительно все заготовки из стали 40Х подвергли отжигу при температуре 700 °С с выдержкой 45 мин, чтобы обеспечить восстановление начальной структуры.

Технологияковки заготовок в новом кузнечном инструменте заключалась в следующем: заготовки предварительно нагревали до температуры начала ков-

ки 1100 °С и выдерживали при данной температуре, затем осуществлялась подача первой заготовки в кузнечный инструмент новой конструкции и деформирование ее по схеме, приведенной на рис. 1. После того как всю заготовку (по всей длине) продеформировали по данной схеме, была осуществлена еще серия обжатий заготовки по всей длине в этом же кузнечном инструменте, но уже сначала с кантовкой ее на 45°, а потом на 30°. Это позволило приблизить форму поперечного сечения, продеформированную в новом кузнечном инструменте заготовки, к кругу, имеющему диаметр 35 мм. Вторая партия заготовок из стали 40Х, нагретых до температуры началаковки, была продеформирована по действующей технологии – протяжка в плоских бойках, также до диаметра 35 мм. Уков в обоих случаях составил 1,65.

Металлографические исследования продеформированных по предлагаемой и действующей технологиям заготовок осуществляли на металлографическом микроскопе DM IRM фирмы Leica (Германия) в соответствии с требованиями ГОСТ 5639–82. Также металлографическим исследованиям были подвергнуты недеформированные (подвергнутые отжигу) заготовки из стали 40Х. Результаты исследования эволюции микроструктуры приведены на рис. 2.

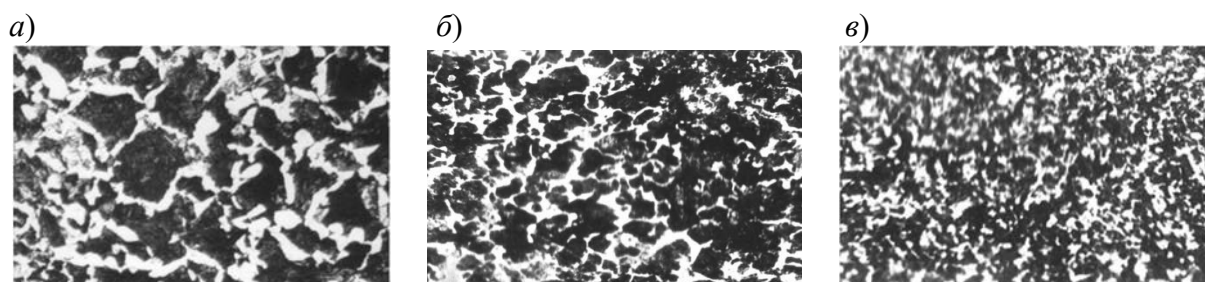


Рис. 2. Микроструктура стали 40Х: а – исходная; б – продеформированная в плоских бойках; в – продеформированная в новом кузнечном инструменте

Сравнение средних размеров зерен с эталонными шкалами показал, что в исходном состоянии размеры соответствуют 5 баллу, после деформирования в плоских бойках средний размер зерен лежит в интервале, соответствующем 6–7 баллам, а после деформирования в новом кузнечном инструменте – 9 баллу. То есть размер зерен стали 40Х, продеформированной в новом кузнечном инструменте, по всему сечению на 2–3 балла выше, чем при деформировании ее в плоских бойках. При этом при деформировании заготовок в новом кузнечном инструменте наблюдается и более равномерное распределение равноосных зерен по всему сечению заготовки по сравнению с плоскими бойками.

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09259236).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Найзабеков, А. Б. Условия развития сдвиговых деформаций при ковке / А. Б. Найзабеков. – Алматы: Гылым, 1997. – 185 с.

УДК 621.794.61

ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ВЕНТИЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИМПУЛЬСНОГО МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

В. С. НИСС¹, А. Ю. КОРОЛЁВ², А. С. БУДНИЦКИЙ²¹Белорусский национальный технический университет²Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

Минск, Беларусь

Микродуговое оксидирование (МДО) относится к экологически безопасным процессам, т. к. позволяет проводить обработку в электролитах с низкой концентрацией неагрессивных компонентов. При этом отсутствует необходимость тщательной предварительной подготовки поверхности перед обработкой. Данный вид обработки относится к электрохимическим процессам и отличается от традиционного анодного оксидирования наличием электрических разрядов на обрабатываемой поверхности, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на структуру и свойства получаемых оксидных покрытий [1]. Кроме того, процесс ведется при более высоких напряжениях – до 1000 В, причем чаще используется не постоянный, а переменный и импульсный токи.

МДО широко используется для нанесения покрытий на многие вентильные металлы и их сплавы, широко применяемые в машиностроении. Недостатками традиционных методов МДО являются большая продолжительность обработки (до 180 мин) для формирования оксидных слоев необходимой толщины с требуемыми свойствами и, соответственно, высокие энергетические затраты.

Для повышения производительности с возможностью управления структурой и свойствами формируемых оксидных слоев предложен метод, основанный на использовании полностью управляемых по амплитуде и длительности разнополярных импульсов амплитудой до 600 В с регулируемой частотой от 0,05 до 2,5 кГц.

В работе исследовалось влияние частоты импульсов на структуру, толщину и шероховатость формируемых покрытий. Для исследования процесса МДО выбирались следующие параметры режимов оксидирования: частота следования импульсов – 50, 500, 1000 и 2500 Гц, коэффициент заполнения – 50 %, амплитудное значение положительных импульсов – 500 В, отрицательных – 50 В. Для исследования использовались плоские образцы с размерами 40 × 5 × 1,2 мм, изготовленные из алюминиевого сплава АМг2. Обработка выполнялась в электролите следующего состава: КОН – 2,0 г/л, Na₂SiO₃ · 5H₂O – 9,5 г/л. Температура электролита поддерживалась в диапазоне 20 °С...25 °С. Продолжительность обработки составляла от 10 до 60 мин.

Измерение шероховатости поверхности образцов до и после обработки производилось профилометром MarSurf PS1. Контроль и запись формы импульсов тока и спектрограмм осуществлялись запоминающим цифровым осциллографом Owon XDS3000. Микрофотографии поверхности образцов

получены с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA II LMU с микроанализатором INCA350.

В результате обработки при всех исследованных значениях частоты следования импульсов формировался оксидный слой толщиной 33...53 мкм (после продолжительности 60 мин) с твердостью около 950 HV. Применение высокочастотных режимов по сравнению с обработкой на частоте 50 Гц приводит к формированию более плотного оксидного слоя с существенно меньшей пористостью (рис. 1). Шероховатость образцов при использовании высокочастотных режимов значительно ниже. Наиболее качественное покрытие формируется при частоте 1000 Гц (рис. 2).

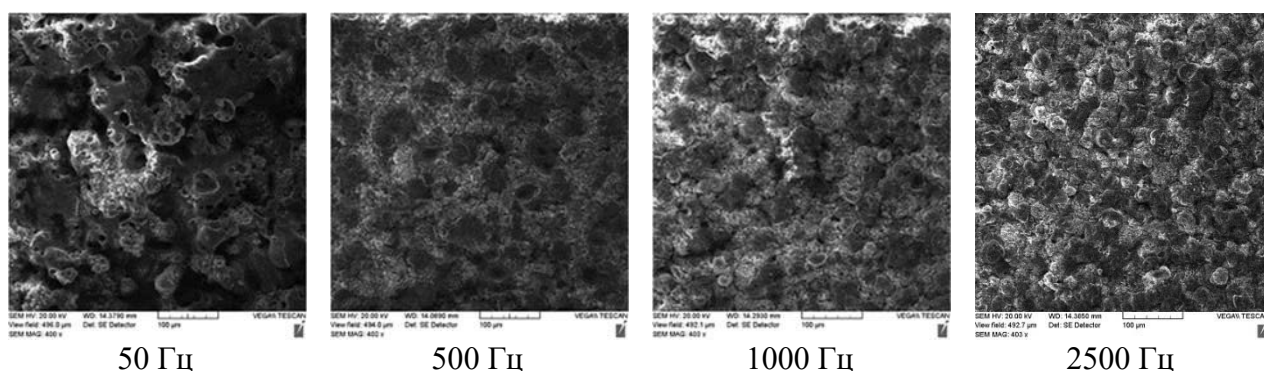


Рис. 1. Морфология формируемого оксидного слоя при различных значениях частоты после обработки продолжительностью 60 мин

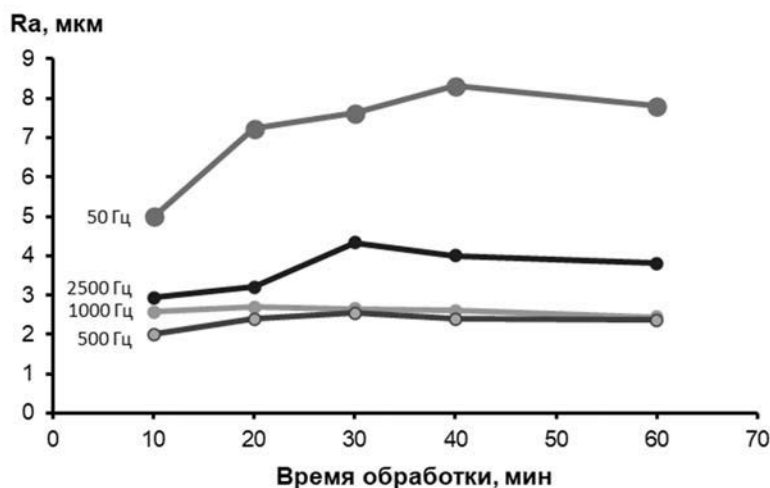


Рис. 2. Влияние продолжительности МДО на изменение шероховатости поверхности при различных значениях частоты

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И. В. Суминов [и др.]. – Москва: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.

УДК 621.793:66.088

ИННОВАЦИОННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙЕ. В. ОВЧИННИКОВ¹, А. В. СЕМЕНОВ²,
Е. И. ЭЙСЫМОНТ³, И. И. МУЗЫКА¹¹Гродненский государственный университет имени Янки Купалы²ООО «Автоцентр Флагман»

Гродно, Беларусь

Формирование полимерных композиционных материалов с заданными свойствами материалов на основе термопластичных и реактопластичных полимеров в большинстве случаев достигается путем широкого модифицирования матриц порошками, волокнами, агломератами, кластерами и т. п. различной степени дисперсности. Использование низкоразмерных частиц в качестве модификаторов полимерных материалов открывает перспективную область в создании многофункциональных материалов на основе смесей термодинамически несовместимых полимеров, олигомер-полимерных и металлополимерных соединений. Применение наночастиц на основе природных минералов (глина, алюмосиликаты, графит и т. п.), которые специальным технологическим образом обрабатываются с образованием низкоразмерных частиц с латеральным размером, находящимся в области от 1...10 нм, позволяет получить нанокомпозиты с уникальным комплексом свойств, в частности для автомобильной промышленности. Проведенные исследования по изучению активности наноразмерных объектов показали высокие значения удельной поверхности, остаточного заряда, что свидетельствует о высокой модифицирующей способности данных объектов.

Основным механизмом модифицирования полимерных матриц наноразмерными модификаторами различной природы и технологии формирования является изменение структуры граничного слоя вокруг наночастицы, которая расположена в полимере. Такая трансформация граничного слоя частицы приводит к существенному изменению габитуса частицы, значений удельной поверхностной энергии, что сказывается на активности низкоразмерной частицы в полимерной композиции. В результате формируется пространственная сетка ориентированных макромолекул в объеме композита, что приводит к существенному увеличению физико-механических характеристик композита. Основным недостатком данных материалов является потеря активности с течением времени. В связи с этим предлагаются различные технологические приемы по активации низкоразмерных систем или создание систем наномодификаторов с пролонгированным временем существования активного состояния.

Установление механизма влияния и взаимодействия механоактивированных частиц, имеющих нескомпенсированный заряд, на структуру и свойства конструкционных термопластов представляет как теоретический, так и практический интерес. Создание данных модификаторов позволит получать композиционные материалы с повышенными функциональными характеристиками.

В ходе проведения исследований показано, что низкоразмерные частицы, выступающие в качестве модификаторов полимерной матрицы, обладают повышенной активностью в нанокompозите, если данный ультрамалый по геометрическим размерам объект содержит в своей структуре нанофазные включения. Данный подход в создании таких нанофазных модификаторов является одним из основных направлений развития современного полимерного материаловедения.

Получение нанокompозиционных материалов на полимерной матрице проводят с применением различных высокоэнергетических воздействий (механоактивация, криогенное измельчение, лазерное и рентгеновское излучение, детонационный синтез). Данные технологические методы дают возможность получить повышенные значения прочностных, адгезионных, коррозионных и триботехнических разрабатываемых материалов. Использование в качестве высокоинтенсивного воздействия механоактивации позволяет получить необходимый эксплуатационный эффект при концентрации модификатора в полимерной матрице от 0,05...3 масс. %. Эффект увеличения прочностных и триботехнических характеристик полимерных механокompозитов объясняется исходя из повышенной активности частиц после механоактивации вследствие образования высокоразвитой поверхности частицы с большими значениями удельной поверхностной энергии, в результате чего формируется пространственная сетка лабильных физических связей в структуре композиционного материала. Проведенные исследования по изучению строения частиц, получаемых с применением механоактивации, показали, что формируемые частицы как органического, так неорганического строения существенно отличаются друг от друга в зависимости от технологических режимов обработки и от применяемых исходных полуфабрикатов. Исследования по изучению структуры механоактивированных силикатных частиц с полимерными материалами показали, что с увеличением времени и режимов механоактивации происходит аморфизация структуры получаемых композиционных силикат-полимерных материалов, изменяется габитус микрочастиц. В ходе механоактивации возрастают параметры, соответствующие повышению активности получаемых композиционных частиц.

УДК 621.793:66.088

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И УГЛЕРОДНЫХ МАТРИЦ

Е. В. ОВЧИННИКОВ¹, Н. М. ЧЕКАН²,
Г. А. КОСТЮКОВИЧ³, И. П. АКУЛА², А. В. ПОПРУКАЙЛО³
¹Гродненский государственный университет имени Янки Купалы

Гродно, Беларусь

²Физико-технический институт НАН Беларуси

Минск, Беларусь

³ОАО «Белкард»

Гродно, Беларусь

В настоящее время используется достаточно большое количество технологических приемов для синтеза неорганических и органических покрытий в вакууме путем конденсации или парофазной реакции на поверхности подложек различной природы. Данные технологии не включают операции термической или термохимической диффузии, происходящие фактически в воздушной среде, но включают ионную имплантацию, т. к. данный процесс модифицирования поверхности происходит в вакууме. Согласно классическим представлениям, общие ограничения почти всех методов физического осаждения из паровой фазы (PVD) заключаются в следующем: создание достаточно тонких ($10^{-7} \dots 10^{-4}$ м) слоев, при этом химическое осаждение из газовой фазы (CVD) применяется как для тонких слоев, так и для слоев с толщиной более 1 мм [1–3]. Благодаря своей стойкости к изнашиванию и коррозии такие покрытия очень удобны для модифицирования инженерных изделий и конструкций, что очень важно для использования в различных инженерных приложениях. Кроме того, данные покрытия находят широкую область применения в электронных и оптических устройствах, при изготовлении украшений и в дизайнерских решениях, применяемых в архитектуре. В связи с этим были достигнуты большие успехи во всех аспектах деятельности человека, поскольку каждое приложение имеет собственные требования, различные методы комбинируются для создания новых технологий. Действительно, такое большое совпадение методов PVD и CVD подразумевает, что их полное разделение и различие затруднены. Коммерческий успех многих технологических вариаций этих двух основных процессов осаждения покрытий в вакууме является достаточно условным, т. к. характеристики получаемых покрытий не были полностью воспроизводимыми, и в связи с этим возникают трудности

при продвижении данных инновационных продуктов на рынке технологий и материалов.

Применение многослойных вакуумных покрытий, получаемых методом PVD и его комбинациями, является перспективным направлением в области создания барьерных терморассеивающих покрытий, используемых в том числе в авиационной и космической технике. Наибольший эффект применения данных покрытий достигается при создании нескольких разделительных слоев, содержащих в своей структуре нанодисперсные фазы или частицы. Другим направлением развития данного подхода является не только создание «sandwich»-структур из разделительных слоев с различными свойствами и структурой, но и формирование градиентных покрытий с постепенным плавным изменением структуры, физических, химических и трибологических характеристик. Данный подход к строению термобарьерных покрытий позволяет также эффективно рассеивать тепло. Таким образом, показана перспективность применения многофункциональных покрытий на основе сочетания металлической матрицы и других компонентов, формируемых из плазменных потоков многокомпонентной среды. В результате физического осаждения многослойных покрытий в вакуумной среде формируются покрытия, различающиеся по морфологии в зависимости от условий осаждения. Показано, что слои алмазоподобных покрытий закрывают исходные дефекты, присутствующие в электроискровых покрытиях, использующихся в качестве подслоев при формировании многофункциональных покрытий. Проведенные исследования методами растровой электронной микроскопии показали возможность формирования наноразмерных фаз и частиц при создании многослойного покрытия, сочетающего в себе методы электроискрового легирования и вакуумного осаждения. Установлена зависимость формирования нанокпозиционных структур в покрытиях в зависимости от вида материала подложки, режимов формирования покрытий. Структура, морфология формируемых многослойных, многофункциональных вакуумных покрытий оказывают существенное влияние на значения удельной поверхностной энергии. Проведенные исследования показали корреляцию между значениями удельной поверхностной энергии и значениями динамической твердости и микротвердости. Таким образом, исследование многослойных покрытий на базе разделительных слоев, полученных методом электроискрового легирования и вакуумного осаждения методом PVD, существенно отличаются по морфологии, механическим характеристикам от базовых покрытий, т. е. наблюдается синергический эффект при формировании многослойных, многофункциональных покрытий из магнитоуправляемых потоков многокомпонентной реакционной среды.

УДК 621.793.7:621.762

МОРФОЛОГИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ МОДИФИКАЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ КОМПРЕССИОННЫМИ ПОТОКАМИ

Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО¹, В. А. ОКОВИТЫЙ¹, О. Г. ДЕВОЙНО¹,
В. В. ОКОВИТЫЙ¹, А. А. ЛИТВИНКО¹, В. М. АСТАШИНСКИЙ²

¹Белорусский национальный технический университет

²Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Введение. Основная функция у подслоев в плазменных покрытиях – максимальная пластическая релаксация напряжений, причиной которых является несогласованное изменение объемов керамических и металлических материалов в процессе нагрева и охлаждения покрытий. Материал подслоя должен обладать высокой жаростойкостью, поскольку показатели пластичности сплавов катастрофически уменьшаются в процессе их высокотемпературного окисления, к тому же слой керамики является проницаемым для газов. Комплексно решить данные задачи трудно, для этого необходима оптимизация химического и фазового состава. Тем не менее эффективность у защитных покрытий существенно повышается при модифицировании их структуры последующей высокоэнергетической обработкой. При обработке плазменных покрытий высокоэнергетические источники энергии имеют свои преимущества: высокая концентрация подводимой энергии и локальность, что позволяет обработать необходимый участок покрытия без перегрева всего объема и искажения его структуры и свойств; возможность точного управления параметрами воздействия, позволяющая производить регулирование структуры у обрабатываемого слоя, параметров его твердости, износостойкости, шероховатости, геометрических размеров и значительно уплотнить обрабатываемый слой покрытия, устранить общую пористость, снизить параметры шероховатости.

Морфология покрытий, модифицированных компрессионными плазменными потоками. При воздействии компрессионными плазменными потоками на многослойные покрытия, сформированные на подложках и состоящие из твердого слоя оксидной фазы (Al_2O_3 ; $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2$; $\text{ZrO}_2\text{--Y}_2\text{O}_3$) и вязкого подслоя (Ni--Cr--Al--Y ; Ni--Cr), имеет место модифицирование у покрытия приповерхностного слоя. Анализ микроструктуры, термостойкости и механических характеристик дал возможность найти общие характеристики влияния воздействий компрессионной плазмы на такие покрытия. Тепловой эффект является одним из основных при воздействии компрессионного плазменного потока на поверхность исследуемых покрытий, способствует нагреву приповерхностного слоя. Перемешиванию расплавленного слоя и гомогенизации его элементного состава способствует высокий градиент температуры ($\sim 10^5$ К/м), возникающий в расплавленном слое покрытия, который сопровождается механическим воздействием плазменного потока на

поверхность расплава. Давление со стороны ударно-сжатого слоя вызывает развитие гидродинамических неустойчивостей на межфазных границах. Оксид циркония ZrO_2 в соответствии с равновесными диаграммами состояния двойных систем $Al-O$ и $Zr-O$ имеет широкую область гомогенности, начиная с концентрации кислорода 40 % атомных долей, оксид Al_2O_3 существует в узких концентрационных рамках. Поэтому покрытия, базирующиеся на основе оксида циркония ZrO_2 , более предпочтительны из-за сохранения оксидных модификаций приповерхностного слоя после воздействий компрессионными плазменными потоками, приводящими к изменению в соотношениях атомов металла и кислорода. Гидродинамическое перемешивание расплавленного слоя и частичное испарение атомов из расплава приводят к снижению концентраций у примесных атомов, находящихся в покрытии по технологическим причинам. У поверхности полученных покрытий на базе оксидов повышенная шероховатость, объясняемая спеканием части частиц порошкового материала при формировании покрытия. Происходит гидродинамическое перемешивание расплава из-за воздействия компрессионным плазменным потоком, при этом силы поверхностного натяжения сглаживают поверхности, сформированные после процесса кристаллизации. Скоростная кристаллизация расплава вызывается высокой скоростью охлаждения из-за интенсивного теплоотвода в нерасплавленную часть образца, поэтому возникают поверхностные трещины в закристаллизовавшейся твердой фазе благодаря высокому уровню механических напряжений. Вид обрабатываемого покрытия не влияет на количество трещин или их пространственную локализацию и средний размер. Оптимальными для практического применения являются покрытия на основе $Ni-Cr-Y-Al$, поскольку в них присутствуют и элементы твердого оксидного слоя (иттрий), и элемент подложки (алюминий). Это приводит к повышенной адгезионной прочности и уменьшению отслаивания отдельных слоев при внешних воздействиях. Модифицированию механических свойств способствуют структурные изменения в приповерхностном слое покрытий под воздействием компрессионных плазменных потоков. Повышаются механические характеристики у поверхности, снижаются коэффициенты трения из-за эффекта сглаживания поверхности, возрастания плотности приповерхностного слоя и резкого снижения макродефектов в виде пор и макротрещин. Тем не менее необходимо проводить очень точную оптимизацию технологических параметров процесса высокоэнергетического воздействия из-за возможности возникновения в обработанном слое большого количества трещин у поверхности, что может негативно сказаться на коэффициенте трения, вызывая его увеличение. Они инициируют внутренние напряжения и вызывают разрушение покрытия с повышением интенсивности у абразивного износа. Такое разрушение поверхности имеет место во время проведения трибологических испытаний у модифицированных покрытий на базе оксида алюминия Al_2O_3 . При испытаниях зафиксировано увеличение коэффициентов трения. У покрытий на базе оксида циркония ZrO_2 снижаются коэффициенты трения после воздействий компрессионных плазменных потоков из-за формирования на поверхности упрочненного слоя на основе нитрида циркония ZrN .

УДК 661.68:661.482:661.968

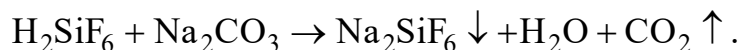
ПРОИЗВОДСТВО ФТОРСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

В. Н. СТЕПАНЕНКО¹, Е. А. ШАПОРОВА¹, С. Д. ЮХНЕВИЧ²¹Белорусская государственная академия авиации²Минский аэроклуб имени дважды Героя Советского Союза С. И. Грицевца
Минск, Беларусь

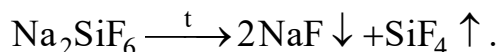
Производство удобрений имеет стратегическое значение с точки зрения продовольственной безопасности любой страны. Получение фосфорных удобрений связано с переработкой фторсодержащих руд, при которой образуется большое количество фтористых соединений. Количество накопленных в мире фторсодержащих отходов исчисляется миллионами тонн, что является серьезной экологической проблемой. С другой стороны, производство фторсодержащих материалов актуально и востребовано в различных отраслях промышленности. Основным отходом производства фосфорных удобрений на химических заводах является кремнефтористоводородная кислота (КФК). При переработке КФК в рамках фторидно-гидридной технологии получения поликристаллического полупроводникового кремния (ПКК) [1] образуется целый ряд востребованных на мировом рынке продуктов [2].

Так, технологическая цепочка переработки КФК в кремнефторид натрия (КФН), тетрафторид кремния (ТФК), моносилан и на заключительной стадии в ПКК проходит через следующие стадии.

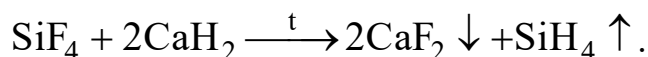
1. Переработка КФК (H_2SiF_6) в КФН (Na_2SiF_6):



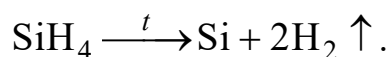
2. Термическое разложение КФН с получением фторида натрия (ФН) (NaF) и ТФК (SiF_4):



3. Преобразование ТФК в моносилан (SiH_4):



4. Разложение моносилана:



При этом выделяются попутные вещества: фторид натрия и фторид кальция (флюорит), реализация которых не только позволит снизить себестоимость получения основного продукта – ПКК – и обеспечить безотходность, но и будет экономически выгодна и актуальна в контексте экологичной переработки фторсодержащих соединений.

На рис. 1 представлены ориентировочная стоимость и области применения промежуточных и побочных фторсодержащих продуктов представленной технологии.



Рис. 1. Ориентировочная стоимость и применение фторсодержащих соединений, получаемых в рамках фторидно-гидридной технологии производства ПКК

Организация производства каждого из названных фтористых материалов связана с необходимостью обеспечения санитарных норм и правил по выбросам и сбросам в окружающую среду, что предусматривает создание соответствующих дорогостоящих очистных сооружений. Поэтому создание единого предприятия, обеспечивающего производство таких фторсодержащих продуктов, как КФН, ФН, флюорит с утилизацией КФК в рамках фторидно-гидридной технологии получения ПКК, целесообразно не только с точки зрения технологичности, но и с точки зрения экономичности и экологичности производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Степаненко, Н. В.** Получение поликристаллического солнечного кремния из продуктов переработки апатитов по фторидно-гидридной технологии / Н. В. Степаненко // Изв. Белорус. инженерной акад. – 2002. – № 2 (14) / 2. – С. 29–33.
2. **Немцев, В. А.** Перспективные материалы для микроэлектроники / В. А. Немцев, В. Н. Степаненко, Е. А. Телущенко // Перспективные материалы и технологии: в 2 т. – Витебск: ВГТУ, 2017. – Т. 2, гл. 21. – С. 406–417.

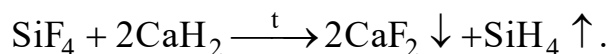
УДК 661.68:661.482

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ФЛЮОРИТА ИЗ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ АПАТИТОВ

В. Н. СТЕПАНЕНКО¹, Е. А. ШАПОРОВА¹, С. Д. ЮХНЕВИЧ²¹Белорусская государственная академия авиации²Минский аэроклуб имени дважды Героя Советского Союза С. И. Грицевца
Минск, Беларусь

Флюорит (плавиковый шпат) – природный минерал, содержащий в своем составе не более 50 %...65 % основного компонента – фторида кальция (CaF_2) – широко используется: в металлургической промышленности в качестве компонента флюса; в химической промышленности для производства безводного фтористого водорода и плавиковой кислоты, фторпроизводных углеводородов, фреонов и фторопластов; при изготовлении защитных покрытий сварочных электродов; в атомной промышленности для получения тетрафторида урана – промежуточного продукта при обогащении и регенерации ядерного топлива; при варке стекла и эмалей; для упрочнения деталей методом наплавки; в производстве оптических изделий для микроэлектроники; в качестве сорбента для очистки различных газов от нежелательных примесей и др. [1, 2]. В Республике Беларусь флюорит востребован такими предприятиями, как ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (БМЗ) и ОХП «Институт сварки и защитных покрытий».

В качестве перспективного источника флюорита целесообразно рассмотреть процесс его синтеза в рамках предлагаемой авторами фторидно-гидридной технологии получения поликристаллического кремния (ПКК) из продуктов переработки апатитов, в которой сырьем является кремнефтористоводородная кислота (КФК) – отход производства фосфорных удобрений [2]. В рамках этой технологии в процессе одной из реакций происходит преобразование тетрафторида кремния (SiF_4) в моносилан (SiH_4) с образованием фторида кальция:



Кроме того, получение флюорита возможно непосредственно из КФК в результате ее реакций с нитратом кальция и аммиаком, с гашеной известью, природным мелом. В ходе отработки технологии получения флюорита из КФК в лабораторных условиях была проведена серия опытов по определению оптимального режима синтеза флюорита (расход оборотной воды, высокая производительность фильтрации, максимальное содержание CaF_2 в готовом продукте). Были изучены состав и свойства синтетического флюорита для определения пригодности его применения в промышленных целях. Исследования показали, что высокая производительность фильтрации с минимальным расходом оборотной воды наблюдается при осаждении флюорита пульпой очищенного природного мела.

Вторым этапом разработки технологии получения флюорита стали опытно-промышленные испытания на ОАО «Гомельский химический завод» (ГХЗ), где была получена опытная партия продукта. Основные технологические стадии производства флюорита представлены на рис. 1.

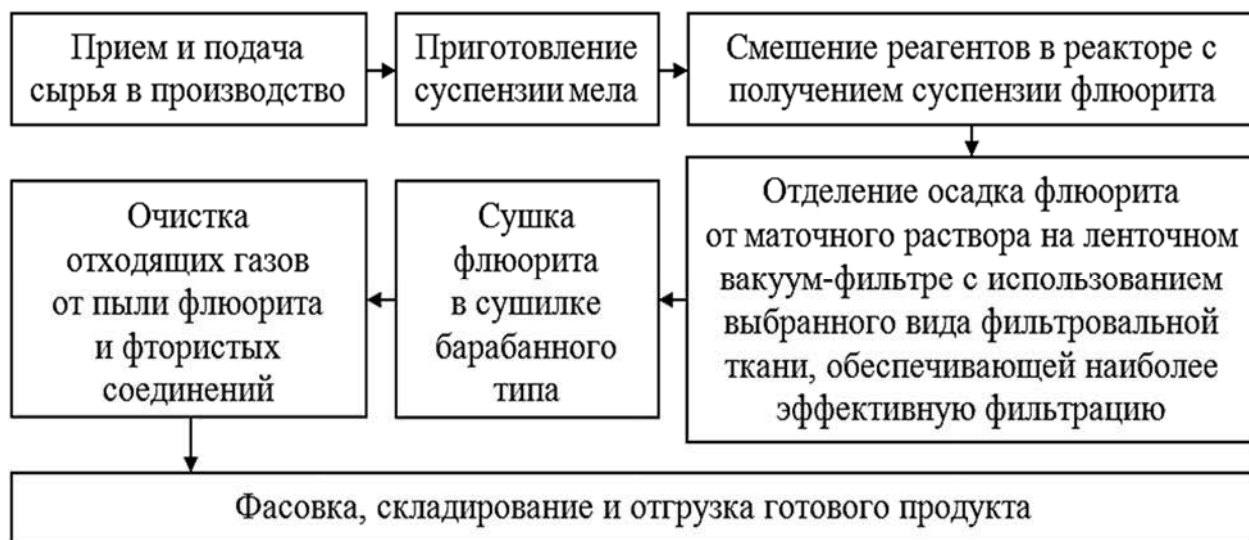


Рис. 1. Основные технологические стадии производства флюорита

Для проверки возможности использования синтетического флюорита в качестве флюса в металлургии была изготовлена опытная партия в количестве 1616 кг (влажность продукта составила 59,1 %) и передана на БМЗ, где было отмечено, что состав высушенного флюорита, в частности по основному компоненту CaF_2 , удовлетворяет необходимым требованиям, связанным с его непосредственным назначением. Эффективность воздействия синтетического флюорита на шлаковый расплав после его присадки соответствовал воздействию применяемого в настоящее время на БМЗ природного флюорита в виде флюоритового концентрата марки ФК 75 по ГОСТ 29220–91. Для обеспечения технологичности использования флюорита в качестве флюса была изучена возможность его гранулирования методом окатывания. Оптимальная температура процесса составляет 60 °С...70 °С, при этом получают гранулы флюорита размерами 10...20 мм. Также 2 кг осажденного флюорита были переданы на промышленные испытания в производство сварочных электродов.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности производства синтетического флюорита и эффективности его применения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зайцев, В. А.** Производство фтористых соединений при переработке фосфатного сырья / В. А. Зайцев, А. А. Новиков, В. И. Родин. – Москва: Химия, 1982. – 248 с.
2. **Галиева, Ж. Н.** К вопросу о производстве полупроводникового кремния: анализ отходов и варианты их переработки / Ж. Н. Галиева, В. Н. Степаненко, О. Н. Бондарук // Наука о материалах на рубеже веков: преимущества и проблемы: материалы Междунар. конф., Киев, 4–8 нояб. 2002 г. – Киев: НАНУ, 2002. – С. 353–355.

УДК 546.62:539.25:621.785.6

ВЫДЕЛЕНИЕ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ ФАЗ В БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГАХ СПЛАВА Al–Mg–Zr ПРИ ОТЖИГЕ

И. А. СТОЛЯР¹, И. И. ТАШЛЫКОВА-БУШКЕВИЧ², В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ¹¹Белорусский государственный университет²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

В настоящее время алюминиевые сплавы активно применяются в таких областях современной техники, как машиностроение, приборостроение, электротехническая и авиационная промышленность. Широкое распространение получили сплавы системы Al–Mg благодаря сочетанию высокой прочности с хорошей свариваемостью и пластичности [1]. Для оценки эффективности использования сверхбыстрой закалки из расплава для получения промышленных многокомпонентных сплавов с улучшенными физическими и механическими свойствами необходима информация о структуре и свойствах быстрозатвердевших (БЗ) тройных сплавов. Цель работы – выполнить исследование структурно-фазового состояния БЗ экспериментального сплава Al–Mg–Zr после отжига.

В работе сплав Al – 1,37 % Mg – 0,21 % Zr (масс. %) был получен сплавлением компонентов – бинарного сплава Al – 0,21 % Zr и Mg – в кварцевой ампуле со стеклянной пробкой в муфельной печи при температуре 900 °С. Далее фольги изучаемого сплава изготавливались закалкой из жидкой фазы при сверхвысоких скоростях охлаждения (около 10⁶ К/с) на внутренней поверхности медного цилиндра, вращающегося с частотой 1500 об/мин. Толщина отобранных для исследования быстрозатвердевших (БЗ) фольг была около 40...80 мкм. Методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с приставкой для рентгеноструктурного микроанализа изучалось поперечное сечение БЗ и отожженных при 250 °С...300 °С в течение 1 ч фольг.

С помощью метода РЭМ установлено, что БЗ-сплав состоит из пересыщенного α -твердого раствора и его структура однородна. В объеме БЗ-фольг сплава Al–Mg–Zr отсутствуют первичные включения вторых фаз (рис. 1). Далее при отжиге при температурах 250 °С...300 °С наблюдается ускоренный распад пересыщенного твердого раствора с образованием частиц вторичных фаз.

На рис. 2 приведены карты распределения основных элементов поперечного сечения фольг, отожженных при температуре 300 °С, полученные методом энергодисперсионного спектрометрического микроанализа. Определено, что Mg распределен неравномерно в поперечном сечении отожженных фольг. Наблюдаются локальные области, обедненные алюминием, с повышенным содержанием магния.

По результатам энергодисперсионного анализа можно сделать вывод, что в структуре поперечного сечения фольг после отжига по границам дендритных ячеек алюминиевого твердого раствора формируются области, в которых из-за дендритной ликвации повышено содержание легирующего компонента –

магния. Наблюдаемая сетка включений магнийсодержащей фазы, по-видимому, соответствует фазе Al_3Mg_2 (β -фаза) [2]. Как известно, в зависимости от состава сплава системы Al-Mg-Zr и режимов термической обработки может, в частности, формироваться такая вторичная фаза, как Al_3Mg_2 . Фаза β образуется при температурах около 200°C и выше до $375^\circ\text{C} \dots 400^\circ\text{C}$ [2]. Отметим, что подобные фазовые превращения наблюдались нами при отжиге БЗ-сплава 1421 Al-Mg-Li-Sc-Zr [2]. О дендритных ячейках в литых образцах сплава Al-Mg-Zr с содержанием $0,2\% \dots 0,3\%$ Zr и $2,8\% \dots 3,2\%$ Mg сообщается в [3].

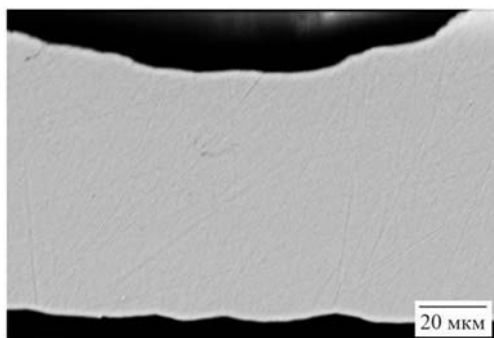


Рис. 1. РЭМ-изображение поперечного сечения свежезакаленной фольги экспериментального сплава Al-Mg-Zr

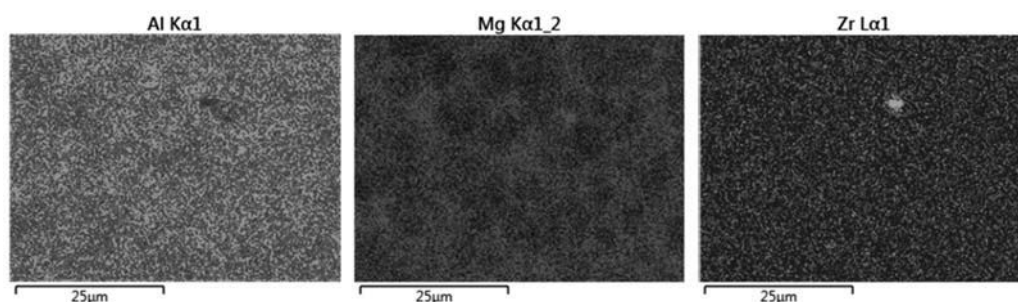


Рис. 2. Картирование поперечного сечения по основным химическим элементам фольг сплава Al-Mg-Zr после отжига при температуре 300°C

Таким образом, установлено, что свежезакаленные фольги сплава Al-Mg-Zr состоят из пересыщенного твердого раствора на основе алюминия. В интервале температур отжига $250^\circ\text{C} \dots 300^\circ\text{C}$ в структуре фольг присутствуют включения частиц фазы Al_3Mg_2 по границам дендритных ячеек.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тенденции развития деформируемых сплавов системы Al-Mg-Si-(Cu) . Часть 1 (обзор) / И. Бенариеб [и др.] // *Авиационные материалы и технологии*. – 2019. – Т. 56, № 3. – С. 14–22.
2. Термическая стабильность микроструктуры быстрозатвердевшего сплава Al-Mg-Li-Sc-Zr / И. А. Бушкевич [и др.] // *Актуальные проблемы физики твердого тела: материалы VIII Междунар. науч. конф., Минск, 24–28 сент. 2018 г.: в 3 т.* – Минск, 2018. – Т. 1. – С. 134–136.
3. Precipitation behavior of L12 Al_3Zr phase in Al-Mg-Zr alloy / A. V. Mikhaylovskaya [et al.] // *Materials Characterization*. – 2018. – Vol. 139. – P. 30–37.

УДК 621.793.18

ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОФОБНЫХ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Е. В. ТЕЛЕШ, В. А. ТОЧЕНЬ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

Фторуглеродные тонкие пленки в настоящее время применяются в качестве оптических покрытий с низким коэффициентом преломления, гидрофобных, антифрикционных, защитных, химически стойких покрытий. Загрязнение поверхности защитного стекла или колпака, расположенных перед объективом камеры наблюдения, со временем может существенно ухудшить качество изображения. Защита от загрязнения и воды актуальна для любых других оптически прозрачных поверхностей, в том числе не имеющих прямого отношения к видеонаблюдению. Имеется несколько наиболее популярных рынков, где востребованы гидрофобные покрытия: рынок автомобильных стекол и покрытий для них, рынок линз для очков, рынок архитектурных стекол и т. п. [1]. Существует ряд способов нанесения гидрофобных покрытий. В промышленности используется метод окунания или центрифугирования, а также полимеризации гидрофобного покрытия из мономеров, которые впрыскиваются в камеру установки в газовой фазе. Перспективным методом является ионно-лучевое распыление мишени из фторопласта [2].

Эксперименты проводили на модернизированной установке вакуумного напыления УРМ 3.279.017. Нанесение пленок осуществляли путем ионно-лучевого распыления мишени из фторопласта-4. В качестве подложки применялось оптическое стекло К8. Величина пропускания измерялась с помощью спектрофотометра МС-121, угол смачивания – с применением гониометра ЛК-1. На рис. 1 приведен спектр пропускания и внешний вид капли дистиллированной воды на поверхности фторуглеродного покрытия.

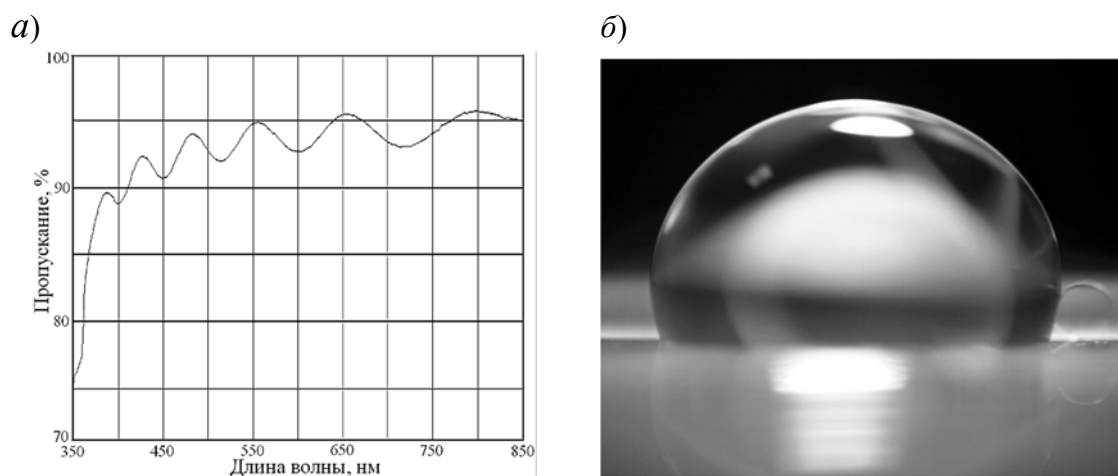


Рис. 1. Спектральная зависимость пропускания (а) и внешний вид капли воды (б) на поверхности фторуглеродного покрытия

Покрyтия обладали высоким пропусканием (90 %...95 %) в видимом диапазоне волн и большой величиной угла смачивания ($> 100^\circ$). Установлено, что угол смачивания увеличивается с ростом ускоряющего напряжения U_a на аноде ионного источника (рис. 2).

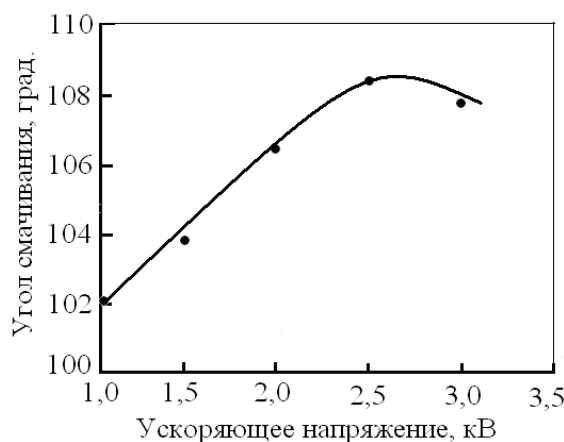


Рис. 2. Зависимость величины угла смачивания от ускоряющего напряжения

Проведено нанесение фторуглеродных покрытий при использовании различных рабочих газов (аргон, метан CH_4 , пары фторопласта CF_4 и хладон-218 C_3F_8), варьирования температуры подложки T_n и U_a . Результаты приведены в табл. 1.

Табл. 1. Исследования влияния режимов нанесения на угол смачивания

Но- мер опыта	Газ	Давление Ar, Па	Давление CH_4 , Па	Давление CF_4 , Па	U_a , кВ	T_n , К	Угол смачивания, град
1	Ar	$4,0 \cdot 10^{-2}$	—	—	2,5	333	108,7
2	CF_4	—	—	$1,1 \cdot 10^{-1}$	3,0	333	106,3
3	Ar + CH_4	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$	—	3,0	333	105,6
4	Ar + C_3F_8	$4,0 \cdot 10^{-2}$	—	$2,0 \cdot 10^{-2}$	2,5	323	106,8
5	Ar	$4,0 \cdot 10^{-2}$	—	—	2,5	443	106,1

Таким образом, ионно-лучевое распыление мишени из фторопласта позволило получить качественные прозрачные гидрофобные покрытия на стекле.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Super-hydrophobic coatings prepared by RF magnetron sputtering of PTFE / M. Drabik [et al.] // Plasma Processes Polym. – 2010. – Vol. 7. – P. 544–551.
2. Deposition of PTFE thin films by ion beam sputtering and a study of ion bombardment effect / J. L. He [et al.] // Nuclear Instrum. and Methods in Phys. Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 1998. – Vol. 135, iss. 1–4. – P. 512–516.

УДК 533.9.082.76

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПЛАЗМЫ СВЧ-РАЗРЯДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

О. И. ТИХОН, С. И. МАДВЕЙКО, С. В. БОРДУСОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

В области изготовления изделий полупроводникового производства интерес представляет обеспечение возбуждения и поддержания плазмы СВЧ-разряда большого объема в устройствах на базе объемных резонаторов. Плазменные модули такого типа позволяют выполнять плазмохимическую обработку габаритных объектов, используя в качестве источников энергии бытовые СВЧ-магнетроны. Вводимая в разряд СВЧ-мощность, влияющая на электрофизикохимические характеристики формируемой плазмы, зависит от параметров импульсов тока в анодной цепи источника питания СВЧ-генератора, а режим генерации плазмы определяется условиями работы СВЧ-магнетрона. Поэтому управление генерируемой СВЧ-мощностью обеспечивает целенаправленное влияние на параметры реализуемых процессов обработки материалов в объеме СВЧ-плазмы.

Для управления режимами генерации СВЧ-магнетрона разработан трех-фазный импульсный источник питания, обеспечивающий путем изменения скважности управляющего широтно-импульсного модулированного сигнала регулировку выходной мощности, а также длительности импульсов анодного тока, тем самым изменяющий условия проведения процессов обработки материалов при сохранении режима энергопотребления [1]. Экспериментальные исследования его работы проводились на СВЧ-вакуумно-плазменной установке на базе объемного прямоугольного резонатора.

Контроль условий возбуждения и формирования плазмы проводился по спектральным характеристикам плазменного разряда, являющимся одними из основных индикаторов его параметров, позволяющим прогнозировать воспроизводимость и управлять режимами процессов обработки. В серии экспериментов был проведен оптический спектральный анализ СВЧ-разряда при различных условиях его формирования. Изучалось влияние режима плазмообразования на интенсивность спектральных линий плазмы, которая отражает степень эффективности взаимодействия разряда с газом и обрабатываемыми материалами при конкретных условиях генерации. Регистрация данных осуществлялась с помощью подключенного к ПЭВМ спектрометра SL40-2-2048 ISA. Давление в рабочей камере плазмотрона – 133 Па, рабочий газ – воздух.

В массиве полученных экспериментальных данных была выделена интенсивность спектральных линий, соответствующих атомарному кислороду ОI, как основных линий, характеризующих химическую активность плазмы применительно к технологии плазмохимического удаления фоторезистивных покрытий. На рис. 1 представлены зависимости интенсивности линии ОI

$\lambda = 777,1$ нм от режимов генерации СВЧ-плазмы и величины мощности, потребляемой от сети СВЧ-генератором.

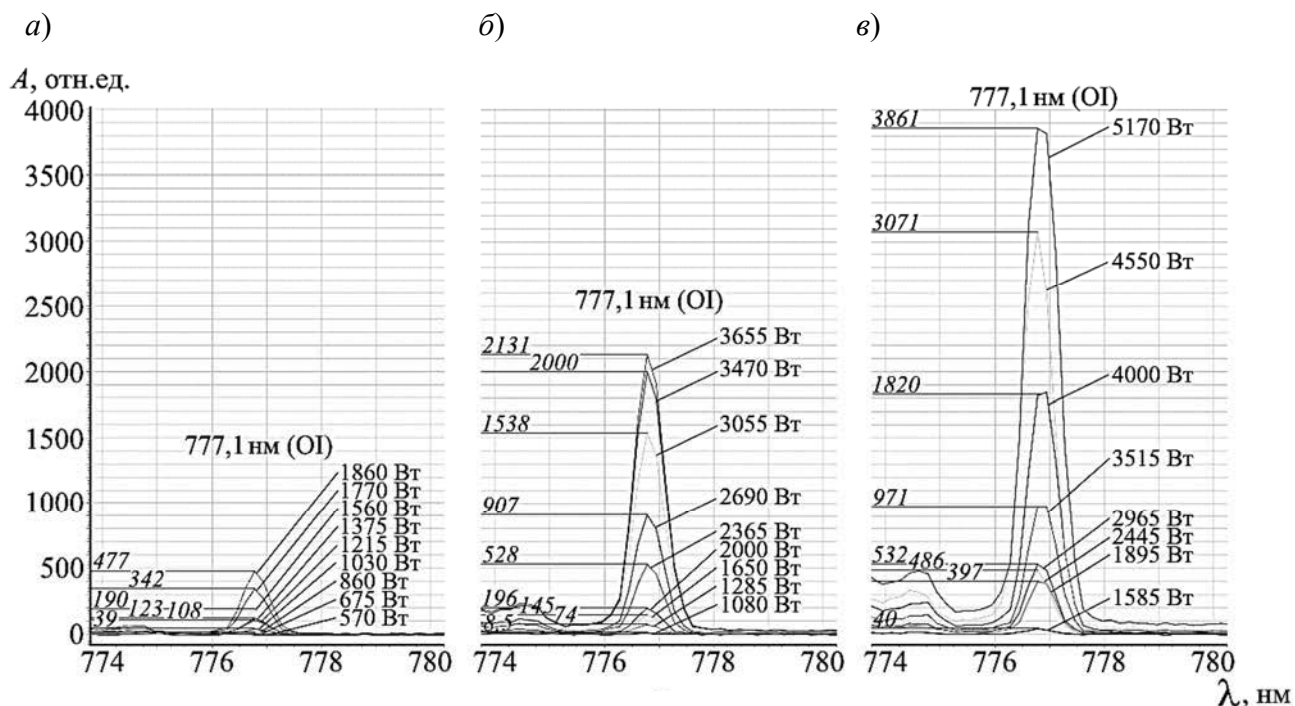


Рис. 1. Интенсивность спектральной линии атомарного кислорода (OI) 777,1 нм при различных условиях плазмообразования: *а* – пульсирующий режим генерации плазмы, скважность импульсов $S \approx 2$; *б* – пульсирующий режим генерации плазмы, скважность импульсов $S \approx 1,15$; *в* – квазипостоянный режим генерации плазмы

Согласно представленным данным, увеличение потребляемой от сети электропитания СВЧ-разрядной системой мощности приводит к повышению интенсивности спектральных линий. Величина интенсивности линий атомарного кислорода после значения потребляемой мощности в 3515 Вт в квазипостоянном режиме генерации изменяет характер роста (см. рис. 1, в). Это может быть связано с формой анодного тока, характерной для высоких уровней потребляемой мощности СВЧ-генераторной системой при подобных условиях работы.

Результаты анализа эмиссионного спектра плазмы СВЧ-разряда демонстрируют динамическую реакцию интенсивности линий атомарного кислорода на изменение вводимой в разряд мощности и режима ее генерации, что указывает на возможность точного управления параметрами процесса плазмообразования, в том числе путем реализации многостадийных режимов обработки с высокой энергоэффективностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование характера изменения величины СВЧ-мощности в плазменном объеме при квазипостоянном режиме её генерации / О. И. Тихон [и др.] // Приборостроение – 2021: материалы 14 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 17–19 нояб. 2021 г. – Минск: Белорус. нац. техн. ун-т, 2021. – С. 357–358.

УДК 621.762.2

ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А. С. ФЕДОСЕНКО, Ф. Г. ЛОВШЕНКО, А. С. ОЛЕНЦЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Широкое применение алюминиевых сплавов обусловлено их невысокой плотностью и относительно низкой стоимостью. Они используются в машино-, авиа- и ракетостроении, военной технике, других областях, и объем их потребления постоянно увеличивается. Изделия из алюминиевых сплавов получают литьем, обработкой резанием, штамповкой и прочими способами. Большой потенциал у данных сплавов и в области аддитивных технологий. Их применение дает возможность создавать сложные изделия, изготовление которых классическими способами невозможно или требует существенных трудовых и финансовых затрат.

Среди сплавов на основе алюминия в области аддитивных технологий значительное внимание уделяется силуминам. Данная группа алюминиевых литейных сплавов получила популярность благодаря невысокой температуре плавления и хорошей жидкотекучести, что снижает вероятность образования дефектов в формируемом объекте. Основным легирующим элементом в них является кремний, количество которого может превышать 15 %. Увеличение его содержания позволяет повысить литейные свойства, однако снижает механические характеристики изделия. Для увеличения механических свойств сплавы легируют. Несмотря на это, многие прочностные характеристики силуминов ниже по сравнению с другими группами алюминиевых сплавов.

Помимо силуминов, в настоящее время для аддитивных технологий разработаны порошки и других систем, к примеру Al–Cu и Al–Mg, Al–Mg–Sc, Al–Zn–Mg. Однако с учетом механических свойств получаемых изделий в качестве перспективных отмечают сплавы Al–Cu и Al–Mg.

Улучшения механических свойств сплавов можно достичь дополнительным введением ультрадисперсных частиц термодинамически стабильных фаз. Такие материалы называют дисперсно-упрочненными. Одной из эффективных технологий их получения является реакционное механическое легирование, при котором с целью образования упрочняющей фазы могут использоваться различные химические соединения в твердом, жидком или газообразном виде. Среди них наиболее исследован процесс механосинтеза алюминиевых сплавов с применением в качестве поставщика кислорода оксидов, отличающихся относительно низкой термодинамической стабильностью. Механическое легирование позволяет существенно увеличить жаропрочность, а также другие свойства синтезируемых сплавов.

УДК 621.762.2

МЕХАНОСИНТЕЗ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ «ЖЕЛЕЗО – АЛЮМИНИЙ»

А. С. ФЕДОСЕНКО, В. А. САПЕГО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Высоколегированные сплавы на основе железа получили широкое распространение в машиностроении. В их число входят жаростойкие и коррозионностойкие стали, работающие в агрессивных газовых и жидких средах, при высоких температурах. Содержание легирующих элементов в таких сплавах зачастую превышает 30 %.

В настоящее время ведется активный поиск более дешевых материалов, способных заменить применяемые высоколегированные стали. Одним из возможных заменителей могут стать композиции системы «железо – алюминий», которые в ряде случаев превосходят по характеристикам высоколегированные сплавы на основе железа, обладая при этом меньшей себестоимостью.

Известны работы, направленные на получение материалов системы «железо – алюминий» литьем, способами порошковой металлургии, механическим легированием. В большинстве случаев предпочтение отдается композициям с содержанием алюминия 23 %...33 %, что соответствует образованию в сплаве в качестве основной фазы интерметаллида FeAl . Уменьшение содержания алюминия по сравнению с указанным ведет к ухудшению коррозионной стойкости, а увеличение сопровождается заметным снижением пластичности.

В ходе выполнения исследований была получена гамма порошковых материалов на основе системы «железо – алюминий», в том числе легированных хромом. Синтез проводили в механореакторе гирационного типа при ускорении рабочих тел $135 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, при этом заполнение помольной камеры шарами – 75 %, соотношение объемов шаров и шихты – 12, продолжительность обработки – 8 ч. Для управления размером частиц использовали добавки стеариновой кислоты, графита серебристого и изопропилового спирта.

В результате исследований установлено влияние легирующих добавок и длительности механосинтеза на гранулометрический состав порошков. Выявлено, что увеличение содержания добавок способствует снижению среднего размера частиц, который постепенно смещается в область с величиной гранул менее 63 мкм. Угол естественного откоса, характеризующий сыпучесть порошков, несколько больше, чем у порошка стали 316L аналогичного гранулометрического состава. Так, у исследуемых порошков он составляет $31,5^\circ$, в то время как у стали 316 L его значение $24,5^\circ$. Насыпная плотность порошкового материала с размером частиц 63...125 мкм составляет $2,6 \text{ г/см}^3$ при средней плотности исходных компонентов композиции $6,36 \text{ г/см}^3$. Термическая обработка порошков не оказывает существенного влияния на гранулометрический состав, однако вызывает рост твердости частиц минимум на 15 %.

УДК 621.791.72

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ СО СКАНИРОВАНИЕМ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАЛИКОВ

В. К. ШЕЛЕГ, Н. И. ЛУЦКО, М. А. КАРДАПОЛОВА

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В настоящее время лазерная наплавка является быстроразвивающейся технологией упрочнения-восстановления поверхностей. Покрытия, полученные лазерной наплавкой, характеризуются высокой износостойкостью, коррозионной стойкостью, усталостной стойкостью и стойкостью к окислению. По этой причине технология лазерной наплавки находит все большее применение при ремонте и упрочнении поверхностей деталей в различных отраслях промышленности [1].

Появившиеся сравнительно недавно волоконные лазеры и системы программируемого поперечного сканирования лазерного пятна дают возможность изменять размеры наплавляемых валиков в режиме онлайн в широком диапазоне для гибкой адаптации к требованиям геометрии детали, повышают производительность процесса и улучшают его стабильность [2]. Работа посвящена изучению геометрии валиков наплавки при различных режимах лазерной наплавки.

Наплавка образцов из стали 45 производилась на лазерном комплексе, включавшем волоконный лазер фирмы IPG (США) типа YLR-1 мощностью 1000 Вт, координатную систему с ЧПУ, программируемый 2D-сканер фирмы «Ситела» (Республика Беларусь) и щелевую головку для боковой лазерной наплавки. В качестве материала покрытия при наплавке использовался порошок самофлюсующегося сплава на основе никеля ПГ-12Н-01 грануляцией 20...80 мкм. Высота и ширина валиков наплавки измерялись на поперечных шлифах валиков при помощи металлографического микроскопа «Микро Р200».

Анализ полученных результатов показал, что скорость наплавки оказывает существенное влияние на ширину валиков наплавки (рис. 1). Ширина валиков уменьшается при увеличении скорости наплавки при любых площадях пятна сканирования. Это объясняется тем, что увеличение скорости наплавки уменьшает удельную энергию, поглощаемую подложкой, за счет чего диаметр ванны расплава на подложке и, соответственно, ширина валика уменьшаются.

Высота валиков наплавки с увеличением скорости наплавки также уменьшается (рис. 2). Этому способствует сочетание двух факторов: во-первых, уменьшение энерговклада в наплавляемый валик, что приводит к тому, что не весь поступающий порошок расплавляется и попадает в валик, во-вторых, то, что одно и то же количество подаваемого порошка распределяется на большей длине валика. Из-за действия сразу двух факторов уменьшение высоты валиков происходит более интенсивно, чем их ширины (см. рис. 1 и 2).

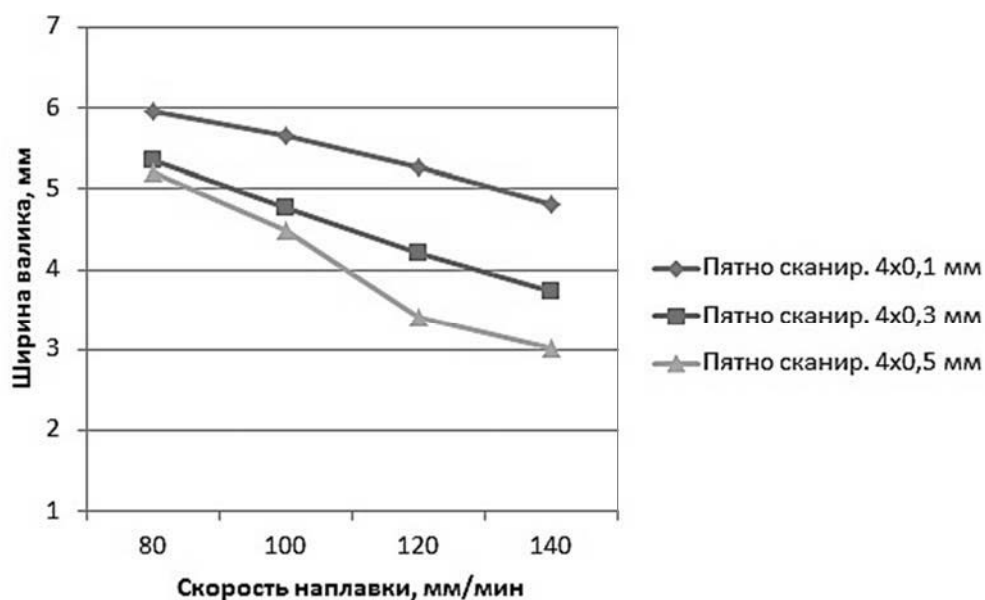


Рис. 1. Зависимости ширины валиков наплавки от скорости наплавки

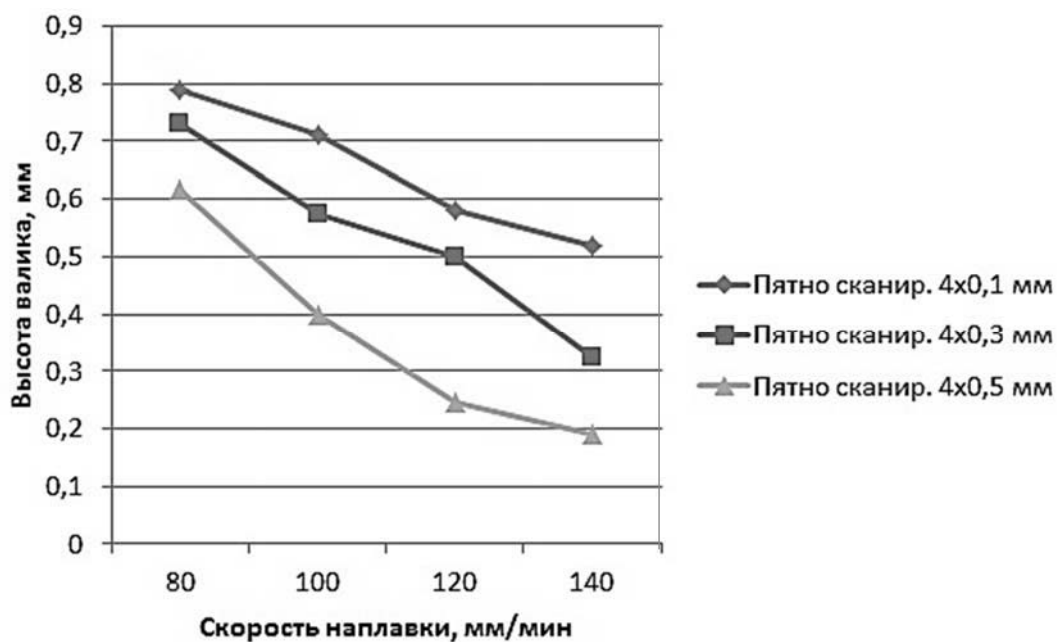


Рис. 2. Зависимости высоты валиков наплавки от скорости наплавки

Увеличение площади пятна сканирования (пятна сканирования) вызывает уменьшение ширины валиков наплавки (рис. 3). В этом случае при увеличении площади распределения энергии лазерного луча и уменьшении удельной энергии происходит уменьшение размера ванны расплава на поверхности подложки и, соответственно, уменьшение ширины валика.

Высота валиков наплавки также уменьшается при увеличении площади пятна сканирования (рис. 4). В этом случае также сказывается уменьшение удельной энергии, поступающей в валик, что не позволяет всему подаваемому порошку образовывать валик.

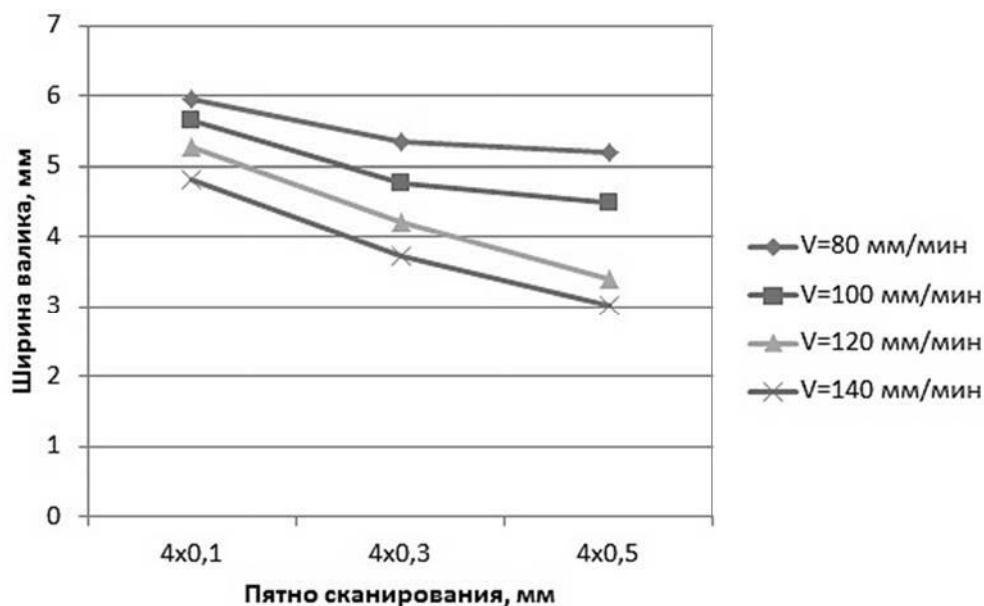


Рис. 3. Зависимости ширины валиков наплавки от площади пятна сканирования

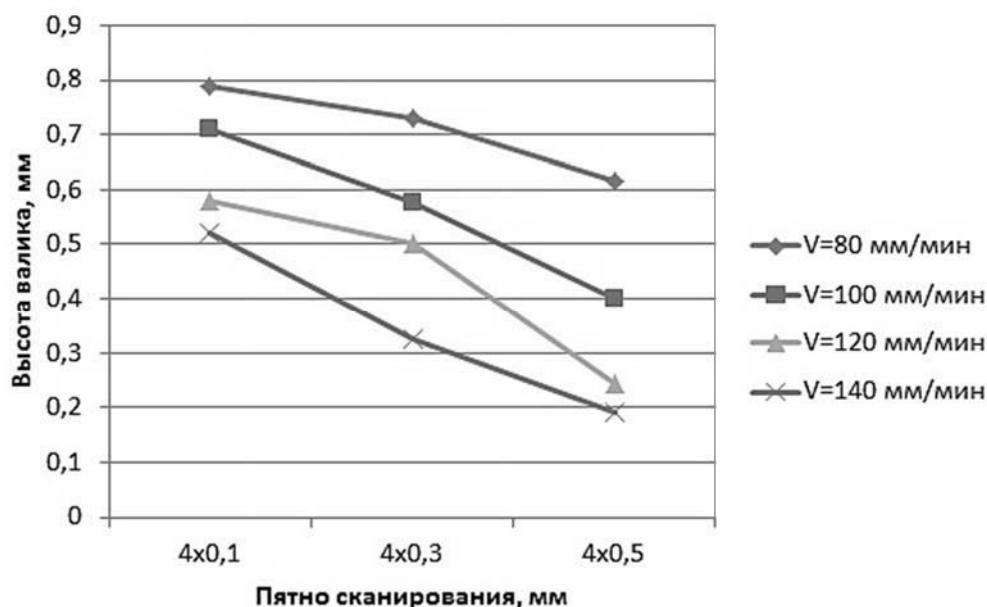


Рис. 4. Зависимости высоты валиков наплавки от площади пятна сканирования

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Microstructure investigation of Inconel 625 coating, obtained by laser cladding and TIG cladding methods [Electronic resource] / M. Naghiyan Fesharki [et al.] // Surface & Coating Technology. – 2018. – Vol. 353. – P. 25–31. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.08.061>.
2. Hoadley, A. F. A. A thermal model of laser cladding by powder injection / A. F. A. Hoadley, M. Rappaz // Metallurgical and Materials Transactions. – 1992. – Vol. B23. – P. 631–642.

УДК 666.6

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНОЙ КЕРАМИКИ

А. Н. ШИМАНСКАЯ, А. Д. ПОДСОСОННАЯ, Д. А. БОРОВКО,
И. А. БОРОЗНА, А. В. ЖЕРНОКЛЕВА

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Целью исследования является изучение возможности повышения прочностных характеристик кальций-фосфатной керамики, полученной с использованием 3D-печати. Согласно данным научно-технической литературы, для упрочнения материалов на основе гидроксиапатита могут применяться диоксиды циркония и кремния, волластонит, диопсид, фосфаты натрия и др. [1–4].

В работе в качестве добавок использовались следующие: дигидроортофосфат кальция (ГОСТ 10091); бой кварцевого стекла (ГОСТ 15130); диоксид кремния нанодисперсный аморфный (ГОСТ 14922); оксид алюминия и пирофосфат кальция, полученные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в растворе; биоактивное стекло (24,5 масс. % Na_2O ; 24,5 масс. % CaO ; 45,0 масс. % SiO_2 ; 6,0 масс. % P_2O_5 [5]). Все указанные добавки вводились в количестве 2,5...10,0 масс. %.

Экспериментальные образцы готовились следующим образом. Смеси гидроксиапатита, полученного методом жидкофазного синтеза [6], и добавок подвергались совместному мокрому помолу в лабораторной шаровой мельнице BML-2 (DAIHAN) в течение 30...60 мин для гомогенизации. Влажность приготовленных керамических масс составляла 45,0 масс. %. Для формования изделий использовался метод 3D-печати. Сформованные образцы подвергались сушке в сушильном шкафу SNOL при температуре $(60 \pm 5)^\circ\text{C}$, а затем обжигу в электрической лабораторной печи SNOL 1,6,2,5.1/13,5-Y1 при температурах 500°C ... 1200°C (шаг – 100°C) с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Синтез оксида алюминия и пирофосфата кальция осуществлялся по методикам, приведенным в [7, 8] соответственно.

Визуальная оценка обожженных образцов свидетельствует, что они характеризуются равномерной окраской белого цвета, которая не зависит от содержания компонентов массы и температуры обжига. Текстура образцов пористая.

Физико-химические свойства определялись в соответствии с ГОСТ 30534, ГОСТ 2409, ГОСТ Р 57606 и др. (табл. 1).

Рентгенофазовый анализ позволил установить, что основной кристаллической фазой во всех синтезированных материалах является гидроксиапатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, который при температурах обжига выше 1100°C частично переходит в ортофосфат кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. С помощью электронной микроскопии выявили присутствие значительного количества пор различной конфигурации, размер которых составляет от 0,5 до 20,0 мкм.

Табл. 1. Технологические и физико-химические свойства

Применяемая добавка	Значение показателя				
	Водопоглощение, %	Открытая пористость, %	Кажущаяся плотность, кг/м ³	Механическая прочность при сжатии, МПа	Общая усадка, %
Без добавок	29,9...49,6	48,5...59,7	1204...1622	0,9...3,3	10,5...18,3
Дигидроортофосфат кальция	32,0...51,8	48,3...61,6	1510...1167	1,1...5,5	9,7...18,1
Диоксид кремния нанодисперсный аморфный	18,9...54,8	35,7...61,4	1110...1885	0,8...9,6	9,0...25,0
Бой кварцевого стекла	25,0...51,6	43,4...60,7	1142...1745	0,7...3,4	10,8...23,8
Биоактивное стекло	29,6...48,6	49,3...59,7	1228...1666	0,9...3,8	11,9...22,1
Оксид алюминия, полученный методом СВС в растворе	29,7...53,3	47,5...62,1	1152...1602	1,1...5,6	9,6...18,4
Пирофосфат кальция, полученный методом СВС в растворе	9,8...57,2	23,3...62,2	1076...2388	1,3...18,6	9,1...29,6

Исследования выполнены в рамках проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант БРФФИ № T20M-034).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Нечаева, А. В.** Исследование влияния добавок диоксида циркония и гидрофосфата натрия на свойства керамики на основе гидроксиапатита / А. В. Нечаева, Е. С. Лукин, Н. А. Попова // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. XXXII, № 2. – С. 122–124.
2. **Сыч, Е. Е.** Влияние пирогенного диоксида кремния на структуру и свойства биокерамики на основе гидроксиапатита / Е. Е. Сыч // Стекло и керамика. – 2015. – № 3. – С. 36–39.
3. Пористая керамика на основе пирофосфата кальция / Т. В. Сафронова [и др.] // Новые огнеупоры. – 2015. – № 1. – С. 46–51.
4. Гидроксиапатит-воластонитовая биокерамика / В. В. Шумкова [и др.] // Стекло и керамика. – 2000. – № 10. – С. 18–21.
5. **Hench, L. L.** Some comments on bioglass: four eras of discovery and development / L. L. Hench // Biomed. Glass. – 2015. – Vol. 1, № 1. – P. 1–11.
6. Разработка составов масс на основе фосфатов кальция для 3D-печати керамических изделий / А. Н. Шиманская [и др.] // Тр. БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2021. – № 2 (247). – С. 187–199.
7. **Özdemir, H.** Synthesis of Al₂O₃, MgO and MgAl₂O₄ by solution combustion method and investigation of performances in partial oxidation of methane / H. Özdemir, M. A. Faruk Öksüzömer // Powder Technology. – 2020. – Vol. 359. – P. 107–117.
8. **Sasikumar, S.** Solution combustion synthesis of bioceramic calcium phosphates by single and mixed fuels – A comparative study / S. Sasikumar, R. Vijayaraghavan // Ceramics International. – 2008. – Vol. 34 (6). – P. 1373–1379.

УДК 646.31:666.3

ПОЛУЧЕНИЕ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНОЙ КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

А. Н. ШИМАНСКАЯ, А. Д. ПОДСОСОННАЯ, Е. В. ШОКАЛЬ

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

Наноразмерные фосфаты кальция можно получать различными методами. Вместе с тем перспективным и малоизученным является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) в растворе, который предлагает смешивание кальций- и фосфорсодержащих прекурсоров на молекулярном уровне, что позволяет получить более высокую химическую однородность продукта реакции по сравнению с традиционными методами. К преимуществам СВС в растворе также относится малая продолжительность реакции горения: за один прием можно получить материалы, которые обладают высокой чистотой, однородностью и площадью поверхности [1].

В исследовании для синтеза фосфатов кальция методом СВС в растворе исходными компонентами служили тетрагидрат нитрата кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (хч, ГОСТ 4142); гидроортофосфат аммония (чда, ГОСТ 3772); 25-процентный водный раствор аммиака NH_4OH (осч, ГОСТ 24147); азотная кислота HNO_3 (ГОСТ 4461) и лимонная кислота $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ (хч, ГОСТ 3652).

Растворы для проведения синтеза готовились следующим образом: в стеклянный стакан объемом 500 мл сливались водные растворы $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ и лимонной кислоты. Мольное соотношение восстановителя (лимонная кислота) к окислителю (нитрат кальция) – $\varphi = 1,50 \dots 2,80$. Полученная смесь перемешивалась магнитной мешалкой в течение 10 мин при комнатной температуре. Далее с помощью NH_4OH pH раствора доводился до 9,5, после чего в него по каплям добавлялся раствор $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. Затем образовавшийся белый осадок растворялся концентрированной HNO_3 , а pH раствора доводился до 1. Полученный раствор выдерживался в течение 2 ч при температуре 70 °С в сушильном шкафу SNOL 58/350 (Литва) и помещался в электрическую лабораторную печь SNOL 1,6,2,5.1/13,5-Y1 (Литва). При нагревании реакционного раствора до 185 °С...425 °С происходило его воспламенение.

Цвет синтезированных материалов зависел от φ и с повышением соотношения восстановителя к окислителю изменялся от светло- до темно-серого, что объясняется образованием углерода в процессе СВС в растворе.

С помощью рентгенофазового анализа (D8 Advance Bruker) установлено, что в синтезированных материалах идентифицируется пирофосфат кальция $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$, который является основной кристаллической фазой, кроме того, при $\varphi = 1,50$; 2,45; 2,80 также образуется небольшое количество витлокита $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Помимо того, во всех материалах присутствует аморфизированное вещество, о чем свидетельствует гало в области углов $2\theta = 5,0^\circ \dots 16,5^\circ$. Интенсивность гало увеличивается при изменении φ от 1,50 до 2,80.

Как показали электронная микроскопия (JSM-5610LV) и анализатор размеров частиц (Analysette 22 MicroTec Fritsch GmbH), материалы, синтезированные при $\phi = 1,50$, характеризуются наличием зерен величиной от 0,05 до 100 мкм, преобладает фракция 20...50 мкм. Увеличение ϕ до 2,00 привело к уменьшению зерен материала, их максимальный размер – 20 мкм, при этом наиболее распространены частицы размером 5...10 мкм. Следовательно, увеличение соотношения восстановителя к окислителю приводит к снижению дисперсности материала.

На втором этапе исследований с использованием синтезированных материалов осуществлялось получение кальций-фосфатной керамики.

Синтезированные материалы подвергались дезагрегации в планетарной мельнице PM 100 RETCH (Германия). Тонина помола регулировалась остатком на сите № 0063 – не более 1 %. Затем с помощью механического пресса Matest C15N (Италия) получены образцы в виде цилиндров с диаметром 12 мм. Давление прессования составляло 10...15 МПа. После формования образцы обжигались в электрической печи SNOL 1,6,2,5.1/13,5-Y1 (Литва) при 1100 °С, 1150 °С и 1200 °С. Выдержка при максимальной температуре – 60 мин.

Полученные образцы отличались пористой текстурой и обладали следующими физико-химическими свойствами: водопоглощение (ГОСТ 2409) – 13,9 %...48,4 %; открытая пористость (ГОСТ 2409) – 23,5 %...56,3 %; кажущаяся плотность (ГОСТ 2409) – 1145...2214 кг/м³; механическая прочность при сжатии (Galdabini Quasar 100, S/N VD11, ГОСТ Р 53065.1) – 0,8...20,7 МПа.

Следует отметить, что полученная керамика обладает биологической активностью. Выдержка образцов в SBF-растворе [2] в течение 7 сут приводит к формированию фосфатов кальция на поверхности материала (рис. 1).

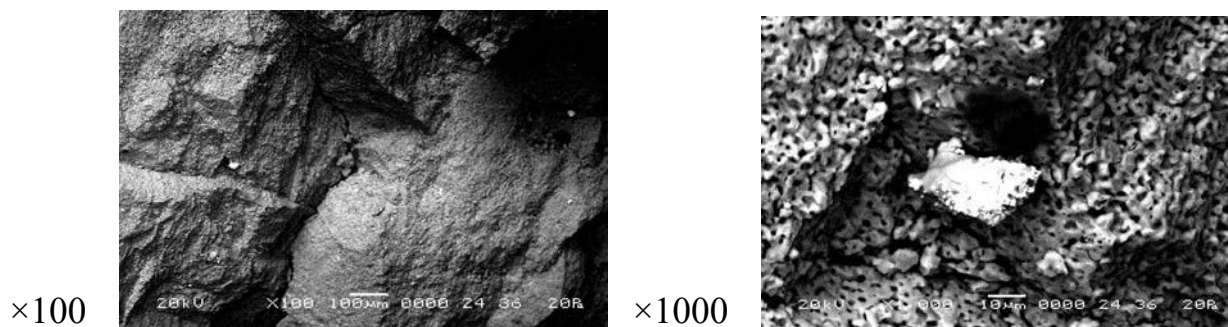


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки керамики, полученной при температуре обжига 1200 °С, после выдержки в SBF-растворе в течение 7 сут

Таким образом, синтезированные материалы могут быть перспективными для восстановления костной ткани.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Sasikumar, S.** Solution combustion synthesis of bioceramic calcium phosphates by single and mixed fuels – A comparative study / S. Sasikumar, R. Vijayaraghavan // *Ceramics International*. – 2008. – Vol. 34 (6). – P. 1373–1379.
2. **Tadashi, K.** How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity? / K. Tadashi // *Biomaterials*. – 2006. – Vol. 27. – P. 2907–2915.

УДК 691.57

ПОЛИМЕРНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Ю. А. ЩЕПОЧКИНА

Ивановский государственный политехнический университет
Иваново, Россия

Потери подвергнувшегося коррозии металла, включая вышедшие из строя металлические конструкции, изделия, оборудование, составляют от 10 % до 20 % годового производства стали [1].

Для защиты стальных поверхностей от коррозии на протяжении многих лет широко используются полиуретановые композиции, которые хорошо сцепляются со сталью, эластичны, устойчивы к атмосферным воздействиям. Вместе с тем получение на основе полиуретановых композиций красочных составов может представлять определенные трудности, связанные с присутствием в пигментах влаги, приводящей к повышению их вязкости, а затем – к желатинизации [2–4]. Поэтому необходимо применение специальных способов предварительной подготовки пигментов (обработка раствором изоцианата, введение алюмосиликатов натрия, обезвоживание легкогидролизующимися соединениями, в том числе алкоголятами алюминия и титана и др.) [5].

Нами предлагается решение проблемы получения красочных составов на основе полиуретановых композиций для защиты стальных поверхностей за счет введения в них алюминиевой пасты.

В данной работе была применена алюминиевая паста (СТО 88935974-002–2019) – продукт серебристо-серого цвета, без видимых инородных примесей с массовой долей активного алюминия 90,5 %...90,6 % (остаток на сите 100 мкм – 0,8 %).

В качестве полимерной основы использовали композицию (ТУ 20.30.12-376-05744685–2018) [6] производства АО «Ивхимпром» (г. Иваново, Россия), представляющую собой коричневую прозрачную однородную жидкость. Композиция состоит из двух смешиваемых в соотношении 2:1 по объему жидких компонентов (время технологической жизнеспособности – не менее 1 ч). При работе с полимерной композицией возможно выделение в воздух рабочей зоны полиизоцианата и сольвента (2 и 3 класс опасности).

Алюминиевую пасту при перемешивании вводили непосредственно в приготовленную полимерную композицию. Количество пасты подбирается

опытным путем в зависимости от требуемой укрывистости красочного состава.

Полученный красочный состав наносили при комнатной температуре на поверхность стали. За счет алюминиевой пасты состав вовлекает влагу, находящуюся в микротрещинах стали, в процесс полимеризации, что способствует предотвращению так называемой подпленочной коррозии. Через 48 ч после нанесения покрытия при комнатной температуре наступает его полное высыхание.

Полимерное покрытие гладкое, непрозрачное, серебристое и нетоксичное, хорошо сцепляется с поверхностью стали (адгезия к поверхности стали марки Ст3 – 1 балл по «методу решетчатых надрезов» и 1 балл по «методу параллельных надрезов» [7]).

Покрытие водостойко, устойчиво к водным растворам морской соли, атмосферным воздействиям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Караваяев, И. В.** К вопросам методики проведения испытаний анкеровки арматуры неметаллической композитной в бетоне / И. В. Караваяев, В. Е. Румянцева // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 1. – С. 108–113.
2. **Zubielewicz, M.** Nowości w zakresie wyrobów lakierowych / M. Zubielewicz, E. Langer // Ochrona przed korozją. – 2020. – № 1. – S. 4–7.
3. **Зубарев, П. А.** Влияние пигментов на физико-механические характеристики защитных полиуретановых покрытий / П. А. Зубарев, А. В. Лахно // Молодой ученый. – 2014. – № 20, ч. 2. – С. 146–149.
4. **Гольдберг, М. М.** Материалы для лакокрасочных покрытий / М. М. Гольдберг. – Москва: Химия, 1972. – 342 с.
5. Энциклопедия полимеров: в 3 т. / Гл. ред. В. А. Кабанов. – Москва: Советская энциклопедия, 1979. – Т. 3. – С. 59–63.
6. Способ получения полимерной композиции (варианты): пат. RU 2719959 / С. Н. Хахин, О. А. Додонов, Ю. А. Щепочкина, М. В. Акулова. – Опубл. 23.04.2020.
7. Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика: пер. с англ. / Под ред. Р. Ламбурна. – Санкт-Петербург: Химия, 1991. – 512 с.

УДК 621.762.06

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ЦЕНТРОБЕЖНОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ СПЛАВОВ

Д. И. ЯКУБОВИЧ, С. В. СТРЕЛЬЦОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время получение изделий из порошков приобрело широкое распространение. При их изготовлении активно применяется метод вертикального распыления жидкого металла с помощью форсунок в среде инертных газов. Недостатками метода являются большие габариты оборудования и высокий расход газов. Поэтому создание малогабаритного оборудования с горизонтальным или наклонным способом формирования порошков на принципах механического диспергирования является актуальной задачей.

Разработан способ наклонного центробежного диспергирования металлов и сплавов, находящихся в жидком состоянии. Отличительной особенностью способа является образование дисперсной системы под действием ударной волны при многократном изменении её направления, а также дополнительным воздействием на раздробленные частицы турбулентной охлаждающей атмосферы.

Осуществление способа наталкивает на ряд трудностей, связанных с влиянием на процесс формирования порошка большого количества меняющихся факторов, таких как фазовые переходы, теплофизические параметры, вязкость, поверхностное натяжение и т. п. Установлено, что к основным факторам управления процессом относятся температура расплава и скорость его потока, скорость перемещения и рельеф подвижной поверхности, дискретность установки экранов и их форма, состав и способ завихрения охлаждающе-распыляющей атмосферы.

Установка состоит из следующих составных частей: дозатор с калибровочным каналом подачи жидкости, разогреваемые до требуемой температуры ($100^{\circ}\text{C} \dots 1000^{\circ}\text{C}$) с помощью регулятора мощности; рама и подвижная поверхность, устанавливаемые под требуемыми углами α и φ ($0^{\circ} \dots 40^{\circ}$) с помощью регулировочного механизма наклона и регулятора положения привода. В процессе работы установки расплав подают из дозатора через подогреваемый калибровочный канал на подвижную поверхность. Поверхность перемещается со скоростью, на несколько порядков больше скорости подачи жидкого металла. После разрыва жидкой струи и образования капель металла их охлаждение происходит в камере до комнатной температуры. Так как скорость и химико-термические условия затвердевания сплава определяются внешней средой, то такой способ можно использовать для получения широкого спектра порошковых материалов с заданным комплексом механических и эксплуатационных свойств.

В результате опытной эксплуатации установки получены порошки цинка и сплавов алюминия с размерами от 0,02 до 1 мм. Порошок с размерами до 0,05 мм получен в количестве 20 %...25 % от общего объема порошка. Дисперсность и топография поверхности позволяют сделать вывод о возможности применения полученных материалов в технологиях порошковой металлургии и аддитивном производстве.

УДК 621.791

ПРИМЕНЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Д. И. ЯКУБОВИЧ, А. В. ШАБЛОВСКИЙ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При производстве покрытых электродов для ручной дуговой сварки наиболее широкое применение находят порошковые материалы с размерами частиц свыше 100 мкм. Мелкодисперсные порошки с размерами до 100 мкм применяются редко, прежде всего из-за более сложного технологического процесса их получения и высокой стоимости.

Анализ литературных данных показал, что применение механоактивированного порошка ферротитана с размерами до 20...25 мкм в электродном покрытии рутилового типа позволяет повысить сварочно-технологические свойства покрытых электродов и получить квазиравноосную мелкодисперсную структуру металла шва, а также повысить значения ударной вязкости при отрицательных температурах (минус 70 °С). Кроме этого, использование мелкодисперсных порошков позволяет снизить размер первичного зерна аустенита и сдвинуть область фазовых превращений в зону более низких температур. Следовательно, исследования по применению мелкодисперсных порошков при дуговой сварке покрытыми электродами является актуальной задачей.

Для реализации данного направления исследований была разработана оригинальная технология изготовления покрытых электродов методом прессования, позволяющая оперативно получать малые партии электродов без использования дорогостоящего промышленного оборудования. Подготовлены четыре партии электродов на основе рутилового типа покрытия, марки МР-3, с добавлением 2 %, 5 %, 7 % и 10 % порошка от общей массы сухой шихты. В связи с тем, что в данном типе покрытия применяется феррокремний, в состав сухой шихты добавлялись мелкодисперсные порошки на основе кремния размерами до 15 мкм.

Определение сварочно-технологических свойств электродов проводилось с использованием инверторного сварочного аппарата ESAB ET 300iP, при силе сварочного тока $I_{св} = 100...110$ А. Выполнялся двухпроходной односторонний шов на стыковом соединении в нижнем положении. Установлено, что дуга возбуждалась хорошо и стабильно горела, покрытие электрода плавилось равномерно, валик шва формировался правильно с легким удалением шлака, трещин, надрывов, пор и шлаковых включений не обнаружено.

Прочностные испытания проводились в соответствии с ГОСТ 1497–84. Исследования показали, что предел прочности всех образцов составил 460...500 МПа. Все образцы разрывались по основному металлу.

УДК 621.791

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКТИРОВКОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯ

С. В. БОЛОТОВ, А. Ю. ПОЛЯКОВ, Е. Д. КУКУШКИН, П. А. РЕЕНТОВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Разработана и внедрена в образовательный процесс кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» методика расчёта основных параметров режима контактной рельефной сварки, заключающаяся в: выборе из базы данных значения общей длительности протекания импульса сварочного тока τ_{CB} для определённого материала свариваемых деталей заданной толщины; расчете энергии $Q_{ЭЭ}$, необходимой для ввода в межэлектродную зону, по уравнению теплового баланса (УТБ) на основе геометрии соединения, формы рельефа и теплофизических характеристик материала свариваемых деталей и электродов; выборе значения усилия сжатия электродов F_{CB} по полученным в ходе экспериментальных исследований графикам зависимости $Q_{ЭЭ} = f(F_{CB})$; определении значения сопротивления межэлектродной зоны $R_{ЭЭ}$ по снятому экспериментально графику зависимости $R_{ЭЭ} = f(F_{CB})$ для заданного материала и диапазона толщин свариваемых деталей; расчете требуемой величины сварочного тока I_{CB} по закону Джоуля – Ленца в соответствии с определёнными значениями τ_{CB} , $Q_{ЭЭ}$ и $R_{ЭЭ}$; разбиении расчетной величины энергии $Q_{ЭЭ}$ на части с целью поэтапного ступенчатого ввода энергии в межэлектродную зону; выборе количества ступеней в рамках многоступенчатого импульса тока (две или три в зависимости от наличия/отсутствия необходимости снижения скорости охлаждения зоны термического влияния); выборе значений тока на разных ступенях импульса (50 % и выше от расчетного по УТБ); экспериментальном определении количества энергии, которую способна ввести в межэлектродную зону сварочная машина по мере нарастания тока определенной величины за разное время (для каждого задаваемого тока в рамках ступеней импульса); экспериментальной отработке соотношений «задаваемый ток – вводимая энергия» при сварке с поэтапным ступенчатым вводом энергии в межэлектродную зону (с проведением прочностных испытаний, изготовлением шлифов и оценкой суммарного энергопотребления сварочной машины).

При работе сварочных контактных машин с системой автоматической корректировки мощности тепловложения в межэлектродную зону использование предложенной методики расчета требуемой величины сварочного тока позволяет обеспечить ввод в межэлектродную зону количества энергии, сниженного в сравнении с расчетным значением по УТБ для энергосберегающих режимов контактной рельефной сварки при многоступенчатом импульсе тока.

УДК 621.791.763

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА НАПЛАВКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ (AL)

В. П. ДОЛЯЧКО, Н. М. ШУКАН
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Технология послойного наращивания и синтеза изделий, набирающая обороты последнее десятилетие, является альтернативой традиционного способа получения деталей сложной формы, обладая при этом рядом преимуществ.

Наиболее перспективной для применения в условиях предприятий Республики Беларусь является технология аддитивного производства, основанная на WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing), т. к. она может быть реализована на сварочном оборудовании, уже существующем на предприятиях. Однако по сравнению с наиболее распространенными в настоящий момент технологиями синтеза металлических изделий, основанных на спекании металлического порошка, данная технология обладает рядом особенностей. Для её практического применения нужно решить ряд вопросов, связанных с обеспечением необходимых механических свойств, микро- и макроструктуры изделия, геометрической точности и повторяемости.

Для практического применения данной технологии прежде всего необходимо определить оптимальные значения параметров, влияющих на качество полученной наплавки.

Проводимые исследования направлены на определение параметров наплавки, обеспечивающих получение качественных изделий, а также влияния данных параметров на свойства получаемых образцов.

В ходе проведения исследований были наплавлены экспериментальные плоские образцы из Al. Наплавка производилась проволокой Union AlSi 5 с использованием РТК Fanuc, оснащенного системой Fronius CMT.

Из наплавов были изготовлены образцы для проведения механических испытаний на статическое растяжение, статический изгиб и металлографических исследований.

После анализа результатов проведённых испытаний были определены зависимости между параметрами наплавки и механическими свойствами получаемых изделий, а также оптимальные режимы наплавки для данного материала, позволяющие получать образцы, обладающие механическими свойствами, значения которых соответствуют заявленным производителем проволоки. Макроструктурный анализ показал, что при наплавке на оптимальных режимах недопустимые внутренние дефекты (поры, трещины, несплавления) отсутствуют.

УДК 621.791.763

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ПРИ АДДИТИВНОЙ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ ЛЕГИРОВАНИЯ Al–Si

А. О. КОРОТЕЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

На сегодняшний день аддитивные технологии послойного изготовления металлических изделий занимают одно из ключевых мест в эффективном развитии промышленности. Перспективным и малоисследованным, в силу отсутствия до недавнего времени технологий цифрового высокочастотного управления источниками питания, является применение для наплавки дуговых сварочных технологий нагрева с плавящейся присадочной проволокой, подающейся в зону горения дуги в качестве формообразующего материала. Способ открывает широкие возможности для управления не только геометрией наплавки, но и свойствами получаемого материала. Предлагаемая технология интересна в первую очередь в областях промышленности, использующих сложные сплавы и материалы, наиболее востребованными из которых в последнее время являются сплавы на основе алюминия и титана. Среди сплавов Al, используемых в качестве присадочных проволок для аддитивной наплавки, перспективными являются материалы системы легирования Al–Si. Вместе с тем такие материалы, разработанные преимущественно как сварочные проволоки, недостаточно исследованы в специфических условиях, характерных для аддитивного синтеза.

По результатам проведенных исследований установлено, что целенаправленное создание больших скоростей охлаждения, обусловленное минимальным тепловложением в металл при наплавке, позволяет зафиксировать Si в теле зерна Al, препятствуя его выделению по границам зерен в эвтектику Al–Si и формируя таким образом неравновесную структуру, обладающую в то же время уникальными свойствами.

Результаты имеют важное значение, т. к. получаемый аддитивным способом материал наплавки не относится к традиционным сплавам алюминия, используемым в качестве литейных (содержание Si > 10 %). В рассматриваемом случае количество кремния невелико (4 %...5 %).

Разработанная технология позволяет создавать принципиально новый материал с контролируемой микроструктурой и свойствами из известных присадочных проволок путем управления тепловложением и скоростью охлаждения наплавки.

УДК 621.79

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ
СТАЛИ А 335 GRADE P91

А. Г. ЛУПАЧЕВ, А. О. КОРОТЕЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В последние годы сталь P91 все шире применяется в энергетических парогазовых установках с целью повышения сопротивления термической усталости и повреждений, связанных с ползучестью металла в главных паропроводах и пароперегревателях.

Во избежание охрупчивания все сварные соединения, выполненные на сталях класса Grade P91, требуют проведения местной термообработки, сразу после выполнения операции сварки, вне зависимости от диаметра и толщины стенки трубы.

Для предотвращения растрескивания, вызванного водородом, необходимо регулировать температуру предварительно подогрева и между проходами при многослойной сварке. Исследовали три варианта технологии: $T_{под} > M_n$; $M_k < T_{под} < M_n$; $T_{под} < M_k$. По окончании сварки сварное соединение должно медленно охлаждаться до комнатной температуры, обеспечивая достаточную выдержку для диффузии водорода при протекании мартенситного превращения.

Температурой предварительного подогрева и между проходами необходимо управлять таким образом, чтобы способствовать мартенситному превращению или избегать его при охлаждении в процессе сварки.

Предварительный подогрев до температуры $T_{под} < M_k$ необходим для удаления влаги с поверхности свариваемых кромок, при этом гарантируется полное мартенситное превращение после первого прохода многослойного шва. Последующие проходы приведут к отпуску образовавшегося мартенсита. Если температура между проходами будет между M_n и M_k , то в сварном соединении останется некоторое количество аустенита. Последующий отпуск приведет к образованию неотпущенного мартенсита. Если температура между проходами выше M_n (200 °С...300 °С), то мартенситное превращение в процессе сварки не происходит и водородные трещины не образуются. Затем сварное соединение необходимо охладить ниже M_k (100 °С...120 °С), выдержать при этой температуре не менее часа и подвергнуть высокому отпуску при 760 °С. При этом значение твердости разных участков сварного соединения (сварной шов, зона термического влияния, основной металл) соответствует нормативным показателям и не превышает 230 НВ.

УДК 621.79

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ДУПЛЕКСНЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Н. М. ЛЮБАНЕЦ¹, А. О. КОРОТЕЕВ², А. Г. ЛУПАЧЕВ²¹ОАО «Промтехмонтаж»

Минск, Беларусь

²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

С развитием технологий в химической промышленности возникает необходимость поиска замены широко распространенным хромоникелевым сталям аустенитного класса. Альтернативой нержавеющей сталям аустенитного класса являются аустенитно-ферритные (дуплексные стали). Дуплексные стали, как правило, содержат в своем составе следующие легирующие элементы: от 21 % до 28 % хрома, от 3,5 % до 8 % никеля, от 0,1 % до 4,5 % молибдена и от 0,05 % до 0,35 % азота. Аустенитно-ферритные стали характеризуются микроструктурой феррита с содержанием аустенита в ней в пределах от 45 % до 60 %. Данные стали эксплуатируются при температурах от минус 50 °С до плюс 250° С. Аустенитно-ферритная микроструктура характеризует дуплексные стали как обладающие большими коррозионной стойкостью и прочностью по сравнению с аустенитными сталями.

При изготовлении и монтаже изделий из дуплексной стали в химической промышленности наиболее распространены следующие способы сварки:

- механизированная дуговая сварка в среде защитных газов;
- ручная дуговая сварка плавящимся покрытым электродом;
- ручная дуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом.

Дуплексные стали относятся к хорошо свариваемым, однако при сварке следует учитывать определенные металлургические особенности.

Одной из основных трудностей при сварке аустенитно-ферритных сталей является снижение показателей ударной вязкости. Во-первых, данная проблема обусловлена 475-градусной хрупкостью, вызванной процессами перераспределения хрома в металле. Во-вторых, образованием σ -фазы при длительном воздействии повышенных температур. Игнорирование вышеописанных проблем при сварке дуплексных сталей может привести к значительному снижению эксплуатационных свойств сварных соединений.

Отражены результаты анализа условий и особенностей формирования микроструктуры сварных соединений, а также перспективы применения для сварки технологий с контролируемым управляемым тепловложением в основной металл. Наиболее эффективной является схема с реверсивной подачей присадочной сварочной проволоки, что позволяет существенно снизить значение силы сварочного тока и осуществить контролируемый ввод энергии в сварное соединение при минимальных значениях силы сварочного тока.

УДК 621.373.52

МИКРОСВАРКА АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОВОЛОКИ КАПИЛЛЯРОМ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ ПРОВОЛОКИ

И. Б. ПЕТУХОВ
ОАО «Планар-СО»
Минск, Беларусь

Проволочный монтаж золотой (медной) проволокой методом «шарик – клин» в микроэлектронике является наиболее используемым ввиду его надежности и высокой производительности [1]. В условиях мелкосерийного производства изделий электронной техники, а также для подготовки специалистов сборочного производства востребованы универсальные полуавтоматические установки монтажа проволочных выводов. Как известно, основными методами присоединения проволочных выводов из золота, алюминия и меди является ультразвуковая/термозвуковая микросварка методами «шарик – клин» или «клин – клин». Соответственно, для каждого метода разрабатывается необходимое оборудование (установка).

В настоящее время на рынке сборочного оборудования электронной промышленности появились универсальные полуавтоматические установки, в том числе и отечественные, совмещающие оба метода присоединения за счет быстросъемных сварочных головок (СВГ). Опции метода присоединения изменяются программно, установлением необходимого режима на мониторе установки. Технологические режимы микросварки (энергия ультразвука, усилие на сварочный инструмент, параметры петлеобразования и др.) под уникальным именем заносятся в память управляющей системы и могут быть легко активированы.

Для обеспечения универсальности полуавтоматической установки без смены СВГ проведены исследования по выполнению присоединения золотой проволоки методом «шарик – клин» и алюминиевой проволоки по методу «клин – клин» на одной СВГ с использованием капилляра с вертикальной подачей проволоки (рис. 1).



Рис. 1. Сварочная головка установки ЭМ-6705М присоединения выводов методом «шарик – клин»

В отличие от золотой проволоки, шарик на конце алюминиевой проволоки сформировать невозможно из-за покрытия алюминия окислом. Поэтому для проведения исследований на полуавтоматической установке ЭМ-6705М производства ОАО «Планар-СО» разработано программное обеспечение для реализации присоединения алюминиевой проволоки методом «клин – клин», включающее процесс формирования петли и подгибки хвостика нужной длины после присоединения второй точки межсоединения, т. е. в конце цикла присоединения проволочного стежка. Следует заметить, что капилляр, точнее его геометрия рабочего торца, имеет особенности для присоединения алюминиевой проволоки методом «клин – клин». Во-первых, рабочий торец должен быть плоским, а во-вторых, угол фаски выходного отверстия должен быть 70...80 град, в отличие от капилляра для золотой проволоки, у которого угол рабочего торца составляет 4...8 град к присоединяемой поверхности и угол фаски выходного отверстия находится в пределах 90...120 град. Таким образом, при смене метода присоединения необходимо сменить катушку с проволокой и заменить капилляр. Соответственно, в меню установки установить режим «клин – клин» или «шарик – клин». В технологических пробах использовались приборы заказчика, на которых внешние выводы имели золочение, контактные площадки на кристалле – напыленный алюминий с подслоями. При методе «шарик – клин» первая точка сварки производилась на кристалл, вторая – на золоченый вывод (рис. 2, а). При сварке по методу «клин – клин» первая клиновидная точка производилась на золоченый вывод, вторая – на контактную площадку кристалла, где производится обрыв проволоки и формирование хвоста под торцем капилляра (рис. 2, б) для следующего цикла присоединения.

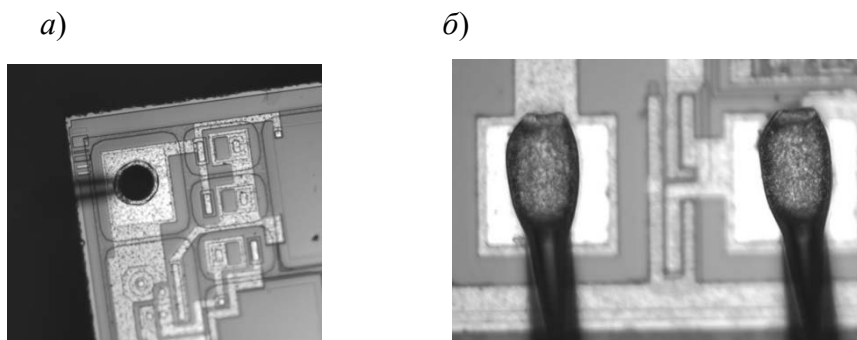


Рис. 2. Вид сварных соединений: а – шарик на кристалле; б – клиновидная сварка на кристалле

Тесты на прочность тянущим усилием зацепленным крючком показали прочность 10...11 г для алюминиевой проволоки диаметром 33 мкм и прочность 8...9 г для золотой проволоки диаметром 30 мкм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов, И. Б. Технология и оборудование микросварки в производстве изделий электронной техники / И. Б. Петухов, В. Л. Ланин, В. А. Емельянов. – Минск: Интеграл-полиграф, 2021. – 186 с.

УДК 621.791

ТЕРМОУПРУГИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СТЕРЖНЕ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ

А. П. ПИЛИПЧУК¹, О. Г. ДЕВОЙНО¹, Д. Г. ДЕВОЙНО², О. Г. ГЕЛИВЕР³¹Белорусский национальный технический университет²Военная академия Республики Беларусь³Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»
Минск, Беларусь

При лазерной обработке в результате неравномерных нагрева и охлаждения с высокой скоростью, фазовых и структурных превращений возникают термические напряжения. Данные напряжения в значительной степени влияют на эксплуатационные характеристики поверхностного слоя и являются причиной трещинообразования при лазерной обработке. На рис. 1 и 2 изображены трещины в покрытии после лазерной обработки и в образце, полученном селективным лазерным спеканием из сплава ПГ-СР2 с использованием CO_2 – лазера «Комета». На основе анализа характера расположения трещин сделан вывод об определяющей роли продольных напряжений, действующих вдоль траектории источника. Для обеспечения качества поверхностного слоя необходимо при выборе режимов лазерной обработки прогнозировать напряженное состояние.

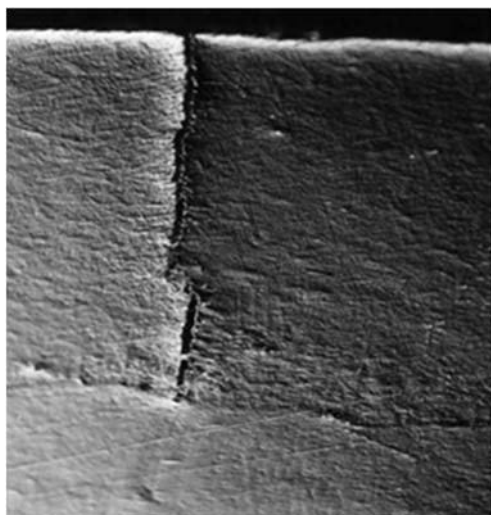


Рис. 1. Трещина в газотермическом покрытии после лазерной обработки

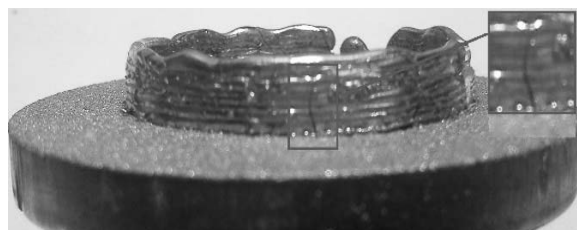


Рис. 2. Трещина в образце, полученном селективным лазерным спеканием

Механизм формирования напряженного состояния при воздействии поверхностного высококонцентрированного источника энергии рассмотрен в работах Г. А. Николаева, Н. О. Окерблома, И. П. Трочуна, А. Г. Григорьянца, В. С. Майорова и других авторов. В настоящей работе выполнен расчет термоупругих напряжений на основе использования решения И. А. Биргера:

$$\sigma_{mem} = E \left(\frac{\int_F E \alpha_T T dF}{\int_F E dF} + y \frac{\int_F E y \alpha_T T dF}{\int_F y^2 E dF} + x \frac{\int_F E x \alpha_T T dF}{\int_F x^2 E dF} - \alpha_T T \right) =$$

$$= E \left(\varepsilon_0 + y \frac{d\varphi_x}{dz} + x \frac{d\varphi_y}{dz} - \alpha_T T \right).$$

Данное решение основано на гипотезе плоских сечений: точки плоскости поперечного сечения после деформации лежат в одной плоскости, что позволяет использовать положение плоскости сечения в качестве показателя деформирования. Формула применима и для тел переменного сечения и с переменными упруго-геометрическими характеристиками сечения. Также на основе применения данной формулы возможно определение напряжений в случае, когда появляются пластические деформации (метод переменных параметров упругости).

Выполнен расчет термических упругих напряжений для призматического стержня сечением 5×8 мм из стали 40X. На рис. 3 представлено модельное распределение температуры по сечению стержня. В отличие от традиционного подхода, данное распределение температуры характеризуется неравномерностью по ширине. На рис. 4 представлены температурные деформации в поперечном сечении стержня в предположении, что стержень состоит из отдельных элементов.

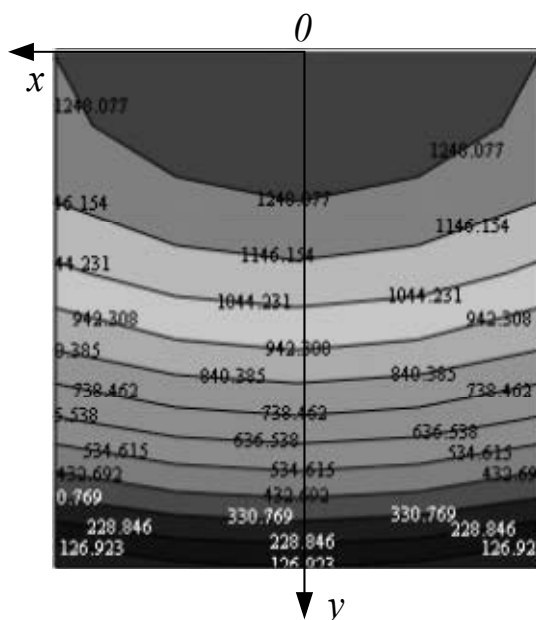


Рис. 3. Распределение температуры по сечению образца

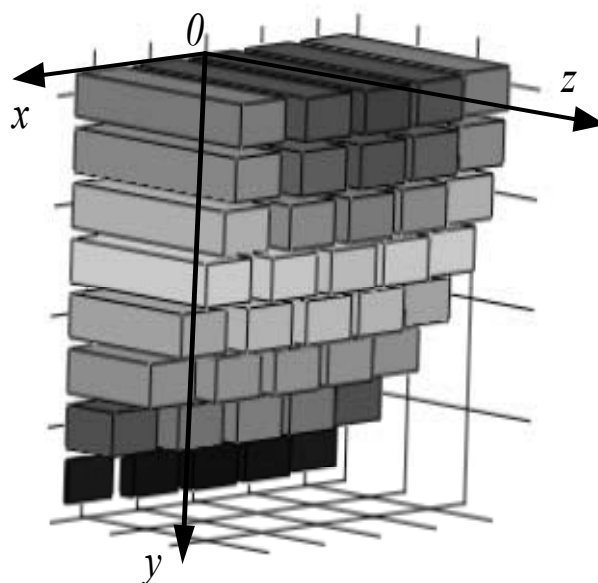


Рис. 4. Температурные деформации в поперечном сечении стержня

Результаты расчета напряжений на этапе нагрева представлены на рис. 5 и 6. Так как действительные деформации каждого элемента зависят от деформаций всех других элементов, то с учетом гипотезы плоских сечений результирующая деформация изобразится в виде плоскости (см. рис. 5). На рис. 6 представлено распределение термоупругих напряжений в поперечном сечении стержня. Угол поворота сечения в данном случае составил $0,136^\circ$.

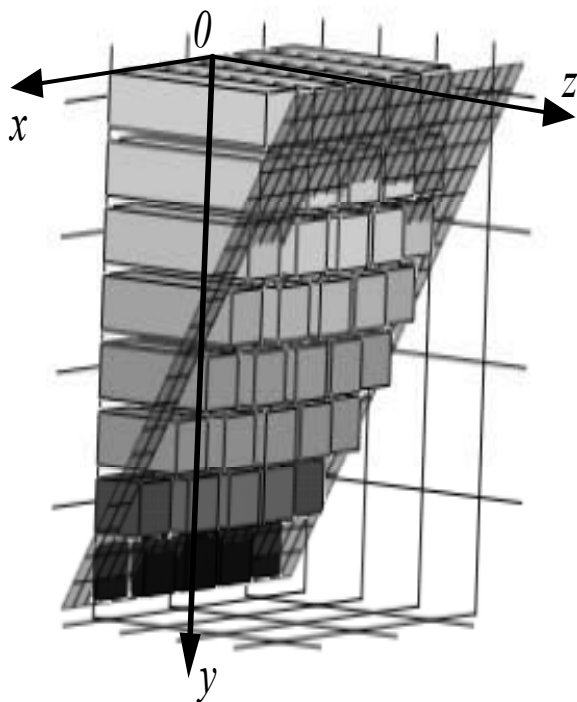


Рис. 5. Температурные деформации и положение сечения в результате нагрева

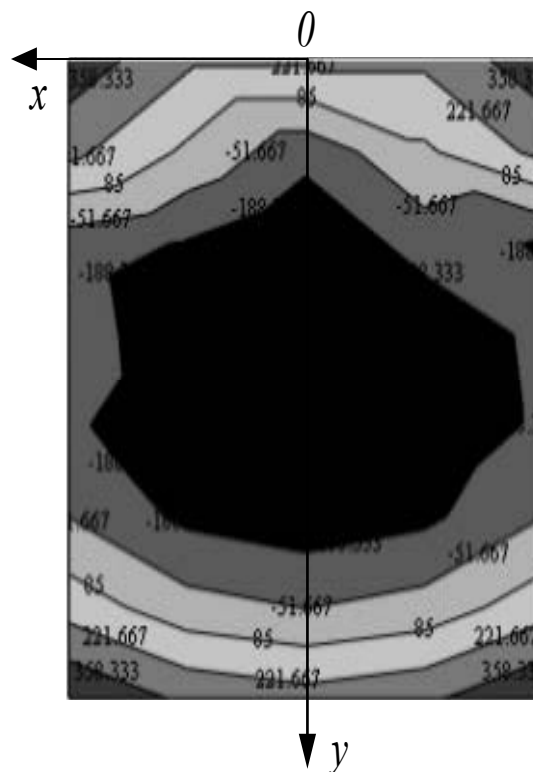


Рис. 6. Распределение температурных напряжений в поперечном сечении стержня

Выполнен анализ продольных напряжений, возникающих в поперечном сечении стержня при нагреве, для случая, когда распределение температуры характеризуется неравномерностью по ширине. Анализ представленных результатов свидетельствует, что неравномерное распределение температуры по ширине сечения является причиной формирования зон растягивающих и сжимающих напряжений. Данную особенность необходимо учитывать при выборе режимов лазерной обработки.

УДК 621.791.763.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЛОИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ПРИ СВАРКЕ

А. Н. СИНИЦА, М. А. СИНИЦА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При механизированной сварке в качестве защитной среды широко используются активные и инертные газы. Состав защиты существенно влияет на устойчивость горения дуги, глубину проплавления, формирование шва, характер переноса металла в дуге, коэффициент потерь, возникновение пор, трещин и т. д.

Эффективность газовой защиты повышает добавление в её состав галоидных соединений, например, молекулярного хлора, газообразных фторидов и хлоридов некоторых элементов. Количество галоидных соединений обычно не превышает 3 %...4 % от объема защитной атмосферы.

Одним из таких соединений является гексафторид серы SF_6 . Соединение SF_6 активно по отношению к водороду и связывает его, впоследствии удаляя из сварочной ванны. С учетом того, что водород является одной из причин образования холодных трещин в сварных швах, то использование SF_6 в качестве компонента защитного газа должно снижать вероятность образования этих опасных дефектов при сварке.

Представлены результаты сравнительных исследований дефектности сварных соединений, выполненных механизированной сваркой в среде $\text{Ar} + \text{CO}_2$ и с добавлением SF_6 .

Было сварено три пары образцов (тип III по ГОСТ 26388–84). В каждой паре первый образец варился с газовой защитой $\text{Ar} + \text{CO}_2$, а второй – в смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{SF}_6$. Каждая пара сваривалась при различных значениях силы сварочного тока. После остывания в зажатом состоянии образцы контролировались визуально и цветным методом.

Образцы испытывались на статический изгиб при четырехточечной схеме нагружения. Для проведения испытаний применялась оснастка в соответствии с ГОСТ 26388–84.

Установлено, что количество дефектов в образцах, сваренных с добавлением SF_6 , на 10 %...50 % меньше, чем при сварке в смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$. Суммарная длина дефектов уменьшалась с ростом силы сварочного тока.

Значения изгибающих усилий, при которых возникают первые трещины, больше для образцов, сваренных с добавлением SF_6 . При этом с ростом силы сварочного тока эти значения повышаются как для образцов, сваренных в смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$, так и с добавлением гексофторида серы.

УДК 621.79

ТРУДНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ А 335 GRADE P91

С. А. СТАЛЕНКОВ, В. П. КУЛИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Стали типа P91 относят к ограниченно свариваемым. Основной проблемой при сварке сталей такого класса является образование холодных трещин при охлаждении шва и околошовной зоны до температуры менее 100 °С. Применение традиционных сварочных материалов с химическим составом, аналогичным составу основного металла, как правило, приводит к образованию холодных трещин.

Основными факторами, обуславливающими возникновение холодных трещин, являются: образование мартенситной структуры, насыщение сварочной ванны водородом, появление высоких сварочных напряжений.

Основным способом предотвращения возникновения холодных трещин является применение предварительного, сопутствующего подогрева и после-сварочной термической обработки. Без применения предварительного подогрева работоспособные швы можно получить при получении металла шва с высокопластичной аустенитной структурой.

При ручной дуговой сварке плавящимися покрытыми электродами необходимо использовать электроды с фтористокальциевым покрытием.

При сварке неплавящимся электродом в инертном газе состав присадочного материала должен быть аналогичен составу основного металла. Указанный способ сварки обеспечивает получение металла шва с более высокой пластичностью, но обладает низкой производительностью.

Для уменьшения вероятности образования холодных трещин применяют предварительный и сопутствующий подогрев. Температура подогрева определяется степенью легирования стали. Однако независимо от скорости охлаждения металла с температуры подогрева происходит образование закалочной мартенситной структуры, обладающей высокой твердостью и низкой ударной вязкостью. Подогрев до более высоких температур приводит к перегреву металла шва и околошовной зоны, при этом снижается пластичность, увеличивается размер зерна, снижается прочность на границах зерен. Для уменьшения хрупкости металла шва необходимо применять сварочные материалы, обеспечивающие получение двухфазной аустенитноферритной структуры наплавленного металла. Такая структура металла шва имеет повышенную пластичность, что уменьшает вероятность образования трещин. Однако различие в структурных классах основного металла и шва вызывают напряжения в металле. Поэтому сразу после сварки конструкции из сталей типа P91 и им подобных необходимо подвергать высокому отпуску для снятия остаточных напряжений.

УДК 621.791.763

ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ ГЕКСАФТОРИДА СЕРЫ В СОСТАВ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ АТМОСФЕРЫ НА ЗНАЧЕНИЯ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Е. А. ФЕТИСОВА, А. А. КОРОТЕЕВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Для определения способности сварных соединений воспринимать нагрузки без разрушения при длительной эксплуатации проводят их механические испытания на ударный изгиб.

Состав газовой защитной атмосферы при дуговой сварке оказывает существенное влияние на свойства сварных соединений, а также на значения показателей механических характеристик, например, ударный изгиб, статическое растяжение.

Были проведены механические испытания на ударный изгиб сварных соединений, выполненных дуговой сваркой в среде защитных газов на основе смеси Ar (82 %) + CO₂ (18 %), с добавлением галоидного соединения SF₆ (гексафтоид серы) в количестве 1 %, 2 % и 3 %. Подготовка образцов для проведения испытания на ударный изгиб производилась согласно СТБ ЕН 875–2002 и СТБ ЕН 10045-1–2003. Образцы были выполнены с V-образным надрезом по металлу сварного шва. Испытания проводились при значениях температуры 20 °С, –20 °С и –40 °С. Сварка пластин из стали 09Г2С выполнялась проволокой Св-08Г2С на сварочном токе 200 А и напряжении 18 В. Пластины для заварки образцов на ударный изгиб были выполнены с разделкой кромок типа С 17.

По данным проведенных исследований были построены графические зависимости значений ударной вязкости от температуры и различного количества галоидного соединения SF₆ в составе защитного газа.

Установлено, что при введении гексафторида серы в защитную газовую атмосферу в количестве 1 % значения ударной вязкости сварных соединений снизились на 25 %. Однако добавление 2 % SF₆ позволяет повысить значения ударной вязкости на 35 % (для температур 20 °С, –20 °С и –40 °С) по сравнению со значениями ударной вязкости сварных соединений, выполненных дуговой сваркой в смеси Ar (82 %) + CO₂ (18 %). Также увеличение значения ударной вязкости на 50 % (для температуры –20 °С) отмечено при введении в защитный газ 3 % SF₆.

Анализ полученных данных показал, что добавление гексафторида серы в состав защитной газовой атмосферы повышает способность сварных соединений воспринимать нагрузки без разрушения.

Однако поверхность излома всех образцов носит хрупкий характер, что говорит о наличии фазовых и структурных составляющих, влияющих на способность сварных соединений воспринимать нагрузки. Поэтому дальнейшие исследования в данном направлении являются актуальными.

УДК 621.791.763.2

ОБЗОР СИСТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ
КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ И РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ

С. М. ФУРМАНОВ, Р. А. ЕРМОЛЕНКО, Л. С. МАЛАШЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Адаптивные системы программного управления процессами контактной точечной и рельефной сварки, в которых качество управления обеспечивается автоматическим изменением параметров при изменяющихся свойствах объекта управления, можно разделить на несколько групп.

В системах первой группы для управления процессами используются электрические параметры режима: напряжение между электродами $U_{\text{ЭЭ}}$ (τ) и сварочный ток $I_{\text{СВ}}$ (τ), на основании которых рассчитываются сопротивление межэлектродной зоны $R_{\text{ЭЭ}}$ (τ), мощность $P_{\text{ЭЭ}}$ (τ) и энергия $Q_{\text{ЭЭ}}$ (τ) сварки, при этом меняется усилие сжатия электродов $F_{\text{СВ}}$ и длительность протекания тока τ на различных этапах сварки с целью получения соединений с требуемой прочностью.

Системы второй группы используют физические параметры режима сварки, такие как, например, перемещение и скорость перемещения электрода, и работают по принципу эталонной сварки, связанному с достижением этими физическими параметрами заданных значений за определенные интервалы времени. При этом коррекция тепловложения происходит непосредственно в процессе сварки.

Системы третьей группы используют нейронные сети, которые позволяют с помощью накопленных экспериментальных баз данных оценивать качество сварки сразу после окончания процесса. Для более удобного использования создаются классы для анализируемых соединений. Их разделяют согласно результатам анализа механических характеристик, сопоставляя параметры, измеряемые в процессе сварки. Дальнейшее использование нейронных сетей позволяет определять качество соединения, просто сравнив измеренные параметры с ранее созданными классами.

Применение адаптивного управления контактной рельефной сваркой позволяет оценивать и прогнозировать качество сварного соединения без сопутствующих мероприятий и прерывания процесса сварки. В качестве критериев, характеризующих протекание процесса сварки, выбираются:

- осциллограммы тока во вторичном контуре и напряжения между электродами;
- осциллограммы изменения величины и скорости перемещения подвижного электрода;
- рассчитанные графики мощности и энергии сварки.

Для анализа прочностных характеристик использовали:

- ширину зоны сплавления при металлографических исследованиях;
- предельное усилие разрушения сварного соединения при механических испытаниях.

УДК 621.365.5

ИНДУКЦИОННАЯ ПАЙКА ШАРИКОВ ПРИПОЯ НА МИКРОПЛАТАХ

А. Д. ХАЦКЕВИЧ, В. Л. ЛАНИН

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

В современном мире в электронных модулях широко применяются микросхемы в Flip-Chip, CSP, BGA, QFP, обеспечивающие высокую плотность монтажа на печатной плате благодаря большому количеству выводов. Технологии монтажа требуют соблюдения температурных режимов, а в массовом производстве основная проблема – это повторяемость параметров пайки.

Нанесение пасты на контактные площадки и ее оплавление приводит к неравномерной высоте припойных шариков. Лазерный нагрев отличается локальностью теплового воздействия, высокой стабильностью температурно-временных режимов, возможностью автоматизации, высоким качеством и надежностью сформированных соединений. К недостаткам данного метода можно отнести низкую производительность, сложность и дороговизну оборудования.

Преимуществами индукционного нагрева являются локальность нагрева, простота конструкции, высокая экологическая чистота нагрева [1]. С помощью индукционного нагрева в зазоре магнитопровода (рис. 1) закреплялись шарики оловянно-свинцового припоя диаметром 0,76 мм на контактных площадках печатной платы размером $0,9 \times 0,9$ мм, покрытых иммерсионным оловом.

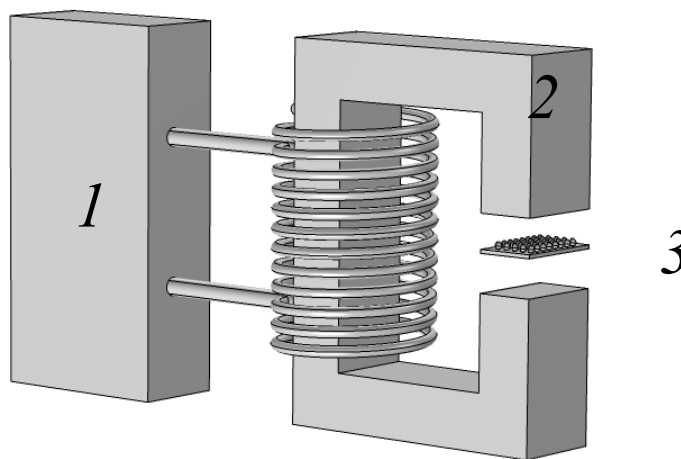


Рис. 1. Схема нагрева в зазоре магнитопровода: 1 – генератор; 2 – магнитопровод; 3 – печатная плата с шариками припоя

Шарики вручную размещались на подложке, а затем вместе с платой нагревались в зазоре магнитопровода. Частота задающего генератора $f = 24,5$ кГц. Мощность составила 1,2 кВт. Для повышения эффективности индукционного нагрева на обратной стороне платы были сформированы концентраторы электромагнитного поля различной конфигурации (рис. 2).

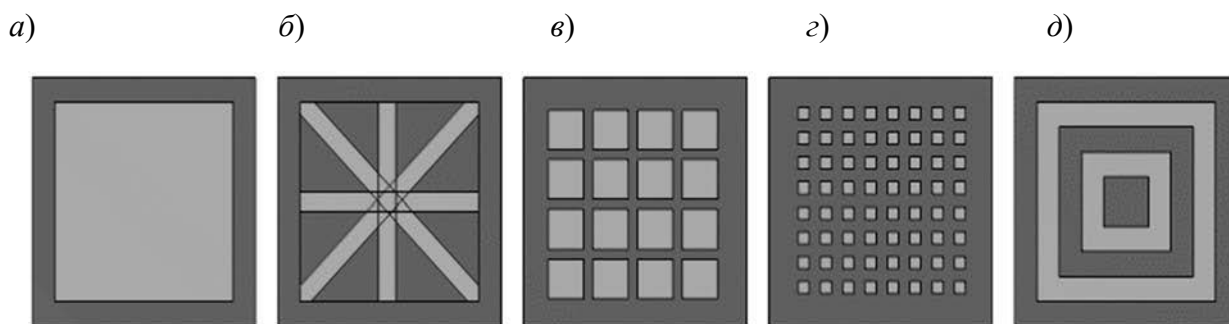


Рис. 2. Конфигурация концентраторов: *а* – сплошной; *б* – звезда; *в* – квадраты; *е* – контактные площадки; *д* – замкнутый контур

Температура нагрева печатных элементов измерялась с помощью термопары Х – К, подключенной к прибору ТРМ-210. Экспериментальные данные о параметрах индукционного нагрева приведены в табл. 1.

Табл. 1. Параметры индукционного нагрева

Тип концентратора	Температура нагрева, °С	Время нагрева, с
1. Сплошной	215	67
2. Звезда	203	84
3. Квадраты	204	80
4. Контактные площадки	201	90
5. Замкнутый контур	208	72

Применение индукционных устройств на магнитопроводе позволяет повысить эффективность нагрева за счет концентрации электромагнитного поля в зазоре магнитопровода. Применение концентраторов увеличило равномерность нагрева шариков припоя. Наибольшая скорость нагрева достигнута при сплошном концентраторе, однако его применение приводит к перегреву платы. Замкнутые конфигурации обладают оптимальным временем нагрева и не перегревают плату.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ланин, В. Л. Высокочастотный электромагнитный нагрев для пайки электронных устройств / В. Л. Ланин // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – № 5. – С. 162–167.

УДК 621.791.763

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОВОЛОК ТИПА 65Г И ЗК-7 В КАЧЕСТВЕ ПРИСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ АРГОНО-ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

И. И. ЦЫГАНКОВ, С. Г. АТАМАНОВ, К. Н. СЕРДЮКОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Была исследована и практически реализована аргоно-дуговая наплавка неплавящимся электродом пружинной проволоки типа 65Г и ЗК-7 по ГОСТ 9389–75 на низкоуглеродистую сталь группы 1.1 и 1.2.

Были исследованы две проволоки Ø 3 мм и Ø 1,8 мм следующего химического состава: образец № 1 Ø 3: С – 0,770 %, Si – 0,176 %, Mn – 0,528 %; образец № 2 Ø 1,8: С – 0,758 %, Si – 0,639 %, Mn – 0,628 %.

Наплавка проводилась на пластину толщиной 10 мм. В процессе наплавки выяснилось, что при использовании проволоки Ø 3 мм в качестве присадочного материала процесс протекает нестабильно. При подаче проволоки в сварочную ванну происходит вскипание расплава с разбрызгиванием, что делает процесс нестабильным и приводит к невозможности получения качественной двухслойной наплавки.

При использовании в качестве присадочного материала проволоки Ø 1,8 мм процесс происходит стабильно. Разбрызгивания и кипения расплава не наблюдалось. Была произведена наплавка одного и двух слоев.

Установлено, что причиной нестабильного процесса наплавки при использовании проволоки Ø 3 мм является низкое содержание кремния в исходном материале. Были получены три образца, наплавленные двумя разными проволоками: образец № 3-1: однослойная наплавка проволокой Ø 3 мм; образец № 1,8-1: однослойная наплавка проволокой Ø 1,8 мм; образец № 1,8-2: двухслойная наплавка проволокой Ø 1,8 мм.

Проведены измерения твердости наплавленного слоя и химического состава. Твердость наплавленного слоя измерялась по HV10. На образцах № 3-1 она составила от 364 до 440 HV; № 1,8-1 – от 350 до 370 HV; № 1,8-2 – от 314 до 340 HV; химический состав: на образце № 3-1: С – 0,465 %, Si – 0,075 %, Mn – 0,837 %; 1,8-1: С – 0,436 %, Si – 0,474 %, Mn – 0,933 %; 1,8-2: С – 0,553 %, Si – 0,473 %, Mn – 0,758 %.

Таким образом:

1) использование пружинной проволоки марки ЗК-7 по ГОСТ 9389–75 возможно в качестве присадочного материала для аргоно-дуговой наплавки;

2) необходимо, чтобы содержание кремния в присадочном материале было не меньше 0,5 %;

3) результаты исследования позволяют говорить о том, что возможно применение проволоки ЗК-7 по ГОСТ 9389–75 в качестве присадочного материала для аргоно-дуговой наплавки при нанесении твердых износостойких покрытий на детали машин.

УДК 621.791.03

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

М. Ю. ЧЕШКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

На территории Евразийского экономического союза в отношении «Оборудования дуговой сварки бытового назначения» действуют Технические регламенты Таможенного союза (Евразийского экономического союза): ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования», ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования», ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств» (далее – ТР ТС 020/2011), ТР ЕАЭС 037/2016 «Об ограничении применения опасных веществ в изделиях электротехники и радиоэлектроники». Однако в настоящий момент отсутствует четкое и понятное определение термина «оборудование дуговой сварки бытового назначения», что не позволяет однозначно верно выбрать форму подтверждения соответствия (декларирование или сертификация). Особенно актуальна данная проблема применительно к ТР ТС 020/2011, который предусматривает сертификацию для «оборудования дуговой сварки бытового назначения». Однако стандарты, относящиеся к сварочному оборудованию и включенные в перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований ТР ТС 020/2011, утвержденный Решением Коллегии Евразийской экономической комиссии от 29.06.2021 г. № 77 (ГОСТ ИЕС 60974-10–2017, ГОСТ Р 51526–2012, СТБ ИЕС 60974-10–2008), не содержат разделения сварочного оборудования на бытовое и промышленное.

Необходимо отметить, что согласно ТР ТС 020/2011 техническое средство должно быть разработано и изготовлено таким образом, чтобы при применении его по назначению и выполнении требований к монтажу, эксплуатации (использованию), хранению, перевозке (транспортированию) и техническому обслуживанию электромагнитные помехи, создаваемые техническим средством, не превышали уровня, обеспечивающего функционирование средств связи и других технических средств в соответствии с их назначением.

Имеющийся в ГОСТ ИЕС 60974-6–2017 термин «источник сварочного тока, работающий в ограниченном режиме» предъявляет требования к квалификации сварщика, а не к условиям его применения.

Таким образом, «оборудование дуговой сварки бытового назначения» может создавать помехи, ухудшающие работу других технических средств, а отсутствие термина «оборудование дуговой сварки бытового назначения» позволяет заявителям на подтверждение соответствия применить «упрощенную» форму подтверждения соответствия (декларирование) вместо сертификации, что зачастую не обеспечивает объективность при подтверждении соответствия в части создаваемых электромагнитных помех.

УДК 621.791.763.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ
С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ МОЩНОСТЬЮ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯД. Н. ЮМАНОВ, Е. М. КОРОЛЁВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Процессы контактной рельефной сварки являются трудноанализируемыми по причине скоротечности протекания процесса, геометрических особенностей сварного соединения и других особенностей термомодеформационного цикла сварки. Конечно-элементное моделирование является мощным инструментом при определении оптимальных параметров режимов контактной точечной и рельефной сварки. В настоящее время при помощи численного моделирования возможно не только оптимизировать режимы, но и разработать новые способы сварки.

Важным критерием оценки образования качественного Т-образного сварного соединения является перемещение верхнего электрода $h_{эл}$ в процессе рельефной сварки, которое показывает суммарное влияние параметров режима на характер деформирования рельефа.

По результатам численного моделирования произведена оценка величины осевого перемещения верхнего подвижного электрода $h_{эл.м}$ в процессе сварки на разных временных этапах. Данная зависимость показывает, на какую величину происходит деформирование разогретого от протекания сварочного тока, металла сварного соединения под действием усилия сжатия. Величина перемещения регистрировалась во временном промежутке $\tau = 0...550$ мс. Данный временной промежуток соответствует участку интенсивного нагрева металла, включающего время протекания тока подогрева и сварочного тока.

Экспериментально и при численном моделировании определено влияние тока подогрева $I_{под}$ на величину перемещения верхнего электрода. При недостаточном токе подогрева $I_{под}$ (30 %...40 % от максимального сварочного тока $I_{св}$) перемещение электрода за время подогрева $h_{эл.под}$ составляет 20...44 мкм, что способствует увеличению плотности тока и появлению сильных выплесков расплавленного металла на стадии сварки. При оптимальном токе подогрева $I_{под}$ (45 %...55 % от $I_{св}$) $h_{эл.под}$ составляет 40...130 мкм, что способствует снижению вероятности появления выплесков. При завышенном токе $I_{под}$ (60 %...65 % от $I_{св}$) перемещение $h_{эл.под}$ составляет 155...290 мкм, что свидетельствует о чрезмерной деформации рельефа, способствует снижению плотности тока на стадии сварки и ухудшению механических свойств соединения.

Адекватность математического моделирования проводилась по данным регистрации величины перемещения верхнего электрода в процессе экспериментальных исследований при помощи оптоэлектронного преобразователя линейных перемещений ЛИР-17. Данные, полученные в процессе расчёта при моделировании, сопоставлялись с данными датчика перемещения в одном временном промежутке, который составляет $\tau = 0...550$ мс.

УДК 621.791.763.2

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКЕ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Д. Н. ЮМАНОВ, С. М. ФУРМАНОВ, Л. С. МАЛАШЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Разработана экспериментальная установка с программным управлением мощностью тепловложения, позволяющая генерировать циклограммы контактной рельефной сварки с плавным заданием мощности тепловложения при переходе от подогрева к сварке, что исключает динамические броски мощности в первичной цепи сварочного трансформатора при включении тока.

Для проведения металлографических исследований Т-образных соединений винтов М8 с потайной головкой (сталь 20) с пластиной толщиной 4 мм (сталь СтЗпс) использовался пост микроконтроля МК-1 на базе микроскопа МИ-1.

Задачей исследований микроструктуры соединений являлось определение размеров и формы зерен металла сварного соединения, различных дефектов его строения, а также зависимости ширины линии сплавления и перемещения подвижного электрода от энергии тепловложения и времени протекания сварочного тока.

Исследования выявили ферритно-перлитную структуру соединений с неравномерностью распределения феррита и перлита по сечению сварной точки. Отличие фазового состава подтверждено изменением микротвердости по сечению сварной точки.

Сварные соединения, полученные с использованием серийной аппаратуры, обладали рядом дефектов, таких как поры и газовые пустоты в сварной точке, отсутствие линии сплавления. Причиной дефектов являлись выплески расплавленного металла из зоны сварки.

Применение системы программного управления мощностью тепловложения при рельефной сварке позволило стабилизировать скорость перемещения верхнего подвижного электрода при нарастании мощности тепловложения от подогрева к сварке на уровне $v_{св} = 20...22$ мм/с при оптимальной мощности тепловложения $P_{ЭЭ} = 35...40$ кВт, что позволило устранить вероятность возникновения дефектов формообразования сварной точки, таких как выплески расплавленного металла, и получить сварные соединения со стабильно высокими механическими свойствами.

В качестве критерия обеспечения требуемой прочности сварных соединений было выбрано необходимое значение усилия отрыва при испытании винта М8 на растяжение согласно ГОСТ 1759.4–87. Сварные соединения обеспечивали усилие отрыва при статическом продавливании более 19,5 кН для класса прочности винтов 5,6.

УДК 621.926

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИВЕДЕННОЙ МАССЫ РАБОЧЕГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ СОУДАРЕНИИ С ЧАСТИЦЕЙ МАТЕРИАЛА

В. В. БЕРЕСНЕВ**Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь**

При проектировании дробилок ударного действия наиболее важным является определение параметров рабочего элемента, т. к. от этого зависит количество передаваемой энергии частице измельчаемого материала, а следовательно, и степень дробления.

Одним из основных параметров, характеризующих соударение рабочего элемента с частицей материала, является ударный импульс. Если определение ударного импульса ведется для молотковой или роторно-цепной дробилки, то систему вначале необходимо расчленить, заменив шарниры реакциями связей, составить систему уравнения для каждого звена, используя теорему об изменении количества движения и теорему об изменении момента количества движения, т. е. три уравнения для каждого звена и одно для ротора.

Можно заметить, что для роторно-цепной дробилки добавление одного звена ведет к увеличению системы на три уравнения, это ведет к усложнению решения полученной системы.

Для определения ударного импульса было бы проще использовать приведенную массу рабочего элемента в точке соударения. Это значительно позволит упростить расчеты и выбор рациональных параметров рабочего элемента.

В классической механике приведенную массу механизма принято считать как расчетную величину массы, которую необходимо сосредоточить в точке приведения механизма, чтобы кинетическая энергия этой точки равнялась сумме кинетических энергий всех подвижных звеньев механизма. Но не всегда данное правило истинно. В качестве примера рассмотрим рабочие элементы роторной и молотковой дробилок, представленных на рис. 1.

Условимся что параметры ротора и рабочего элемента как для роторной, так и для молотковой дробилок равны, также равны и их угловые скорости. Соударение с частицей материала происходит на одинаковом расстоянии l_B в точке B . Параметры частицы равны в обоих случаях.

До процесса соударения при установившемся движении как рабочий элемент роторной дробилки, так и рабочий элемент молотковой дробилки совершают вращательное движение относительно точки O и кинетическая энергия их будет равна.

Но после соударения ротор и рабочий элемент роторной дробилки совершают вращательное движение с одинаковой угловой скоростью. В молотковой дробилке ротор совершает вращательное движение, а рабочий элемент – плоское.

Таким образом, ударный импульс будет разный. Причем в роторной дробилке он будет больше, т. к. в ударе полностью участвует масса ротора и рабочего элемента.

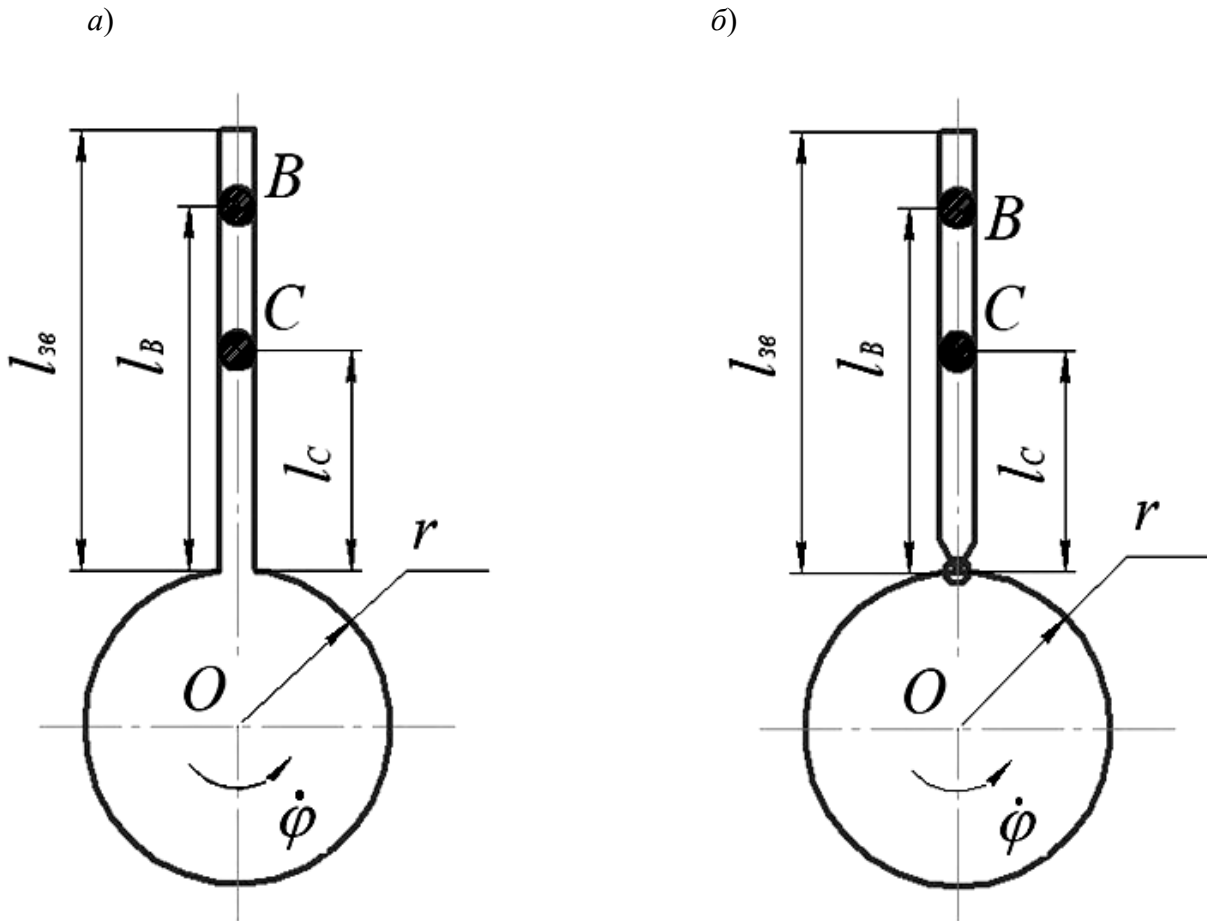


Рис. 1. Схемы дробилок ударного действия: *а* – роторной; *б* – молотковой; *r* – радиус ротора; *l_c* – расстояние до центра тяжести; *l_B* – расстояние до точки соударения; *l₃₈* – длина звена; *C* – центр тяжести звена; *B* – точка соударения рабочего элемента с частицей материала

Из вышеизложенного следует, что приведенную массу следует определять из условия сохранения количества движения, т. к. в данном случае учитываются скорости соударяющихся элементов до и после удара:

$$M_{np}(v_{Bk} - v_{Bn}) = m_g(v_{gn} - v_{gk}),$$

где M_{np} – приведенная масса рабочего элемента, кг; m_g – масса частицы материала, кг; v_{Bn} , v_{Bk} – начальная и конечные скорости рабочего элемента в точке соударения *B*, м/с; v_{gn} , v_{gk} – начальная и конечные скорости частицы материала, м/с.

УДК 624.011.1:620.179

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТЕРЖНЯ ПРИ ВИБРОСТЕРЖНЕВОМ УПРОЧНЕНИИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ

А. В. ГУРКИНА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время все большее количество людей стремится перейти к использованию экологических материалов. Одним из таких материалов является древесина. Однако существует ряд факторов, которые не позволяют в полном объеме использовать ее при строительстве и отделке помещений. К таким факторам можно отнести повреждения, появляющиеся в результате воздействия окружающей среды, и повреждения древесины, характерные для механического износа поверхностей деревянных конструкций.

Для устранения таких повреждений используются химические, радиационно-механические, термомеханические, химико-механические и термохимические способы модифицирования древесины [1].

Использование химико-механического способа модифицирования поверхности древесины повышает прочность конструкции, однако следует сказать, что при таком способе происходит модификация всей конструкции, что, в свою очередь, влечет значительные затраты и, как правило, использование различных химических веществ, не всегда полезных для здоровья человека.

Предлагается способ модификации и упрочнения поверхностей деревянных конструкций, по которому затраты будут приходиться на упрочнение и модифицирование только одной эксплуатируемой поверхности древесины. По данному способу на поверхность подготовленной деревянной конструкции воздействуют стержни с предварительно нанесенным на эту поверхность модифицирующим составом. В качестве модифицирующего состава может быть использован лак, антипирен, антисептик и др. [2].

При проведении экспериментальных исследований по данному способу возник закономерный вопрос, каким образом необходимо расположить стержни в рабочей головке для перекрытия напряжений от соседних стержней и получения равномерно упрочненной и ровной поверхности.

Для решения поставленного вопроса было привлечено программное обеспечение SolidWorks и смоделирована ситуация, в которой на поверхность заготовки воздействует единичный стержень. Причем конфигурация стержня должна быть оптимальной.

В качестве материала образца был принят пользовательский материал с конфигурацией, соответствующей древесине сосны, влажностью 14 %. Материалом для стержней была выбрана легированная сталь. Далее проводились статические исследования, посредством нагружения стержня выбранной формы и размера. В качестве основных форм для стержней были выбраны круг, квадрат, ромб, треугольник (рис. 1). Сила нагружения соответствовала эквивалентной силе воздействия при проведении экспериментальных исследований.

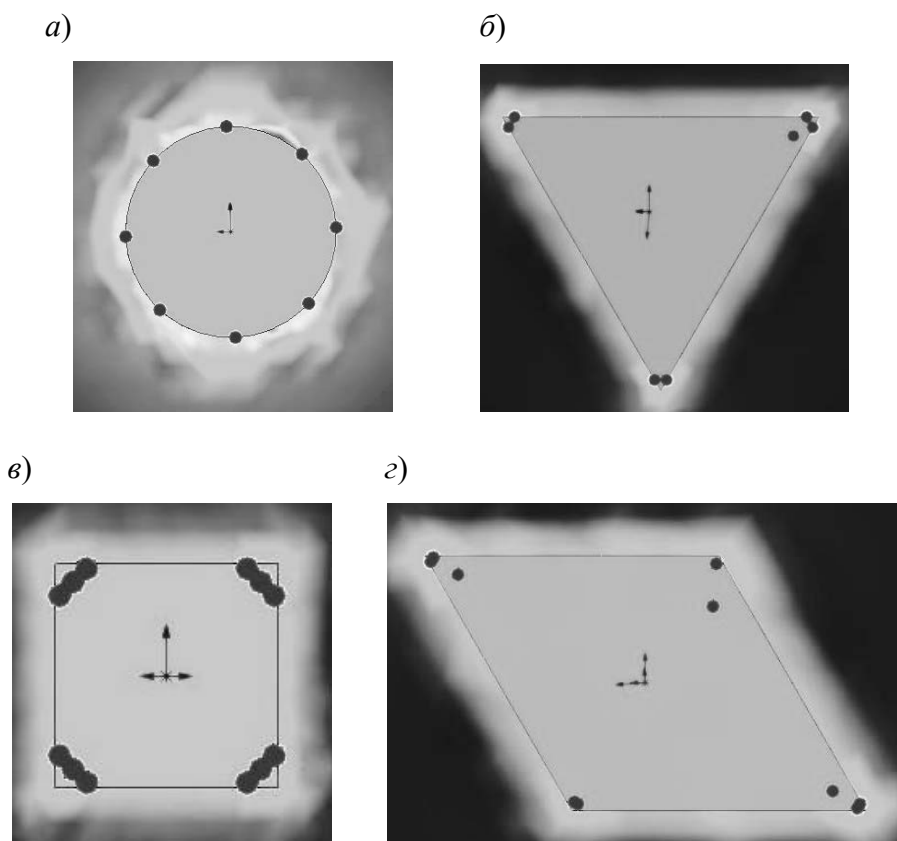


Рис. 1. Напряжения, возникающие при давлении 2,53 МПа на стержень: *а* – круглый стержень; *б* – треугольный стержень; *в* – квадратный стержень; *г* – ромбовидный стержень

По результатам проведения исследований можно сказать, что при использовании стержней круглых сечений не дает в узлах концентрации напряжений, что в свою очередь позволит добиться более ровной поверхности на образцах. Также следует отметить, что при использовании круглых стержней с площадью поперечного сечения 15...20 мм² возможно перекрытия напряжений от рядом стоящих стержней. При соотнесении с экспериментальными исследованиями при такой площади поперечного сечения стержня поверхность заготовки уплотняется на 0,1...0,3 мм, прочность повышается на 15 %...25 % [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 24329–80.** Древесина модифицированная. Способы модифицирования. – Москва: Изд-во стандартов, 1980. – 16 с.
2. **Гуркина, А. В.** Упрочнение и модификация поверхностей деревянных конструкций / А. В. Гуркина, Л. А. Сиваченко // Механизация и автоматизация строительства: сб. ст. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2020. – С. 96–101.
3. **Гуркина, А. В.** Результаты экспериментов по вибростержневому упрочнению деревянных поверхностей / А. В. Гуркина // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 182–184.

УДК 624.011.1:620.179

ВИБРОСТЕРЖНЕВАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ИХ СВОЙСТВ

А. В. ГУРКИНА, Н. Л. МЕШКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Древесина является материалом с рядом положительных свойств, таких как прочность, малая тепло- и электропроводность, поглощение вибрации и звука, также она хорошо поддается механической обработке. У древесины достаточно широкая область применения. Например, в отделке интерьера (стиль лофт, прованс и т. д.), при изготовлении мебели, в строительстве (отделка, двери, оконные рамы, подоконники, несущие элементы и т. д.), что повышает востребованность материала. Но несмотря на это, нельзя забывать о недостатках. К ним относят подверженность влажности, истираемость, трещины и сколы. И нельзя забывать о воздействии окружающей среды, вследствие чего могут образовываться грибки и плесень.

Существуют различные способы для повышения качества поверхности древесины и устранения данных недостатков. В основном используются химико-механические и механические способы. Однако применение таких способов повышения качества поверхности зачастую приводит к повышению стоимости, усложнению различных этапов работ, а также токсичности некоторых готовых изделий. В связи с вышеперечисленными недостатками предлагается следующий способ обработки поверхности.

На поверхность древесины, предварительно подготовленной, будет производиться частотное воздействие стержнями для повышения качества поверхности, а именно: уплотнения поверхностного слоя. В качестве упрочняемого материала будет использоваться древесина сосны, т. к. в нашей местности это наиболее практичный и доступный материал. Стержень может быть изготовлен как из металла, так и из древесины большой плотности, например из дуба. Подготовка образцов для уплотнения будет производиться по следующим параметрам: обрезка заготовок в необходимые форму и размер, зашлифовка мелких неровностей поверхности, сушка готовых образцов до оптимальной влажности.

Задача экспериментальных исследований состоит в том, чтобы опытным путем при вибростержневом воздействии проверить эффективность упрочнения поверхности древесины.

По результатам проведения данных исследований необходимо установить следственные связи между силовыми характеристиками удара и величиной упрочненной поверхности, а также выявить технологические характеристики установки для упрочнения поверхностей деревянных конструкций.

УДК 621.926

ВОЛОКОННАЯ МЕЛЬНИЦА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЖИДКОТЕКУЧИХ КОМПОЗИЦИЙ

Е. В. ЗАРОВЧАТСКАЯ, А. И. КОВАЛЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Основные проблемы, существующие в настоящее время в сфере ультрадисперсного помола, связаны с необходимостью повышения энергоэффективности и производительности процесса, качества получаемой продукции, а также снижения стоимости технологического процесса.

Существующие конструкции мельниц (шаровые, вибрационные, планетарные, струйные, атриторы, бисерные, коллоидные, дезинтеграторы, пружинные, электрогидравлические, электромагнитные) применяются для широкого круга материалов, однако не до конца закрывают описанные выше проблемы, связанные с ультрадисперсным помолом.

Для решения этих задач предложена конструкция принципиально новой волоконной мельницы, которая может обеспечить повышение тонкости помола и снижение энергозатрат. Конструкция (рис. 1) представляет собой вертикальную цилиндрическую камеру, заполненную упругим материалом из металлических волокон, которые под действием эксцентрикового вала будут создавать давяще-истирающие нагрузки и сдвиг, при этом подвергать измельчаемый материал интенсивному истирающему воздействию. Рабочее пространство заполнено металлическим волокном на 70 %...80 % от объема и при вращении эксцентрикового вала в нем происходит взаимное перемещение и взаимодействие металлических волокон, которые перетирают и гомогенизируют частицы суспензии. Рабочий процесс происходит непрерывно, исходная суспензия поступает под давлением в рабочее пространство, обрабатывается и выходит из аппарата в виде высококачественного продукта.

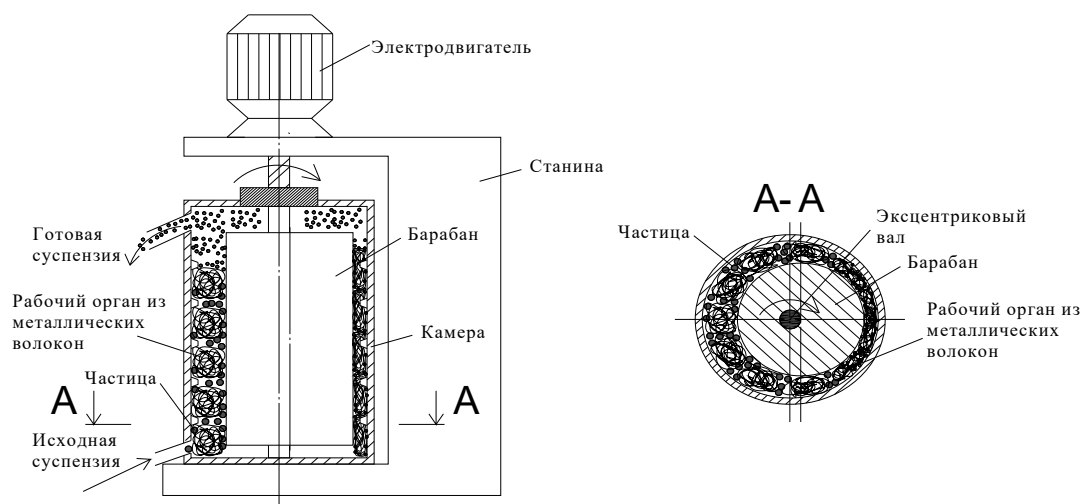


Рис. 1. Конструктивная схема волоконной мельницы

УДК 622.678.532 : 622.647.057-03 (043.2)

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ ОБЛИЦОВКИ РОЛИКОВ ШАХТНОГО СКИПА

Е. В. КОДНЯНКО

Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения

с Опытным производством»

Солигорск, Беларусь

Роликоопоры шахтного скипа предназначены для обеспечения прямолинейного спуска-подъема шахтного подъемного сосуда в вертикальных стволах с жесткой армировкой, оборудованных металлическими проводниками коробчатого сечения.

Роликоопоры устанавливаются жестко на кронштейны (опорные площадки) в верхней и нижней частях подъемного сосуда и удерживают его шинами роликов в проводниках относительно оси подъемного каната.

С помощью роликоопор обеспечивается центрирование шахтного подъемного сосуда в стволе относительно оси подъемного каната, а также обеспечивается регулировка проектных зазоров между рабочими поверхностями проводников и предохранительными башмаками. Роликоопоры прижимаются роликом к рабочим поверхностям проводника (с трех сторон) и непосредственно воспринимают и гасят колебания, возникающие при движении шахтного подъемного сосуда по стволу, а также поглощают удары, возникающие на стыках проводников.

Задача настоящей работы заключалась в оценке эффективности применения облицовки для ролика роликоопоры шахтного скипа эластичным материалом и выборе материала по триботехническим характеристикам (табл. 1). В настоящее время облицовка ролика осуществляется резиной и полиуретаном. Применение резины уменьшает проскальзывание ролика по металлическому проводнику и снижает ее интенсивность изнашивания.

Табл. 1. Основные технические данные и характеристики роликов

Наименование параметра	Значение
Диаметр направляющего ролика, мм	250
Размер шины, мм	Ø 250 × Ø 168 × 100
Твердость материала шины по Шору, шкала А, усл. ед.	90 ± 5
Динамическая нагрузка на ролик, кН, не более	30
Рабочий диапазон температур, °С	От –40 до +110

По технологическим свойствам (табл. 2) полиуретаны чаще всего превосходят резины. Покрытия из полиуретана наносятся на поверхности деталей как напылением, так и свободным литьем под давлением с использованием адгези-

вов. В отличие от термопластов и резин не требуют сложных и дорогостоящих литьевых форм.

Из табл. 2 следует, что практически все показатели полиуретана выше, чем резины. Исключение составляет стойкость к воздействию агрессивной среды, что указывает на необходимость испытаний исследуемых материалов в воздушно-соляной среде, в которой эксплуатируются скипы.

Табл. 2. Физико-механические свойства резины и полиуретана

Наименование показателя свойств материала	Резина	Полиуретан
Твердость по Шору, шкала А	80...90	90 ± 5
Условная прочность при растяжении, МПа	14,2	55
Удлинение при разрыве, %	110	550
Температурный предел хрупкости, °С	От –20 до +250	От –60 до +120
Деформация сжатия, %	20	25
Абразивная стойкость, Шабер Н.22. Массовый износ, мг, за 1000 циклов при нагрузке 10 Н	–	11

Известны данные испытаний, согласно которым применение отдельных марок полиуретанов для формирования покрытий позволяет увеличить максимальную нагрузку на изделие до четырех раз, и устойчивость к воздействию абразивного износа до 10 раз по сравнению с резиной. Полиуретан является одним из наиболее стойких к изнашиванию материалов при трении по закрепленным абразивным частицам благодаря более высоким показателям предела прочности и удлинения при разрыве. Кроме того, полиуретан не теряет своих свойств при температурах от –60 °С до +120 °С и обладает высокой устойчивостью к деформации. Полиуретановые покрытия обеспечивают высокую устойчивость к ультрафиолетовому излучению и усталостному разрушению,

Сильные межмолекулярные взаимодействия определяют и специфику пространственной сетки полиуретанов: будучи образована только физическими поперечными связями в термоэластопластах, пластмассах, волокнах, она обеспечивает свойства квазисетчатых материалов: высокая прочность при комнатной температуре, твердость и пр. Для получения высоких прочностных показателей у ненаполненных полиуретанов, способных работать при повышенных температурах, необходима смешанная пространственная сетка из физических и химических поперечных связей.

В зависимости от марок сравниваемых материалов полиуретан может превосходить резину по прочности в ~2,7 раза, по эластичности – в ~2 раза, а по износостойкости – в ~3–10 раз.

Резиновые детали начинают терять свои основные свойства сразу же после изготовления – становятся все более жесткими при хранении (особенно в контакте с металлом), охрупчиваются и растрескиваются при воздействии ультрафиолетового излучения, размягчаются внутри при эксплуатации, с течением времени утрачивают гибкость и упругость.

УДК 622.673.83:678.074:539.538(043.2)

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТРЕНИЕ И ИЗНАШИВАНИЕ ЭЛАСТОМЕРОВ

М. Ю. КОДНЯНКО

Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения
с Опытным производством»

Солигорск, Беларусь

Износ вкладыша цилиндропоршневой группы грунтового насоса определяется следующими факторами.

1. Среда, в которой данный узел трения будет эксплуатироваться.
2. Режимы эксплуатации насоса.
3. Материал трущихся контртел.

У эластомеров абразивный износ зависит от тепловыделения на поверхности тела трения, разогрев которого происходит вследствие трения об контртело.

Влияние режимов эксплуатации на материал контртела определяется, прежде всего, толщиной смазывающего слоя. Условно можно выделить следующие виды трения при наличии смазывающего материала.

1. Граничное трение.
2. Полужидкостное трение.
3. Жидкостное трение.

На рис. 1 представлена зависимость коэффициента трения K от соотношения скорости относительного перемещения V , нагрузки P и вязкости смазывающей жидкости η . Данная зависимость называется диаграммой Герси – Штрибека.

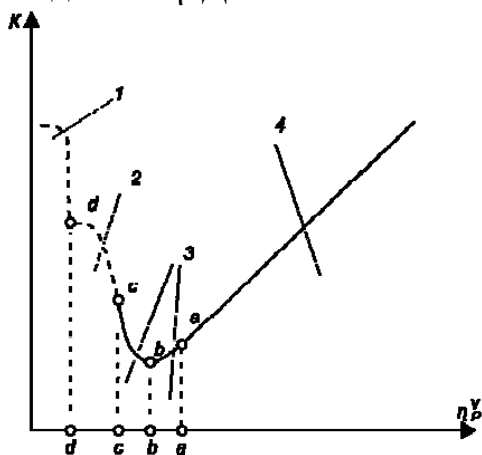


Рис. 1. Диаграмма
Герси – Штрибека

Диаграмма содержит четыре зоны, каждая из которых характеризует режим трения.

Зона 1 характерна для режима трения без смазочного материала. Так как в процессе эксплуатации грунтового насоса в зоне трения будет присутствовать вода, то данная область не представляет интереса для изучения.

Зона 2 характерна для граничного трения. Данный режим трения в рассматриваемом узле будет преобладать над остальными, в связи с малой скоростью перемещения материала трущихся тел друг относительно друга. При реализации данного режима в контакт вступают

наибольшие выступы микронеровностей тел. Остальные выступы разделены слоем смазочного материала. Это вызывает снижение коэффициента трения, что и наблюдается на диаграмме Герси – Штрибека. Подробно о данном режиме в [1].

Зоны 3 и 4 характеризуют полужидкостное и жидкостное трение. Данные режимы трения нереализуемы в рассматриваемом узле трения из-за малых скоростей скольжения и нагрузок.

Исследований в области данных режимов трения в настоящее время предостаточно и более подробно с каждым из них можно ознакомиться в [1, 2].

При абразивном изнашивании металлов важным фактором является размер абразивных частиц d .

С увеличением d износ возрастает, как показано на рис. 2. При размере частицы, превышающей 20 мкм, они не попадают в зазор между трущимися поверхностями, что приводит к снижению износа. При размере частиц менее 2 мкм износ детали не происходит. Это объясняется тем, что частицы такого размера попадают в углубления поверхности и не вступают в контакт с сопрягаемым телом.

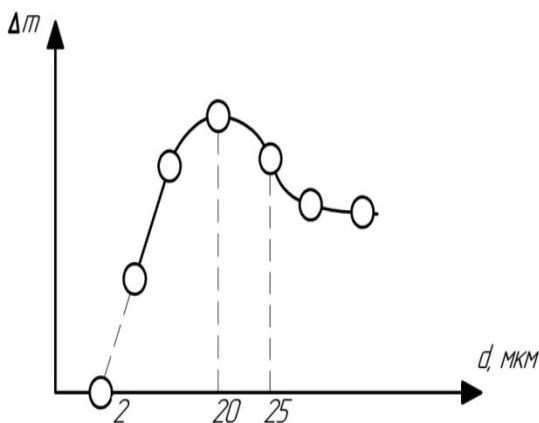


Рис. 2. Зависимость износа от размера абразивных частиц

Более подробно данный вопрос рассмотрен в [3].

Для повышения эксплуатационных свойств рассматриваемого узла трения необходимо обеспечить стабильный низкий коэффициент трения. Данное требование можно реализовать двумя путями:

- 1) повышение антифрикционных свойств материала цилиндра;
- 2) повышение антифрикционных свойств материала вкладыша.

В настоящее время область исследований полимерных материалов в качестве уплотнений непрерывно расширяется. Это обусловлено наличием огромного множества видов эластомеров, поведение которых при эксплуатации в абразивосодержащей среде не изучены.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ляшенко, Я. А.** Трибологические свойства режимов сухого, жидкостного и граничного трения / Я. А. Ляшенко // Журнал технической физики. – 2011 – Т. 81, вып. 5.
2. **Крохалев, А. В.** Методика экспериментального исследования режимов трения в подшипниках скольжения / А. В. Крохалев, О. А. Авдеюк, Джанта Андри Имули // Изв. ВолгГТУ. – 2011. – С. 22–23.
3. **Бродский, Г. С.** Деградация гидравлических насосов и моторов при абразивном износе полидисперсным загрязнителем / Г. С. Бродский // Горный информ.-аналит. бюл. – 2006. – С. 51–57.

УДК 621.879

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НОВЫХ ТИПОВ ДЛЯ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН

А. В. КУЛАБУХОВ, А. П. СМОЛЯР

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Большой объем и высокая энергоемкость земляных работ диктуют необходимость поиска новых типов рабочих органов землеройных машин и новых технологий работ. Следует подчеркнуть и разнообразие выполняемых земляных работ. Это послойная разработка при строительстве объектов, рытье траншей, нарезка щелей при прокладке кабелей и многое др. Такие виды работ используются повсеместно. Работу по поиску новых типов рабочих органов землеройных машин и новых технологий работ можно осуществлять лишь при наличии надежной методологии, позволяющей задействовать современные вычислительные средства. Основные требования к такой методологии – она должна базироваться на аналитическом аппарате, этот аппарат должен быть идентификационным исследуемым процессам и обеспечивать возможность расчета всех параметров, доступных инструментальному контролю. При выполнении этих условий становится возможным уже на стадии проектирования оценить перспективы использования новых технологий разработки грунта или новых технических решений, обеспечивающих использование этих технологий при производстве земляных работ. Такой подход позволит исключить непроизводительные затраты при освоении новой техники, обеспечит требуемое ее качество и, что самое важное, позволит оптимизировать проектирование рабочего оборудования, не предъявляя особо высоких требований к научному уровню квалификации конструкторов.

Разработанные в Белорусско-Российском университете научные методы расчета резания и копания грунта теоретически обосновали процессы, происходящие при взаимодействии режущих элементов с грунтом. В их основе лежат представления о разрушении грунта как о процессе, состоящем, по крайней мере, из двух фаз: разрушения массива ненарушенной структуры при внедрении ножа и фазы «течения» грунта при вытеснении отделенного элемента. Метод расчета базируется на аналитическом определении угла сдвига по известным граничным условиям на поверхностях грунта, формирующих площадку сдвига. Обеспечение оценки взаимодействия рабочих органов нового типа с грунтом становится возможным на основе следующей научной гипотезы – замене внешних воздействий на грунт эквивалентными им граничными значениями параметров на соответствующих поверхностях и площадках скольжения. Для реализации изложенного метода разработана обобщенная схема взаимодействия ножа с грунтом, пригодная для рабочих органов различных типов. В эту схему входят все силовые факторы, действующие на отделяемый ножом элемент перемещаемого грунта, а также на дневную поверхность разрабатываемого массива. Эти силовые факторы имитируют внешнее воздействие рабочего оборуду-

дования и грунта на выделенный элемент. Полный учет всех сил обеспечивает универсальность схемы и пригодность ее для расчета эффективности рабочих органов нового типа. Расчетная схема допускает введение и других сил. Введение таких сил может быть оправдано лишь в тех случаях и для тех рабочих органов, где они оказывают существенное влияние на величину возникающих сопротивлений и на характер протекающих при копании процессов. Такая схема позволила разработать обобщенную имитационную модель, обладающую прогностическими свойствами, имеющую принципиальное отличие от других моделей. Появление прогностических свойств обусловлено учетом влияния на процесс копания практически всех факторов, будь это действующие силы или направление их действия, причем учет каждого фактора может осуществляться независимо друг от друга. Обобщенная расчетная схема и имитационная модель позволяют выбрать генеральную линию совершенствования технологии и оборудования, предназначенного для разработки грунта. Дальнейшее развитие этой схемы применительно к конкретному типу рабочего органа и виду работ позволит выявить перспективные направления его совершенствования. Использование упрощенных аналитических и экспериментальных методов исследований для оптимизации параметров типовых рабочих органов представляется весьма проблематичным и по следующей причине. Полученные авторами как экспериментальные, так и теоретические результаты показали, что незначительное линейное изменение какого-либо одного исследуемого геометрического параметра рабочего органа при определенном его значении приводит к скачкообразному изменению силовых характеристик процесса. Для выяснения физической природы этого явления применительно к рассматриваемой задаче был исследован цикл разрушения грунта между двумя большими соседними сдвигами в стационарном режиме при изменении одного параметра – угла резания. Исследования позволили установить, что при изменении угла резания изменяются граничные условия на площадках скольжения в грунте, приводящие в определенные моменты к появлению бифуркационного скачка и возникновению нового линеаризованного цикла. В таких особых точках происходит дискретное изменение количества сдвигов в цикле, сопровождаемое, в свою очередь, дискретным изменением силовых характеристик (до 50 % по абсолютной величине применительно к грунтам второй категории).

Таким образом, оптимизацию параметров рабочих органов землеройных машин можно осуществлять аналитическими методами, если эти методы идентификационны исследуемым процессам, определяют все параметры, доступные инструментальному контролю и, кроме того, учитывают периодический характер стружкоотделения.

Развиваемое направление прогностического моделирования рабочих процессов землеройных машин позволяет оптимизировать параметры рабочего оборудования традиционного типа, а при его дальнейшем развитии позволит выявить перспективные направления совершенствования рабочих органов и технологии разработки грунта с количественной оценкой параметров, а также оценивать перспективы использования рабочих органов нового типа, созданных «случайным» образом.

УДК 629.114.2:621.828.6

О РЕГУЛИРОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТОЗАЦЕПОВ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ

А. В. КУЛАБУХОВ, А. П. СМОЛЯР, В. В. ЛАСОЦКИЙ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В дорожном строительстве значительная часть затрат приходится на разработку и перемещение грунта. Землеройно-транспортным машинам, выполняющим эти работы, необходимо обладать достаточной проходимостью и тяговым усилием. Поэтому выполнение таких работ в основном осуществляется машинами на гусеничном ходу, одним из основных эксплуатационных показателей которых является сила тяги по сцеплению. Ее увеличение часто осуществляют путем повышения сцепного веса, либо совершенствования конструкции движителя.

Первый подход приводит к дополнительным затратам энергии на перемещение при эксплуатации машин. Вторым подходом является оптимизация параметров движителя под соответствующий тип грунта. Исследования, проведенные многими авторами, показывают, что для разных грунтов существуют определенные соотношения шага и высоты грунтозацепов гусеничной цепи, при которых сила тяги по сцеплению будет максимальной. Изменять размеры шага достаточно сложно, а осуществить регулировку высоты грунтозацепов гораздо проще.

Для этого предлагается гусеничный движитель, состоящий из гусеничной цепи, на каждом траке которой закреплены посредством осей управляемые грунтозацепы. Все они снабжены возвратными пружинами и имеют возможность перемещаться в вертикальной плоскости посредством взаимодействия своей обратной стороной с устройством, изменяющим высоту их расположения. Также на тыльной стороне грунтозацепов расположены зубья, взаимодействующие с фиксаторами, шарнирно установленными на траках и подпружиненные относительно их.

При необходимости изменения параметров гусеничной цепи водитель подает сигнал на устройство для изменения высоты грунтозацепов, которое, взаимодействуя с тыльной стороной грунтозацепов, устанавливает их на определенную высоту. При осуществлении гусеничной цепью не менее одного оборота все грунтозацепы оказываются установленными на требуемой высоте, после чего данное взаимодействие прекращается.

Такое устройство не создает постоянного дополнительного сопротивления перематыванию гусеничной цепи и вместе с тем обеспечивает изменение ее параметров для реализации максимального тягового усилия на различных типах опорных оснований.

УДК 621.436.038

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ ТОПЛИВОПОДАЧИ ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА СМЕСЯХ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА И ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА

А. В. КУРАПИН, Н. А. СМИРНОВ

Волгоградский государственный технический университет
Волгоград, Россия

В настоящее время во всем мире наблюдается тенденция перехода к возобновляемым энергоносителям, биотопливу в частности. Биотопливо – топливо из растительного или животного сырья, из продуктов жизнедеятельности организмов или органических промышленных отходов.

Для условий европейской части России наиболее предпочтительным является топливо на основе подсолнечного масла, ввиду простоты выращивания и распространенности. Использование такого биотоплива позволит не только заменить нефтяное моторное топливо альтернативным, но и улучшить показатели токсичности отработавших газов [1].

Следует отметить, что по своим физико-химическим свойствам биотопливо на основе растительных масел ближе к дизельному топливу, чем к бензину. Масла состоят в основном (на 95 %...97 %) из триацилглицеридов, органических соединений, сложных эфиров глицерина и различных жирных кислот, а также моно- и диацилглицеридов [2]. Поэтому подсолнечное масло получило широкое распространение в качестве компонента для смесового биотоплива для дизельных двигателей, что обусловлено его сравнительно невысокой термической стабильностью и приемлемой температурой самовоспламенения (320 °С), не намного превышающей температуру самовоспламенения дизельных топлив (230 °С...300 °С). Цетановое число подсолнечного масла составляет 45 ед., что схоже с цетановым числом дизельного топлива (40...55).

С целью оценки показателей процессов топливоподачи при работе дизельного двигателя на смесях дизельного топлива и подсолнечного масла были проведены расчеты процесса топливоподачи дизеля Д-240 с топливным насосом УТН-5. Расчеты с использованием гидродинамического метода проводились в программе «VPRISK», разработанной в ВолГТУ на основе разработок МАДИ [3]. Варьировались составы подаваемых смесей дизельного топлива (ДТ) и подсолнечного масла (ПМ). Физические параметры смесей ДТ и ПМ, для которых проводились расчеты, приведены в табл. 1.

Анализ результатов показывает, что при увеличении содержания доли ПМ в смеси от 0 % до 100 % объемная цикловая подача Q_{cv} увеличилась на 14,6 % с 60,3 до 70,6 мм³ (рис. 1), а массовая цикловая подача топлива Q_{cm} возросла с 0,049 до 0,064 г (рис. 2), т. е. на 23,5 %. Максимальное давление в штуцере насоса РНМ увеличивается с 325 до 380 бар (рис. 3), подъем иглы форсунки УІ происходит раньше на 1,5° (рис. 4).

По результатам можно сделать вывод, что характеристики топливоподачи при использовании смесового топлива отличаются от характеристик топливо-

подачи при работе на чистом дизельном топливе, при этом отличия увеличиваются с ростом доли подсолнечного масла в смеси. Это нужно учитывать при использовании рассматриваемых смесей в качестве топлива для дизелей.

Табл. 1. Физико-химические свойства дизельного топлива и смесей на основе подсолнечного масла

Свойство	ПМ = 0 %	ПМ = 30 %	ПМ = 50 %	ПМ = 70 %	ПМ = 100 %
Плотность при $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, г/см^3	0,809	0,833	0,857	0,881	0,905
Коэффициент кинематической вязкости при $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{мм}^2/\text{с}$	2,25	5,23	8,76	15,16	34,69
Коэффициент динамической вязкости при $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{Па}\cdot\text{с}$	$1,822\cdot 10^{-3}$	$4,353\cdot 10^{-3}$	$7,508\cdot 10^{-3}$	$1,335\cdot 10^{-2}$	$3,139\cdot 10^{-2}$

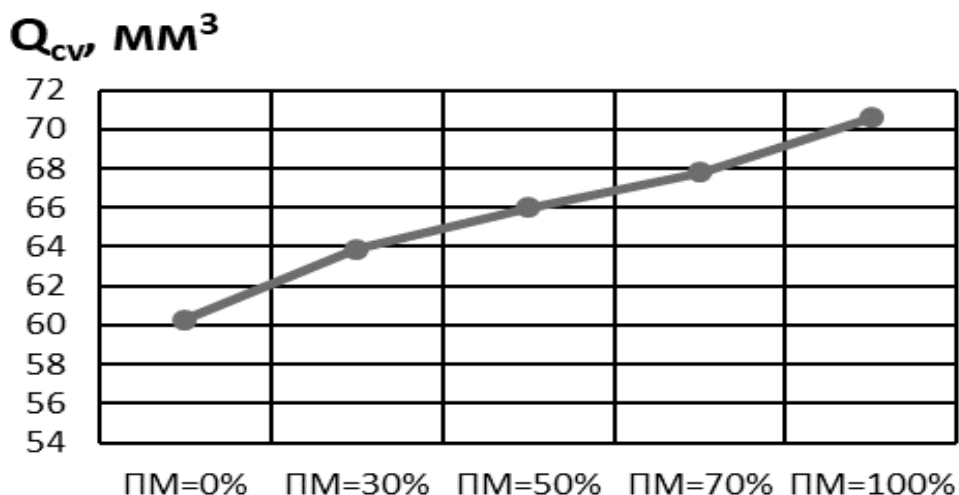


Рис. 1. Зависимость объемной цикловой подачи топлива от содержания ПМ

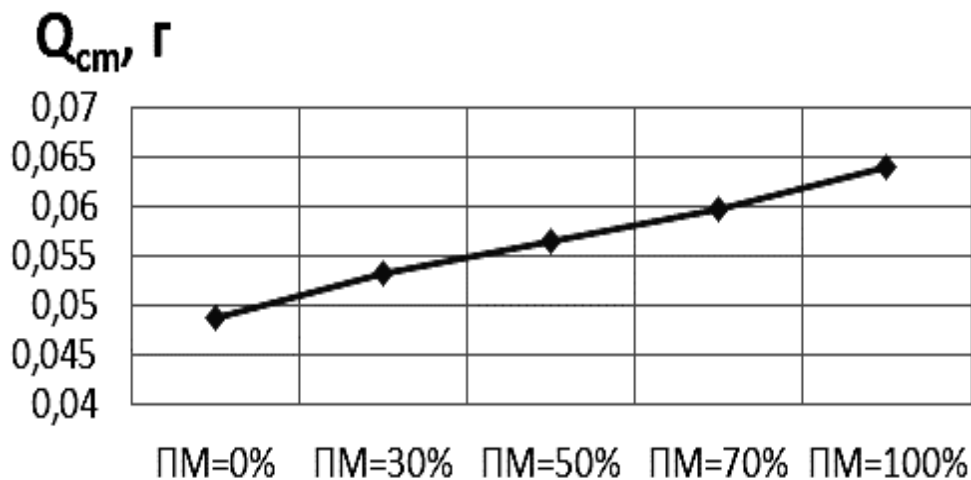


Рис. 2. Зависимость массовой цикловой подачи топлива от содержания ПМ

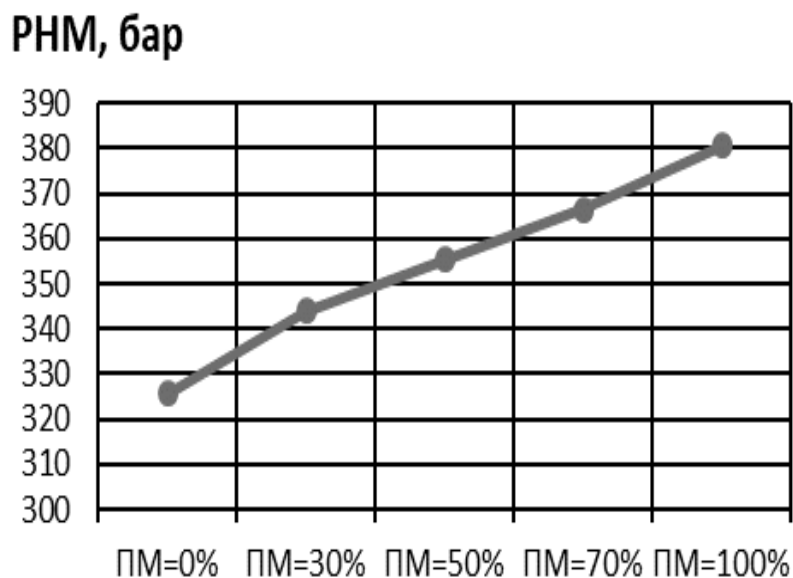


Рис. 3. Зависимость максимального давления в штуцере от содержания ПМ

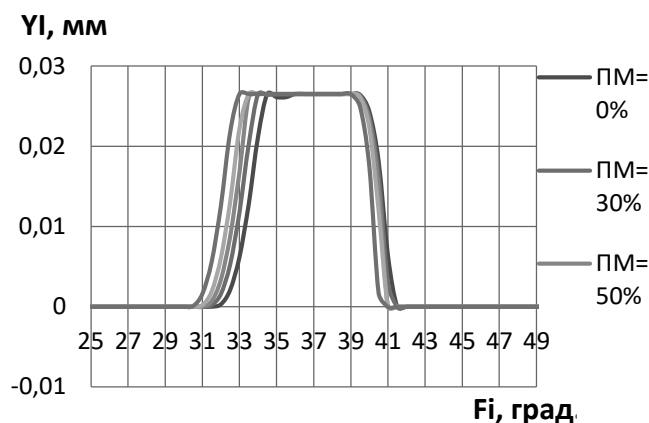


Рис. 4. Зависимость подъема иглы форсунки от угла поворота кулачкового вала

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптимизация состава смесевых биотоплив на основе растительных масел для дизельных двигателей / В. А. Марков [и др.] // Вестн. ВолГУ. – 2014. – № 4 (13). – С. 86–98.
2. **Кулиев, Р. Ш.** Физико-химические свойства некоторых растительных масел / Р. Ш. Кулиев, Ф. Р. Ширинов, Ф. А. Кулиев // Химия и технология топлив и масел. – 1999. – № 4. – С. 36–37.
3. **Славуцкий, В. М.** Расчет и оптимизация процессов и систем комбинированных двигателей: учебное пособие / В. М. Славуцкий, А. В. Курапин, Е. А. Салыкин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2018. – 98 с.

УДК 621.926

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ КОРДОСОДЕРЖАЩИХ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯН. В. КУРОЧКИН, Н. С. БУКАРЬ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Проблема переработки изношенных автомобильных покрышек заключается в том, что их различные модели выполнены из разных типов резины и могут содержать значительное количество металлической проволоки (до 15 %) и синтетического корда (до 15 %) [1]. В связи с тем, что предприятия, применяющие переработанную резину в качестве вторичного сырья, допускают содержание металлических включений в сырье не более 0,01 %...0,03 % от общей массы, остро стоит проблема в отделении мелких частиц металла из массы измельченной резиновой крошки.

Преобладающее большинство технологических линий механической переработки кордосодержащих автомобильных покрышек производят отбор металлических включений посредством магнитных сепараторов, а синтетических включений – путем просеивания. При этом возникают следующие сложности, мелкие металлические включения не могут быть захвачены сепаратором ввиду незначительной массы или по причине нахождения внутри резиновой оболочки, а крупные частицы притягиваются магнитом вместе с резиновыми включениями.

Данную проблему возможно решить путем многоэтапного измельчения резиновой крошки до фракции 0,4...0,8 мм, но ввиду физико-механических свойств перерабатываемого материала механическим способом без применения криогенных технологий получение такой фракции экономически нецелесообразно, т. к. повлечет значительные энергозатраты.

На основании результатов, полученных на предприятии по утилизации изношенных автомобильных покрышек ООО «Данотон», в технологической линии механической переработки при получении резиновой крошки фракции 1...3 и 3...5 мм нами предлагается использовать молотковую дробилку с наклонным корпусом [2].

Рабочее оборудование дробилки (рис. 1) представляет собой ротор, содержащий две секции дисков с шарнирно закрепленными ударными элементами (билами). Особенностью данной конструкции является то, что ударные элементы верхней секции заострены, это позволяет более эффективно отделять металлические и резиновые включения, частицы резины, проходя через нижнюю секцию бил доизмельчается, а металлические частицы под действием многочисленных ударов сминаются и соединяются между собой, образуя так называемые «пучки», что значительно упрощает работу магнитных сепараторов.

Подобный эффект «комкования» также наблюдался при переработке покрышек, содержащих синтетический корд, что упрощает процесс просеивания виброинерционным грохотом.

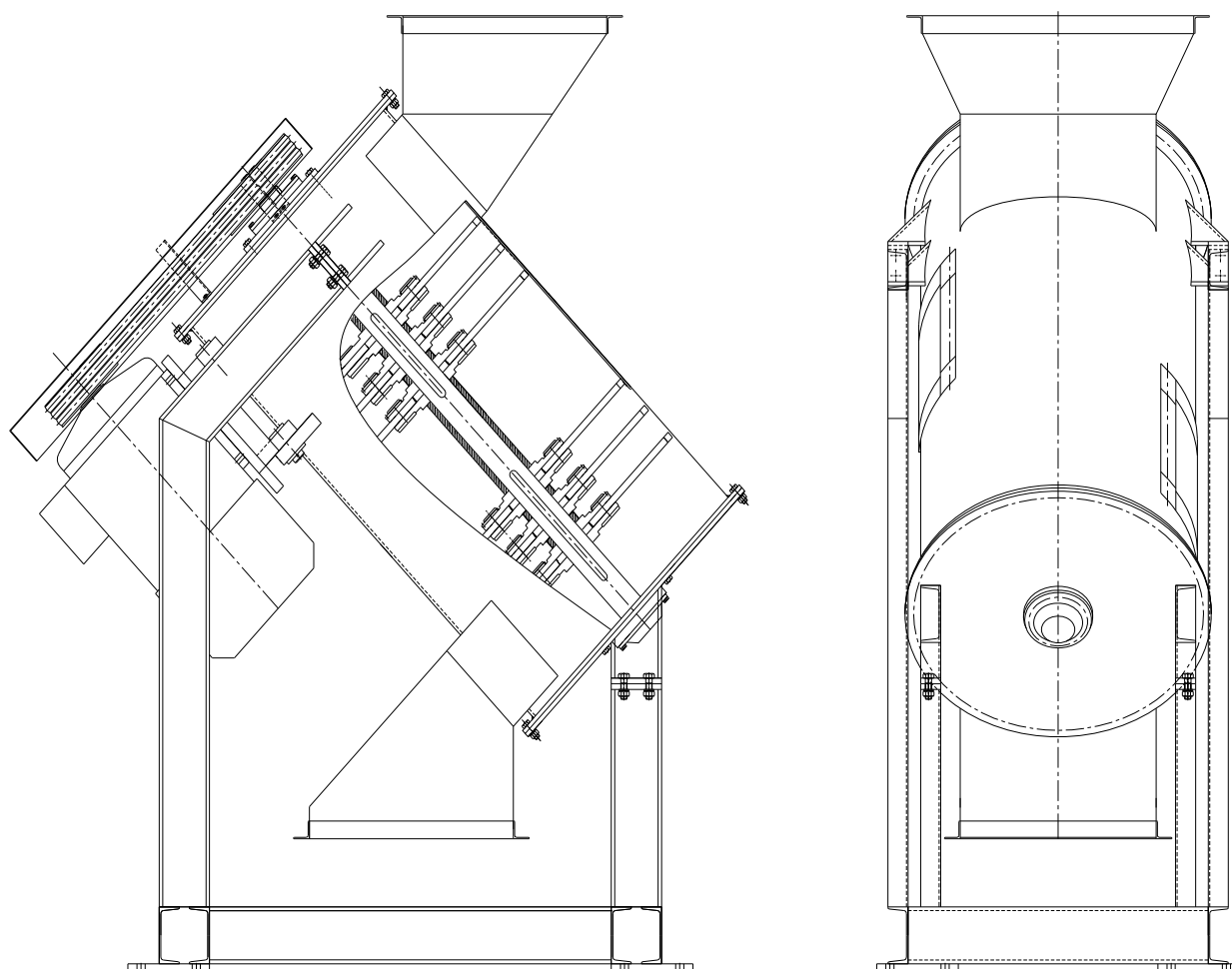


Рис. 1. Молотковая дробилка для переработки кордосодержащих покрышек

Таким образом, предлагаемая конструкция молотковой дробилки позволяет эффективно измельчать различные типы фрагментов автомобильных покрышек до необходимой фракции без применения дополнительного температурного воздействия, способствует более качественному отделению резины и корда, тем самым способствует снижению издержек на переработку, а также повышению качества готовой продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные технологические линии переработки изношенных автопокрышек / В. Г. Никольский [и др.] // Вторичные ресурсы. – 2002. – № 6.
2. **Курочкин, Н. В.** Молотковая дробилка для переработки автомобильных покрышек / Н. В. Курочкин, Р. А. Пехтерев // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 106.

УДК 625.7.8

ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКТА ДАННЫХ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГУСЕНИЧНОГО БУЛЬДОЗЕРА

И. В. ЛЕСКОВЕЦ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Развитие вычислительной техники и оборудования, позволяющее увеличить скорость вычислений, приводит к появлению и широкому распространению цифровых двойников в различных отраслях промышленности.

Использование математического моделирования и алгоритмов, позволяющих вычислить параметры и характеристики процессов, происходящих во время работы землеройных машин, позволяет улучшить качественные результаты проектирования и эксплуатации. Применение цифровых двойников позволяет оценить параметры систем, которые невозможно осуществить традиционными средствами измерения во время рабочих процессов. Анализ состояния механизмов и систем машин, который выполняется на основе численной информации, предоставляемой цифровым двойником, позволяет установить зависимости, возникающие между взаимодействующими частями и элементами во время выполнения машиной рабочих операций.

Гусеничный бульдозер – это энергетически насыщенная машина, предназначенная для выполнения земляных работ при строительстве сооружений и добыче полезных ископаемых. Современный гусеничный бульдозер оснащен системами управления рабочим оборудованием, которые значительно облегчают труд оператора. Для управления рабочим оборудованием бульдозера используются гидравлические системы. Производители, которые выпускают промышленные гусеничные бульдозеры используют для управления силовым гидроприводом рабочего оборудования гидравлические или электрогидравлические системы [1]. Гидравлическое управление отвалом может обеспечить до четырех степеней свободы в пространстве. Такие системы во время копания грунта предоставляют возможность найти такое положение рабочего оборудования, которое позволяет получить максимальную производительность при минимальном расходе топлива.

Силы сопротивления копанию зависят от того, в каком режиме работает рабочее оборудование и изменяются во времени. При отсутствии информации о их величинах и направлении в текущий момент времени, вероятность установки отвала в оптимальное рабочее положение невелика. Поэтому оператор не всегда может обеспечить положение отвала, которое соответствует максимальной производительности и минимальному расходу топлива.

Цифровой двойник гусеничного бульдозера может оказать значительную помощь оператору для обеспечения оптимального положения отвала в процессе копания грунта.

Для создания цифрового двойника необходимо разработать теоретические положения, которые позволят построить динамическую характеристику сил со-

противления копанию. Такие положения должны быть основаны на использовании параметров рабочего оборудования и грунта, которые могут быть недоступны для определения на конкретной рабочей площадке или интенсивно меняться во времени.

Параметры рабочего оборудования, как правило, известны и незначительно изменяются в процессе эксплуатации машины либо периодически восстанавливаются до исходных значений. С помощью методик, разработанных на настоящее время, и на основании имеющихся теоретических положений, для каждого конкретного условия имеется возможность вычисления сил сопротивления копанию. Использование данных методик возможно при непосредственной работе бульдозера.

Таким образом, система сбора данных для вычисления характеристик рабочего процесса, определения наилучшего положения рабочего оборудования и управления рабочим оборудованием сможет обеспечить оптимальное положение рабочего оборудования в соответствии с заданными критериями.

Наиболее важной информацией является характеристика сил сопротивления копанию, получение которой с помощью измерительных средств, которые устанавливаются на современные бульдозеры, сильно затруднено.

Автором проведен ряд исследований, позволяющих теоретическим путем установить возможность получения требуемых данных во время процесса копания.

Проанализировав результаты исследований, можно сделать вывод о том, что постоянное положение отвала не обеспечивает минимизацию сил сопротивления копанию. В процессе копания возникают случаи, когда силы сопротивления копанию меньше на стадии внедрения отвала в грунт, в зависимости от угла установки отвала, и больше при установившейся стружке и максимальной призме волочения. В зависимости от конкретных сочетаний параметров и отвала и грунта могут иметь место случаи, когда происходит обратный процесс, т. е. силы сопротивления копанию меньше на стадии внедрения отвала в грунт при минимальном угле установки отвала, и увеличиваются при максимальной призме волочения и увеличении угла установки отвала. Вместе с тем изменяется, хотя и незначительно, объем призмы волочения, но даже незначительные изменения могут вызывать существенные изменения топливной экономичности при производстве работ в больших объемах.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что в процессе копания грунта с целью минимизации силы сопротивления копанию и увеличения производительности рекомендуется изменять угол установки отвала по мере увеличения призмы волочения. Для реализации этой идеи необходимо обеспечить постоянное измерение угла установки отвала и величин сил сопротивления копанию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Довгяло, В. А. Дорожно-строительные машины. Ч. 1: Машины для земляных работ / В. А. Довгяло, Д. И. Бочкарев. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 250 с.

УДК 621.785

ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ ПРУЖИННОЙ МЕЛЬНИЦЫ ЗАКРЫТОГО ТИПА

А. В. МАЛЕВИЧ¹, Л. Л. СОТНИК¹, Л. А. СИВАЧЕНКО²¹Барановичский государственный университет

Барановичи, Беларусь

²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Эффект «схватывания» частиц, который может быть использован для образования композитных микрогранул из различных компонентов, в пружинных мельницах достаточно просто реализуется на основе раздавливающе-ударно-сдвигового воздействия в межвитковых рабочих зонах. В случае ввода в обрабатываемую среду мелких мелющих тел (шариков), размеры которых значительно меньше максимальных зазоров, между витками рабочих органов, механизм разрушения значительно активизируется как за счет увеличения напряжений в контактных зонах, так и путем дополнительных соударений мелющих тел между собой и с элементами рабочей камеры и витками пружин. Это крайне важно при получении ультрадисперсных порошков и композиций различных веществ [1].

Однако не маловажной остается проблема износа мелющих тел в процессе работы пружинной мельницы. Для повышения их прочности предлагается использование технологии ионно-плазменного азотирования (ИПА). Целью данной работы является исследование целесообразности упрочнения методом ИПА стальных шариков диаметром 2 мм из стали ШХ 15.

Эксперименты по азотированию.

Для сравнения требуемых параметров азотирование проводилось двумя способами:

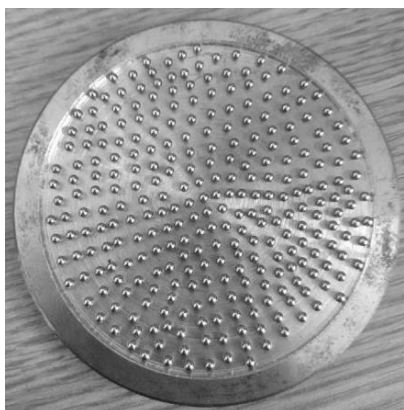
- 1) закрепить положение шариков из стали ШХ 15 в лунках для равномерного их распределения по площади основания (рис. 1, а);
- 2) хаотичное распределение по плоскости основания (рис. 1, б).

Использование двух различных методик необходимо для определения зависимости качества азотированного слоя от взаимного расположения деталей. При закреплённом способе обработки шарик будет иметь пятно контакта лишь с основанием, на которое он установлен. При хаотичном расположении шариков некоторые из них соприкасаются друг с другом, создавая дополнительные пятна контакта.

Результаты исследования.

Как и следовало ожидать, в местах пятен контакта образцов с основанием и (или) с другими образцами азотированный слой отсутствует ввиду отсутствия тлеющего разряда (рис. 2). Твердость азотируемого слоя проверялась на образце-свидетеле. Твердость составила 780 HV.

а)



б)

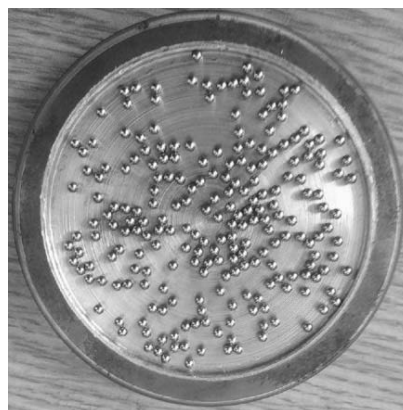
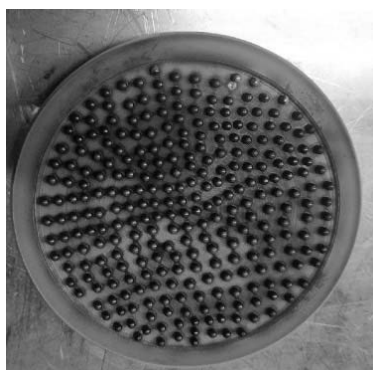


Рис. 1. Расположение мелющих тел на основании: а – в лунках; б – хаотичным образом

а)



б)

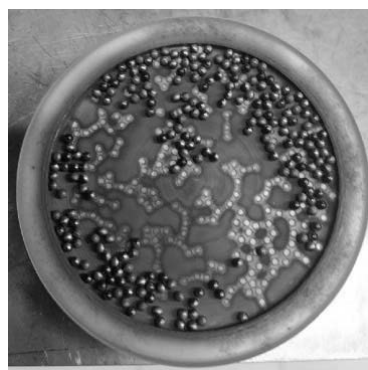


Рис. 2. Расположение мелющих тел на основании: а – в лунках; б – хаотичным образом

Результаты, представленные в данном исследовании, позволяют сделать вывод, что при ионно-плазменном азотировании необходимо оставлять гарантированный зазор между заготовками, который будет варьироваться в зависимости от давления в камере установки. Более высокое давление «прижимает» тлеющий разряд ближе к заготовке, что способствует возможности более плотной загрузки заготовок в камеру. Данный зазор необходим ввиду того, что при присутствии пятен контакта между заготовками там отсутствует тлеющий разряд, соответственно, и процесс азотирования не происходит. Этот эффект можно использовать при необходимости исключения некоторых поверхностей из процесса азотирования при помощи дополнительной оснастки.

Также можно сделать вывод, что проблема износа мелющих тел в процессе работы пружинной мельницы и их упрочнение методом ИПА нуждается в дополнительных экспериментальных исследованиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пружинная шаровая мельница: пат. KZ 29820 / Л. А. Сиваченко, Е. Г. Голбан, С. Ж. Багитова. – Оpubл. 15.05.2015.

УДК 621.311

АВТОНОМНЫЙ КОМПЛЕКС ПОДОГРЕВА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Ю. В. МАШИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Ранее было проанализировано влияние низких температур на элементы и системы автомобиля, отвечающие за запуск двигателя, и определена необходимость разработки автономной энергоэффективной системы подогрева аккумуляторной батареи, масляной и топливной систем.

Опыт эксплуатации показывает, что уже при температуре -18°C емкость аккумуляторной батареи снижается до 40 %. Для сохранения емкости аккумуляторной батареи необходимо обеспечить положительную температуру электролита. Возможным вариантом сохранения температурного баланса аккумулятора может выступить термобокс, включающий в себя нагревательные элементы и автономную систему энергоснабжения.

Само использование термобокса для аккумуляторной батареи будет сохранять продолжительное время положительную температуру АКБ, а использование нагревательных элементов обеспечит прогрев термобокса. В качестве нагревательного элемента оптимальным является использование нагревательного кабеля, имеющего токопроводящие жилы из углеродистого волокна с изоляцией из тефлона. Данные кабели характеризуются низким удельным весом, малым коэффициентом температурного расширения и химической инертностью. Нагревательные кабели генерируют инфракрасные волны в диапазоне 8...18 мкм и имеют предельную температуру нагрева до 200°C . Использование нагревательного кабеля с инфракрасным излучением позволит прогревать не только сам корпус аккумуляторной батареи, но и сам электролит, т. к. пластик, из которого делают корпуса АКБ, прозрачен в этом диапазоне длин волн и излучение будет проходить внутрь, что благоприятно скажется на температуре электролита, а следовательно, и на емкости батареи. При подборе параметров нагревательного кабеля (длины, сопротивления и т. д.) необходимо учитывать параметры источника питания термобокса.

Мощность кабеля можно определить по зависимости

$$P = U^2 / (R \cdot L),$$

где P – мощность, Вт; U – напряжение, В; R – сопротивление, Ом/м; L – длина кабеля, м.

Учитывая, что штатное электропитание автомобиля составляет 12 В, а если использовать внешний переносной аккумулятор (типа Power Bank) с напряже-

нием на выходе в диапазоне 5...9...12 В, то для обеспечения эффективной работы термобокса необходимо подбирать кабель с минимальным сопротивлением проводника и оптимальной длиной. В табл. 1 проанализированы характеристики греющего кабеля в зависимости от его длины, сопротивления и выходного напряжения питания.

Табл. 1

Характеристики кабеля	Длина кабеля, м	Напряжение 12 В			Напряжение 5 В		
		Сопротивление, Ом/м					
		1	5	9,5	1	5	9,5
Мощность отрезка, Вт	1	144	28,8	15,15	25	5	2,63
Мощность 1 м, Вт/м		144	28,8	15,15	25	5	2,63
Сила тока, А		12	2,4	1,26	5	1	0,52
Температура нагрева отрезка, °С		676,7	135,3	71,2	117,5	23,5	12,36
Мощность отрезка, Вт	1,5	96	19,2	10,10	16,66	3,33	1,75
Мощность 1 м, Вт/м		64	12,8	6,73	11,11	2,22	1,17
Сила тока, А		8	1,6	0,84	3,33	0,66	0,35
Температура нагрева отрезка, °С		300,8	60,16	31,66	52,22	10,44	5,49
Мощность отрезка, Вт	2	72	14,4	7,57	12,5	2,5	1,31
Мощность 1 м, Вт/м		36	7,2	3,78	6,25	1,25	0,65
Сила тока, А		6	1,2	0,63	2,5	0,5	0,26
Температура нагрева отрезка, °С		169,2	33,84	17,81	29,37	5,87	3,09

Как видно из полученных данных, при использовании питания в 12 В максимальная длина греющего кабеля не должна превышать 2 м при сопротивлении кабеля в диапазоне от 5 до 9,5 Ом/м. Электропитание термобокса напряжением менее 12 В является нецелесообразным.

Для обеспечения равномерного прогрева термобокса стандартного АКБ с источником питания в 12 В необходимо использовать не менее 4 м греющего кабеля с сопротивлением 1 Ом/м. Мощность, выдаваемая кабелем, будет составлять 36 Вт, а температура нагрева – 42,3 °С.

Для обеспечения автономного электропитания термобокса необходимо использовать внешний источник с емкостью не менее 20 000 мА·ч (74 Вт·ч), что обеспечит не менее 2 ч прогрева термобокса при полной нагрузке. Для рационального расходования энергии источника питания необходимо термобокс оснастить датчиком температуры или таймером с регулировкой параметров включения (отключения) питания.

Для зарядки автономного источника питания термобокса можно использовать штатную электрическую сеть автомобиля, а также, учитывая его массо-геометрические характеристики, не составит большого труда извлечь переносной аккумулятор (типа Power Bank) для осуществления зарядки в домашних условиях.

УДК 621.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

В. И. СЁМЧЕН, А. Е. НАУМЕНКО, И. В. ЛЕСКОВЕЦ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Одной из задач при техническом диагностировании грузоподъемных кранов является оценка состояния рельсового подкранового пути. Диагностируемыми параметрами при этом являются колея – расстояние между осями рельсов, высота отметок головок рельсов, зазоры в стыках рельсов и прочие дефекты.

Традиционный подход проведения диагностирования предполагает участие в измерениях одного-двух диагностов и применение измерительных приборов и инструментов, например, в виде лазерного построителя плоскостей, оптических приборов (нивелира, теодолита, тахеометра), лазерного дальномера или измерительной рулетки, линейки, оснащенной при необходимости ловителем лазерного луча, а также экраном для лазерного луча.

При измерении колеи подкранового пути два диагноста перемещаются по галереям. При этом один диагност устанавливает экран по центру головки рельса, а второй – на противоположной галерее, устанавливая на головку рельса лазерный дальномер и направляя луч в экран, производит замер. В случае использования рулетки один из диагностов устанавливает начало ленты по центру головки рельса, а второй, натягивая ленту, производит замер.

В случае использования оптических приборов участие в измерениях принимают не менее двух диагностов, один из которых передвигается по галерее кранового пути, устанавливая линейку в заранее оговоренных точках, а второй с помощью прибора производит замер, определяя отметки на линейке. При измерении отметок уровня головок рельсов с использованием лазерных устройств строится лазерная плоскость и один диагност, двигаясь по галерее, устанавливает линейку на рельс, определяя положение луча на линейке.

При измерении зазоров в стыках рельсов и обнаружении других дефектов диагносту необходимо пройти всю галерею и выполнить наблюдения и измерения.

Практическое использование вышеописанных методов связано с рядом проблем. Первой и самой важной проблемой является безопасность проведения работ. Опыт проведения работ по диагностированию подкрановых путей показывает, что зачастую проходы по галереям надземного кранового пути не оснащены ограждениями со стороны пролета, не предусмотрены леера для крепления страховочных устройств, проходы на отдельных участках загромождены коммуникациями.

Второй проблемой является исполнение надземного кранового пути, когда проход по строительной конструкции не предусмотрен. Вследствие этого техническое диагностирование возможно только при передвижении диагностов на кране между точками измерения. При этом возможны существенные погрешно-

сти в измерении, связанные со смещением рельсов под действием массы крана в точках контакта рельсов с ходовыми колесами.

Третья проблема – достаточно высокая трудоемкость и большие затраты времени на диагностирование, особенно при большой длине кранового пути. Так, при длине пути 60...70 м один диагност успевает выполнить 50 %...80 % работ по диагностированию механизмов крана, в то время как два других диагноста проводят замеры подкранового пути.

Четвертой проблемой можно назвать дискретность получаемых при замерах данных. При соблюдении разумной трудоемкости фактически замеры проводят только в сечении колонн надземного кранового пути, что отражено в нормативной документации.

Перспективным направлением в повышении безопасности и производительности работ по техническому диагностированию кранов является внедрение средств механизации и автоматизации измерений. Помимо этого, такие средства позволят получать не дискретные данные, а полную информацию о колее и высотных отметках.

Предлагается конструкция автоматического измерительного устройства, выполненного в автономном или навешиваемом на кран варианте. В любом из случаев устройство включает две тележки, передвигающиеся по крановому рельсу и копирующие профиль кранового пути в вертикальной и горизонтальной проекции. Одна тележка оснащена приемным оптико-электронным устройством (предназначенным для обнаружения лазерного луча в вертикальной плоскости и записи полученных значений сигнала в память устройства) и экраном для лазерного измерителя дистанции в горизонтальной плоскости. Вторая тележка оснащена измерителем дистанции, «обстреливающим» мишень и записывающим полученные значения в память устройства. При использовании автономных тележек предусмотрено устройство, обеспечивающее синхронизацию их движения, для того чтобы в каждый момент времени измерения проводились в одном сечении. Перед началом измерений устанавливается начало отсчета и осуществляется измерение пройденного расстояния, которое в памяти устройства сопоставляется с проведенными измерениями. Монтаж предлагаемого устройства на кране выполняется с помощью кронштейнов, обеспечивающих движение тележек на удалении перед краном. Горизонтальная опорная лазерная плоскость задается отдельным лазерным построителем, установленным на строительных конструкциях неподвижно. По завершении измерений результат считывается из памяти при подключении к ЭВМ, автоматически обрабатывается и выводится в виде зависимости высотных отметок головок рельсов и колеи пути от пройденного расстояния.

В результате использования предлагаемого устройства снижаются трудоемкость и себестоимость, повышается безопасность проведения работ технического диагностирования, устраняется дискретность измерений и повышается точность результатов по сравнению с традиционными вариантами.

УДК 621.926

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА НА ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Л. Л. СОТНИК¹, К. С. ВИННИЧЕК¹, Л. А. СИВАЧЕНКО²¹Барановичский государственный университет

Барановичи, Беларусь

²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Теоретические исследования взаимодействия валков вибровалкового измельчителя с измельчаемым материалом показали, что величина эксцентриситета при создании вибраций является амплитудой колебаний. Помимо этого, изменение величины эксцентриситета изменяет сдвиговое деформирование материала в зоне нейтрального угла [1].

С целью поиска оптимального значения величины эксцентриситета проведены исследования процесса измельчения сильвинита. Результатом данных исследований являются графические зависимости приведенной производительности $Q_{пр}$, потребляемой мощности привода N , степени измельчения $E_{изм}$, удельной энергоемкости q от величины эксцентриситета e . Зависимости представлены в виде $Q_{пр}, N, E_{изм} = f(e)$ и $q = f(Q_{пр}, N)$ (рис. 1).

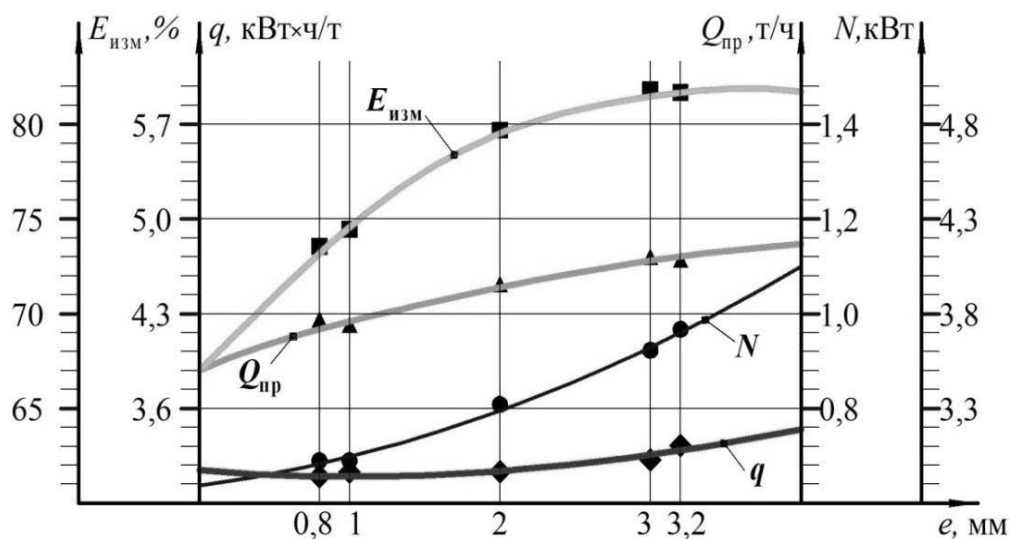


Рис. 1. Влияние величины эксцентриситета e , мм, на $E_{изм}$, q , $Q_{пр}$, N (материал сильвинит, $b_{ср} = 4 \cdot 10^{-3}$ м; $k_v = 0,8$; $n_{эк} = 1500$ об / мин)

Согласно графическим зависимостям, изменение величины эксцентриситета e меняет качественные и количественные параметры процесса измельчения. Так, при увеличении величины эксцентриситета от 1 до 3 мм происходит изменение параметров процесса:

- степень измельчения возрастает на 9,6 %;
- приведенная производительность возрастает на 13 %.

Возникающие в процессе работы вибровалкового измельчителя сдвиговые деформации увеличивают потребляемую мощность на 19 % за счет совершения большей работы для дезинтеграции материала.

Увеличение потребляемой мощности приводит к росту удельного расхода электроэнергии, затрачиваемой на осуществление процесса измельчения на 5,3 %.

Значимое влияние изменение величины эксцентриситета e оказывает на сильвинит за счет анизотропии текстуры исходного материала.

Не менее значимой характеристикой измельчения материала является величина тонкости помола, характеризующая остатком на сите с соответствующей ячейкой (рис. 2).

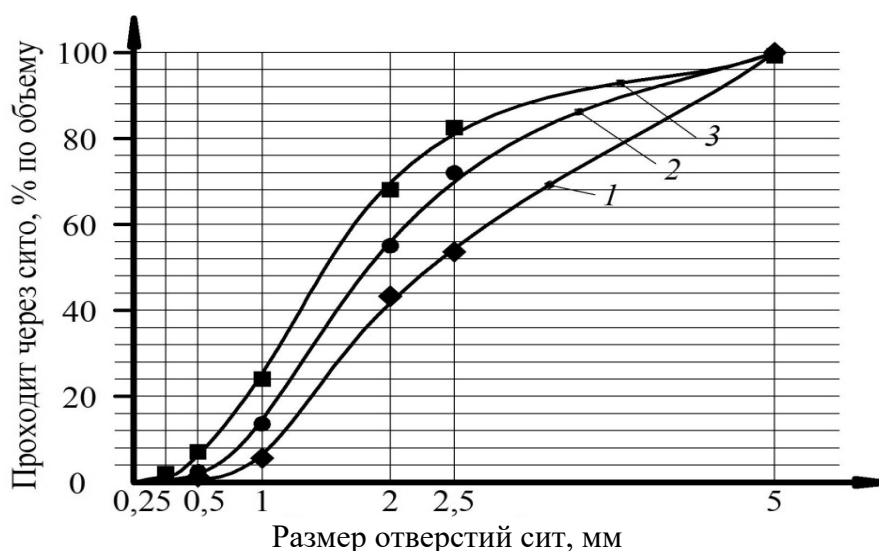


Рис. 2. Влияние величины эксцентриситета e на качественный показатель процесса R : 1 — $e = 1 \cdot 10^{-3}$ м; 2 — $e = 2 \cdot 10^{-3}$ м; 3 — $e = 3 \cdot 10^{-3}$ м

При варьировании величиной эксцентриситета от 1 до 3 мм остаток на ситах меняется следующим образом (см. рис. 2): на сите $R_{2,5}$ уменьшается на 60 %; R_1 — на 18,3 %; $R_{0,5}$ — на 6,1 %.

Выводы:

- применение вибровалкового измельчителя позволяет реализовать объемно-сдвиговое деформирование измельчаемых материалов;
- изменение величины эксцентриситета в диапазоне от 1 до 3 мм приводит к повышению эффективности измельчения материалов за счет увеличения объемно-сдвигового деформирования частиц [1, 2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия / Под ред. Л. А. Сиваченко. — Барановичи : БарГУ, 2020. — 359 с.
2. Сотник, Л. Л. Сравнительный анализ процесса дробления сильвинитовой руды в вибровалковом измельчителе на различных режимах / Л. Л. Сотник, Л. А. Сиваченко // Тр. БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнология, геоэкология. — 2020. — № 2. — С. 76–81.

УДК 621.929

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СМЕСИТЕЛЯ С ВОЛНОВОЙ РАБОЧЕЙ КАМЕРОЙ

Ю. М. ХАРИТОНОВ, М. С. КУЗЬМЕНКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Известно много конструкций аппаратов, которые используются для смешивания различных материалов и сред. Их развитие идёт, прежде всего, по пути повышения качества получаемых смесей, упрощения конструкций и снижения эксплуатационных расходов. Одним из новых видов смесительных машин является смеситель с деформируемой гибкой волновой рабочей камерой [1]. Его главным недостатком можно считать отсутствие в смесительном пространстве дополнительных интенсификаторов процесса.

С целью повышения интенсивности процесса смешивания и расширения потенциала этого класса оборудования нами предложено использовать цепные интенсификаторы. Схема выполнения такого устройства приведена на рис. 1, где на крышке 1 рабочей камеры 2 над волновой поверхностью смонтированы отрезки цепей 3, которые приводятся в колебательное движение под действием деформации стенок рабочей камеры и движения обрабатываемого материала. Колебания рабочей камеры 2 создаёт шатун 4, вторая стенка которого связана с амортизатором 5.

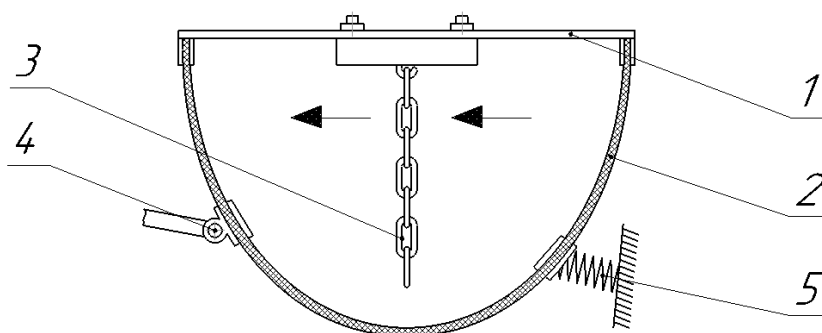


Рис. 1. Смеситель с волновой рабочей камерой

Аналогичные функции цепные интенсификаторы могут выполнять в цепных многоцелевых агрегатах и волновых грохотах, у которых рабочие поверхности являются кинематически деформируемыми [2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харитонов, Ю. М. Смеситель принудительного действия с деформируемой рабочей камерой / Ю. М. Харитонов, Л. А. Сиваченко. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021.
2. Потапов, В. А. Рабочее оборудование цепного агрегата для переработки сложных и неоднородных материалов / В. А. Потапов, Л. А. Сиваченко, М. С. Кузьменкова. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2019.

УДК 621.926.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУЙНОЙ МЕЛЬНИЦЫ С ПЛОСКОЙ ПОМОЛЬНОЙ КАМЕРОЙ ТОРООБРАЗНОЙ ФОРМЫ

Е. Г. ШЕМЕТОВ, В. Г. ДМИТРИЕНКО, Е. А. ПИВОВАРОВ

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Целью экспериментальных исследований ставилась задача определить рациональные, конструктивные и режимные параметры работы струйной мельницы с плоской помольной камерой торообразной формы, при которых с минимальными энергетическими затратами обеспечивалось максимальное качество (дисперсность готового продукта) [1].

Наиболее существенными факторами, влияющими на эффективность процесса измельчения, являются давление и объем сжатого воздуха, число оборотов ротора сепаратора, расстояние от конца разгонной трубки до отбойной плиты, расстояние захода выходного патрубка в камеру помола. Диаметр камеры существенным образом влияет в целом на эффективность процесса измельчения: тонкость помола и удельную поверхность готового продукта; кратность циркуляции измельчаемого материала; удельный расход энергоносителя (сжатого воздуха в нашем случае) [2].

С целью создания лабораторной установки было проведено компьютерное моделирование с использованием программного продукта SolidWorks. Основываясь на теоретических исследованиях двухфазного потока на выходе из разгонной трубки в камеру помола и поведение в ней частиц (соударение об отбойную плиту и взаимодействие со стенкой камеры помола), а также исследования граничных условий для выхода частиц в патрубок отвода продуктов помола для создания модели, были приняты исходные данные: диаметр сопла энергоносителя, диаметр и длина вертикальной разгонной трубки, расстояние от среза вертикальной разгонной трубки до отбойной плиты, высота и диаметр камеры помола, площадь поперечного сечения патрубка отвода продуктов помола из помольной камеры и давление рабочего энергоносителя на выходе из сопла [3].

В ходе работы была построена электронно-цифровая модель блока помола струйной мельницы и проведено компьютерное моделирование потоков воздуха в камере помола. С помощью исследования потоков воздуха электронно-цифровой модели струйного помольного устройства в программном продукте САЕ мы получили зависимость скорости потока от давления воздуха на выходе из сопла $v = f(P, H)$, представленной на рис. 1.

При увеличении давления энергоносителя износ камеры происходит по окружности. Это говорит о том, что материал равномерно измельчается по всей камере помола и износ происходит равномерно.

Проведена зависимость скорости потока от высоты камеры $v = f(P, H)$ (рис. 2).

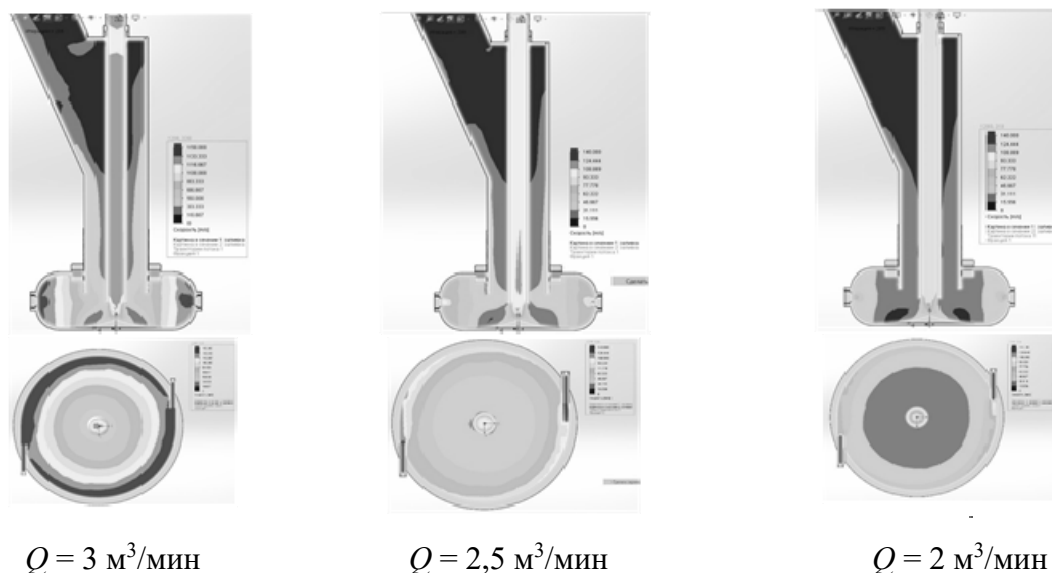


Рис. 1. Зависимость скорости потока от давления воздуха на выходе из сопла

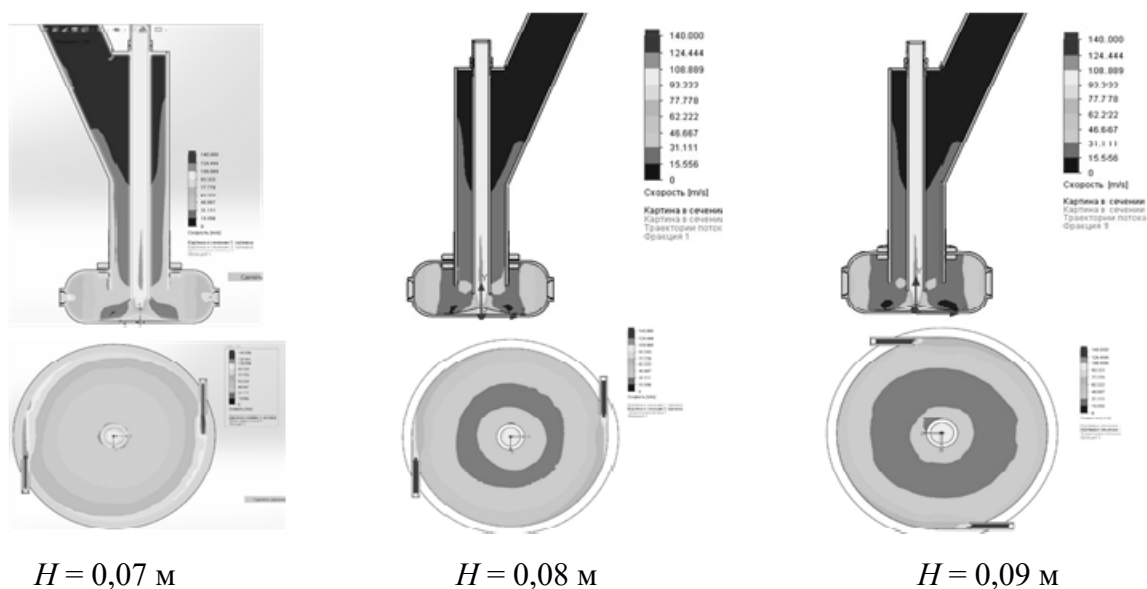


Рис. 2. Зависимость скорости потока от высоты камеры

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков, В. П. Расчетно-экспериментальное исследование процессов измельчения материалов в струйной мельнице / В. П. Жуков // Изв. вузов. Сер. Химия и химическая технология. – 2002. – Т. 15, № 4. – С. 157–159.
2. Шеметов, Е. Г. Использование в учебном процессе CAD-системы SOLIDWORKS на примере проектирования струйной мельницы с плоской помольной камерой / Е. Г. Шеметов // Молодежь и научно-технический прогресс: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2018. – С. 100–102.
3. Шеметов, Е. Г. Численное моделирование процессов, происходящих в струйной мельнице с плоской помольной камерой / Е. Г. Шеметов // Машины, агрегаты и процессы в строительной индустрии: материалы нац. конф., посвящ. 50-летию кафедры механического оборудования БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2020. – С. 38–42.

УДК 621.926.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПНЕВМОСМЕСИТЕЛЯ
СО СПИРАЛЬНОЙ ЭНЕРГОНЕСУЩЕЙ ТРУБКОЙ

О. М. ШЕМЕТОВА, Ю. М. ФАДИН

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Для определения качества смеси после технологического процесса смешения в пневмосмесителе со спиральной энергонесущей трубкой необходимо проведение исследований в лабораторных условиях, в результате которых можно будет определить технологические и эксплуатационные характеристики [1].

Обозначим цели проведения экспериментов:

- определение соответствия теоретических расчетов с реальными результатами, полученными опытным путем;
- соответствие процесса смешения в лабораторной установке пневмосмесителя с действительным процессом смешения сухих материалов;
- определение конструктивных параметров пневмосмесителя по результатам проведения экспериментов [2].

Исходя из предлагаемой конструкции пневмосмесителя со спиральной энергонесущей трубкой, наиболее существенными факторами, влияющими на эффективное смешивание, являются: часовая производительность Q , кг/ч; однородность распределения компонентов V_c , %; предел прочности на сжатие образцов $\delta_{сж}$, МПа.

Основываясь на теоретических исследованиях смешивания двухфазного потока в камере смешения и поведение в ней частиц (движение потока в камере смешения), а также исследования граничных условий, влияющих на процесс смешения для создания модели, были приняты исходные данные: коэффициент загрузки; расстояние между витками спирали; количество отверстий на спирали; давление в камере смешения.

Во время проведения исследовательской работы была построена электронно-цифровая модель пневмосмесителя со спиральной энергонесущей трубкой и проведено компьютерное моделирование потоков воздуха в камере смешения. Опыт показывает, что для грамотного построения электронно-цифровой модели пневмосмесителя со спиральной энергонесущей трубкой и качественного исследования потоков энергоносителя со смешиваемым материалом в камере смешения целесообразно использовать программный продукт от компании Dassault Systemes CAD-/CAE-систему SolidWorks. В сравнении с аналогичными программами, SolidWorks имеет более простой интерфейс. Данная программа позволяет производить моделирование рабочей установки и последующий расчет необходимых при эксплуатации параметров, таких как направление движения потока, скорость в каждой точке, температура потока и материала и т. д. [3–5].

С помощью исследования потоков воздуха электронно-цифровой модели пневмосмесителя со спиральной энергонесущей трубкой в программном про-

дукте САЕ мы получили зависимость скорости потока от давления воздуха на выходе из сопла $v = f(P, k_z, n, h)$, представленную на рис. 1.

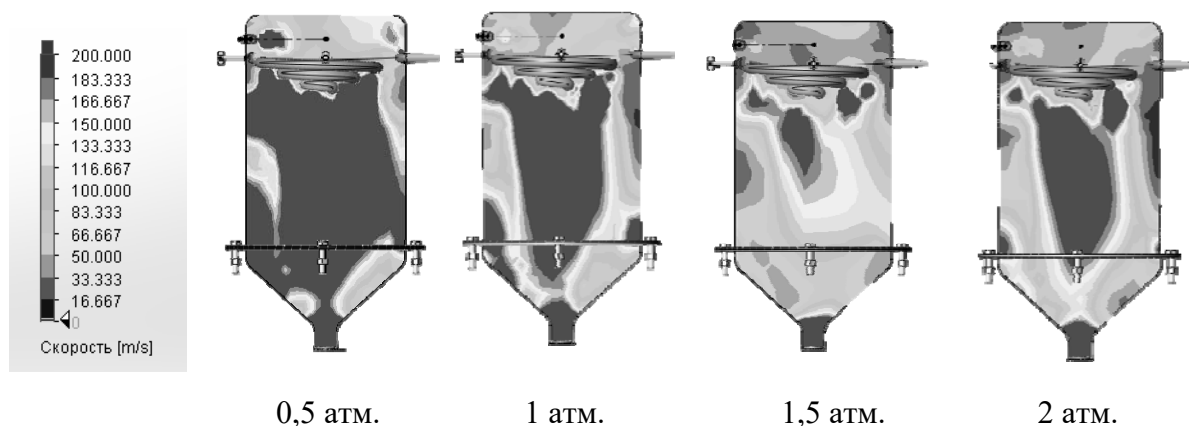


Рис. 1. Зависимость скорости потока от давления воздуха на выходе из сопла

Проведена зависимость скорости потока от количества отверстий на спирали $v = f(P, k_z, n, h)$ (рис. 2).

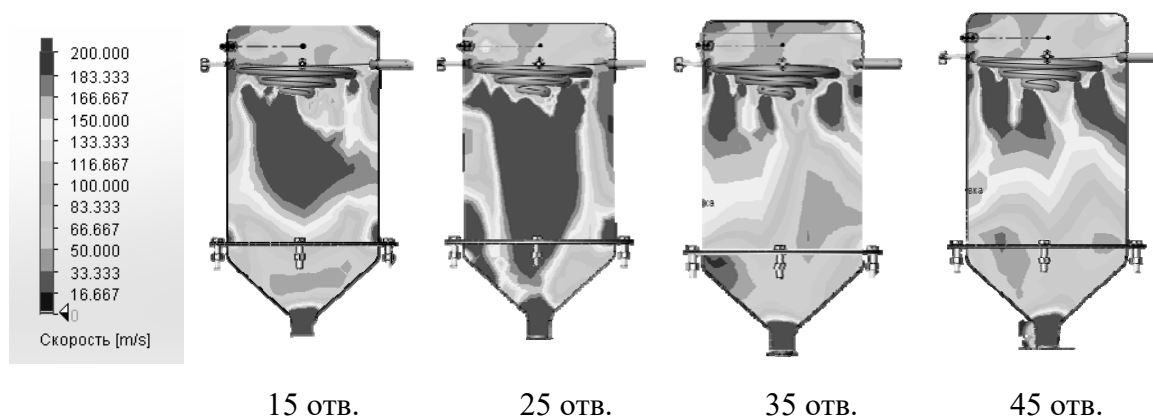


Рис. 2. Зависимость скорости потока от количества отверстий на спирали

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Корнеев, В. И.** Сухие строительные смеси / В. И. Корнеев. – Москва: Стройматериалы, 2010. – 320 с.
2. **Денисов, Г. А.** Производство и использование сухих строительных смесей / Г. А. Денисов // Сухие строительные смеси. – 2011. – № 1. – С. 14–18.
3. **Шеметова, О. М.** Сухие строительные смеси и смесительное оборудование для их производства / О. М. Шеметова, Ю. М. Фадин // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В. Г. Шухова. – 2020. – № 12. – С. 145–150.
4. **Фадин, Ю. М.** Применение пневматических смесителей в строительстве / Ю. М. Фадин, О. М. Шеметова // Механизация и автоматизация строительства. – 2020. – С. 250–254.
5. **Шеметова, О. М.** Анализ технических средств для смешения сухих строительных смесей / О. М. Шеметова, Ю. М. Фадин // Машины, агрегаты и процессы в строительной индустрии: материалы нац. конф., посвящ. 50-летию кафедры механического оборудования БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2020. – С. 148–151.

УДК 621.926.34

СЕЛЕКТИВНОСТЬ ВЫГРУЗКИ ДЛЯ СМЕСИТЕЛЯ С ДВУНАПРАВЛЕННЫМ ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА МАТЕРИАЛ

К. А. ЮДИН

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Для перемешивания материалов инновационным подходом является использование двунаправленного вращательного воздействия на материал. Реализация такого воздействия предлагается для смесителя со сферической смесительной камерой, особенности работы которого описаны в [1–3]. В этом случае воздействие на материал осуществляется в двух взаимно перпендикулярных направлениях, что приводит к повышению интенсивности перемешивания частиц. С одной стороны, центробежные силы обусловлены вращением водила с закрепленной на нём смесительной камерой относительно горизонтальной оси. С другой стороны, воздействие обусловлено вращением собственно сферической смесительной камеры относительно оси, взаимно перпендикулярной исходной горизонтальной оси. Суперпозиция сил заставляет частицы материала перемещаться по сложной траектории.

Для загрузки-выгрузки материала предусмотрен люк. Камера размещена на водиле и вращается посредством передач вращения. Водило опирается на стойки, на одной из которых закреплен фиксатор. Люк выполнен в виде короба, на внутренних противоположных стенках которого закреплены салазки с возможностью перемещения по ним пластины. В рабочем состоянии устройства для перемешивания материалов (рис. 1) пластина может быть выполнена сплошной. Для загрузки и выгрузки материалов применяют сетчатую пластину.

При отключении электропитания (на рисунке не показано) водило со смесительной камерой останавливается и фиксируется фиксатором. Для осуществления селективности выгрузки материала следует отжать стопировщик и вытянуть сплошную пластину, затем установить сетчатую пластину. Сетчатая пластина фиксируется стопировщиком и происходит выгрузка материала.

Вариативность использования сетчатых пластин или сит трапецеидальной формы с требуемым размером ячейки позволит организовать селективную загрузку и выгрузку материала. Кроме того, использование таких элементов позволит ограничить выход не перемешанных частиц (скопления частиц), т. е. осуществить классификацию.

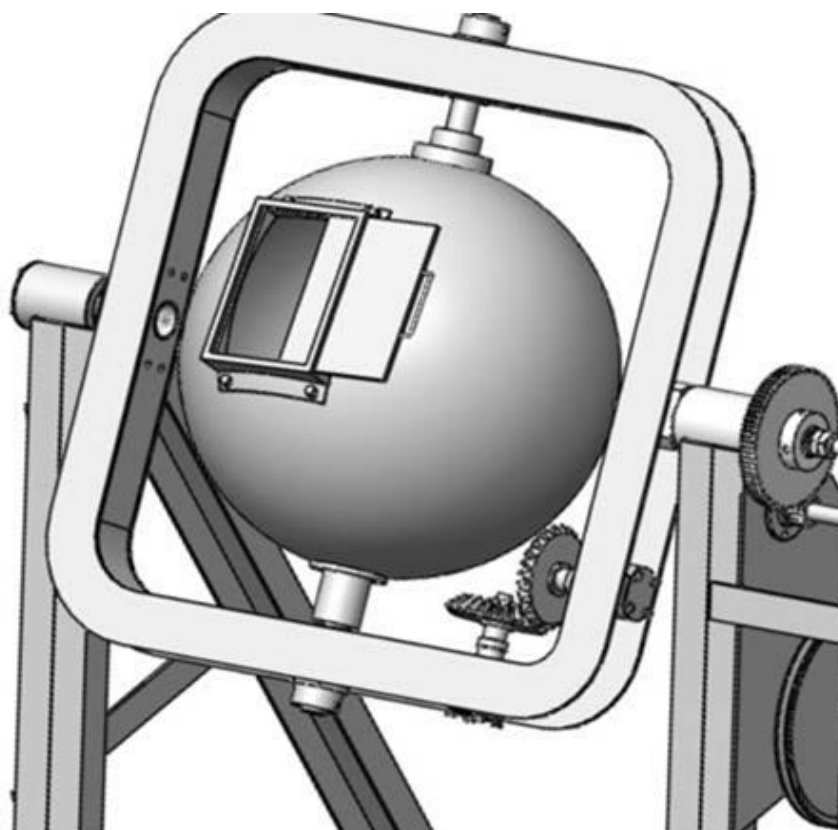


Рис. 1. Устройство для перемешивания материалов

В качестве варианта практического применения смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на смешиваемый материал может выступить смеситель с возможностью перемещения посредством подвижного портала, используемый при производстве газосиликатных изделий. Кроме того, предлагается применение смесителя в малотоннажном производстве для получения сухих строительных смесей или для линий лакокраски.

Предлагаемое решение позволит обеспечить селективность загрузки и выгрузки материала, что приведет к повышению эффективности при перемешивании в смесителе с двунаправленным вращательным воздействием на материал в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Юдин, К. А.** Особенности моделирования приводного узла смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал / К. А. Юдин, А. А. Погосбеков // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В. Г. Шухова. – 2020. – № 4. – С. 101–108.
2. Устройство для перемешивания материалов: полез. модель RU 174442 / К. А. Юдин, И. А. Семикопенко, Ю. М. Фадин. – Опубл. 13.10.2017.
3. **Yudin, K. A.** Movement of materials in gyroscopic-type mixer Proceedings of the International Conference «Actual Issues of Mechanical Engineering» / K. A. Yudin, A. N. Degtyar, V. S. Bogdanov. – 2017.

УДК 621.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТЕРИАЛЬНОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЦПГ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДВС

А. С. ВОРОНИН, В. А. СЕНИЦЫН

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
Барнаул, Россия

Теплонапряжённость ЦПГ является понятием очень ёмким и сложным. Это понятие может быть отнесено к отдельной детали, или же к её части, либо ко всему двигателю.

Во время работы двигателя наиболее значительным тепловым нагрузкам подвергаются поршни, головки блока цилиндров, гильзы и клапаны.

Наметившиеся тенденции увеличения цилиндрических мощностей дизелей приводят к тому, что термические напряжения на деталях ЦПГ значительно увеличиваются. Поэтому вопрос оценки теплового режима работы этих деталей крайне актуален для двигателестроения.

При проектировании ДВС возникают две противоположные задачи:

1) уменьшение отвода теплоты от рабочего тела в целях снижения потерь в рабочем цикле (теплоизоляция детали);

2) обеспечение необходимого охлаждения деталей ЦПГ для их защиты от высокотемпературного воздействия со стороны рабочего тела, что, безусловно, приводит к уменьшению КПД ДВС (интенсификация теплоотвода).

Предварительная оценка и последующее регулирование теплонапряженности деталей ЦПГ является одной из главных задач современного двигателестроения.

В расчетной практике двигателестроения наряду с различными расчетными методами достаточно широко применяется критериальный метод оценки теплонапряженности деталей ЦПГ, который позволяет с наименьшими затратами оценить уровень теплонапряженности деталей.

Принципиальная возможность появления критериев основана на подобном характере изменения температур сходственных деталей двигателей самого различного типа в зависимости от нагрузки, частоты вращения, давления наддува и других параметров [1, 2].

Более универсальным является критерий проф. А. К. Костина, пропорциональный тепловому потоку через днище поршня дизеля, позволяющий оценивать в условных единицах теплонапряженность поршня (и в значительной мере других деталей) в зависимости от параметров рабочего процесса и режимов работы двигателей [3]:

$$q_n = b_n \cdot C_m^{0,5} \cdot \left(\frac{D}{\eta_v \cdot \rho_k} \right)^{0,38} \cdot \left(P_e \cdot g_e \cdot \frac{T_k}{T_0} \right)^{0,88},$$

где b – коэффициент (для четырехтактных ДВС $b = 1$); C_m – средняя скорость

поршня, м/с; D – диаметр цилиндра, дм; η_v – коэффициент наполнения; P_k, T_k – давление, кг/см², и температура воздуха, К, перед впускными органами; $T_o = 298$ К; P_e – среднее эффективное давление, кг/см²; g_e – удельный эффективный расход топлива, кг/(л. с.·ч).

Температура поршня изменяется пропорционально критерию q_n :

$$t_n = t_{охл} + 103 \cdot a \cdot q_n,$$

где a – коэффициент ($a = 0,25 \dots 0,35$ – для поршней из материала с высокой теплопроводностью и охлаждаемых поршней; $a = 1$ – для центра днища чугунного неохлаждаемого поршня дизеля); $t_{охл}$ – температура охлаждающей жидкости (масла).

В большом диапазоне изменения P_e температура поршня изменяется по закономерностям, близким к линейным [2], и имеет вид:

$$t = a + b \cdot P_e.$$

Для оценки теплового состояния поршня двигателя УТД-29 был разработан собственный критерий теплонапряженности t_n :

$$t_n = 271,096 - 7,044 \cdot P_e.$$

Также были проведены необходимые расчеты, анализ которых позволил предложить варианты форсирования данного двигателя до расчетных значений без конструктивных изменений поршня (рис. 1).

	Ne, л.с	Me, Нм	Pe, кг/см2	qп	tn, °C
Ne max. n=2600 мин ⁻¹	450	1214,87	5,879	4,52	229,68
Ne1 max. (+100л.с.) n=2600 мин ⁻¹	550	1484	7,18	5,39	266
Ne2 max. (+150л.с.) n=2600 мин ⁻¹	600	1619	7,84	5,82	280
Увеличение параметра, %	18-25	18-25	18-25	16-22	13-18

Рис. 1. Расчетные значения t_n при форсировании двигателя

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Нечаев, Л. В.** Температурное состояние деталей ДВС и его регулирование: учебное пособие / Л. В. Нечаев, В. А. Сеницын. – 2-е изд., доп. и перераб. – Барнаул: АлтГТУ, 2001. – 152 с.: ил.
2. **Сеницын, В. А.** Косвенные критерии теплового состояния деталей ЦПГ двигателей внутреннего сгорания / В. А. Сеницын, Л. В. Нечаев // Ползуновский альманах. – 2009. – № 4. – С. 107–112.
3. **Костин, А. К.** Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания / А. К. Костин, В. В. Ларионов, Л. И. Михайлов. – Ленинград: Машиностроение, 1979. – 222 с.

УДК 629.113.004

МЕТОДИКА ВЫБОРА ГАРАЖНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕГО КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ

Н. А. КОВАЛЕНКО, Е. П. КЛЕПЧА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Для выполнения технического обслуживания и ремонта автомобилей в условиях автотранспортных и автосервисных организаций требуется достаточно широкий спектр гаражного оборудования: моечно-очистительного, контрольно-диагностического, подъемно-осмотрового, подъемно-транспортного, разборочно-сборочного, смазочно-заправочного, шинного и окрасочного.

Производители гаражного оборудования предлагают его широкий спектр, классифицирующийся в зависимости от типа обслуживаемых или ремонтируемых автомобилей, стоимости приобретения, производительности, массовых и геометрических характеристик, надежности, затрат на эксплуатацию и т. д. Поэтому его выбор для конкретной организации бывает достаточно затруднительным, поскольку практически отсутствуют методики комплексной оценки. Кроме того, каждый из видов оборудования имеет свой набор характеристик. Это, во-первых, общие, такие как стоимость, массово-геометрические параметры, надежность, степень механизации или автоматизации, производительность, а во-вторых, частные, свойственные только данному виду гаражного оборудования. Например, моечные установки в общем характеризуются универсальностью, стоимостью, массой, габаритами, производительностью, надежностью, эргономичностью и, в частности, количеством затрачиваемой воды на одну мойку, эффективностью очистки воды после мойки и т. п. Диагностическое – в общем универсальностью, стоимостью, массой, габаритами, производительностью, надежностью, эргономичностью и, в частности, информативностью, точностью и стабильностью измерений, пригодностью к поэлементному диагностированию и т. п.

Как видно, набор характеристик можно разделить на экономические и технические. Поэтому выбор наиболее эффективной модели оборудования следует осуществлять по комплексному технико-экономическому показателю, поскольку если выбор будет сделан по одному или нескольким важным (по мнению специалистов по закупке) показателям, то в процессе эксплуатации могут быть выявлены его недостатки, сводящие на нет все преимущества важных.

В качестве такого комплексного технико-экономического показателя предлагаются суммарные удельные годовые затраты на одно техническое воздействие:

$$C_{zi} = \frac{1}{N_{TBi}} (C_{npi} + C_{эки} + E_n \cdot K_{vi}),$$

где N_{TBi} – число проводимых технических воздействий на i -й модели оборудования за год; C_{npi} – потери дохода, связанные с простоем автомобиля при выполнении воздействий за год на i -й модели оборудования; $C_{эки}$ – годовые затраты на содержание i -й модели оборудования; E_n – нормативный коэффициент капвложений, $E_n = 0,13...0,15$; K_{vi} – капитальные вложения на приобретение i -й модели оборудования.

Как видно, данный показатель учитывает экономические показатели, рассчитанные с использованием технических характеристик оборудования. Так, число проводимых технических воздействий на i -й модели оборудования за год $N_{оби}$ характеризует не только его производительность (или трудоемкость работ), но и степень его загрузки, определяемой возможным поступлением объектов технических воздействий. Это позволяет учесть списочное количество обслуживаемых автомобилей, их разномарочность, а соответственно, и универсальность выбранной модели оборудования.

Потери дохода, связанные с простоем автомобиля при выполнении воздействий за год на i -й модели оборудования, также характеризуют его производительность, но, кроме того, учитывают и обслуживаемые модели транспортных средств. Понятно, что потери дохода за 1 ч простоя магистрального тягача и легкового автомобиля будут существенно отличаться.

При определении годовых затрат на содержание i -й модели оборудования учитывается зарплата ремонтных рабочих при их работе на i -й модели оборудования (зависит от квалификации рабочих и трудоемкости технического воздействия, что будет зависеть от степени механизации или автоматизации i -й модели оборудования) и затраты на содержание рабочих мест или постов при использовании i -й модели оборудования. В свою очередь, затраты на содержание включают амортизационные отчисления на ремонт и замену i -й модели оборудования (характеризуют его надежность) и эксплуатационные затраты на электроэнергию, воду, тепло, сжатый воздух и др. (т. е. характеризуют его экономичность при эксплуатации).

Капитальные затраты определяются суммой стоимостей приобретения и монтажа i -й модели оборудования, а также (возможно) стоимостью строительства производственной площади для его размещения. Таким образом, учитываются и массово-геометрические характеристики оборудования.

При использовании данной методики первоначально следует выбрать несколько моделей интересующего оборудования, удовлетворяющих важным с позиций эксплуатации требованиям, и произвести для каждой i -й модели расчет комплексного технико-экономического показателя – суммарных удельных затрат на одно техническое воздействие. Минимальная сумма затрат будет соответствовать оптимальной модели оборудования.

УДК 629.113

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА

В. П. ЛОБАХ, А. С. СЛИВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Эффективность работы автомобиля зависит от его скоростных свойств и определяется она, в том числе, и частотой вращения валов, колес и т. д. Их частоту вращения измеряют в процессе работы автомобиля и передают в систему управления движением. Кроме того, частоту вращения используют при диагностировании автомобиля и его агрегатов.

Для измерения частоты вращения необходим прибор, обладающий простотой, дешевизной, надежностью и точностью. Важнейшей его характеристикой является статическая, т. е. зависимость выходного напряжения от частоты вращения вала, которая должна быть линейной.

На рис. 1 представлена электрическая схема разработанного прибора частоты вращения.

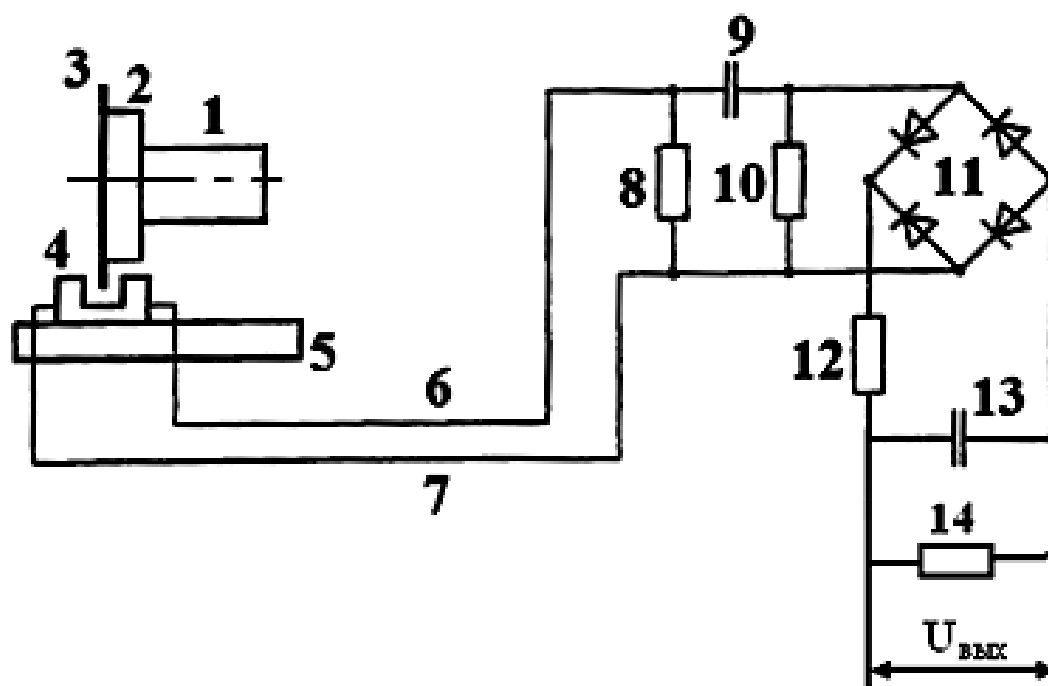


Рис. 1. Схема прибора частоты вращения вала: 1 – вал; 2 – шкив; 3 – металлический диск с выступами и впадинами; 4 – преобразователь ПИЩ-6; 5 – кронштейн; 6, 7 – провода; 8, 10, 12, 14 – резисторы; 9, 13 – конденсаторы; 11 – выпрямитель

Работает прибор следующим образом. При периодическом вхождении выступов и впадин диска 3 в зазор преобразователя 4 (см. рис. 1) формируются импульсы в виде прямоугольников одинаковой высоты (рис. 2). С увеличением

частоты вращения вала длительность импульсов уменьшается в 2 раза, а частота следования импульсов возрастает в 2 раза (см. рис. 2, а, б).

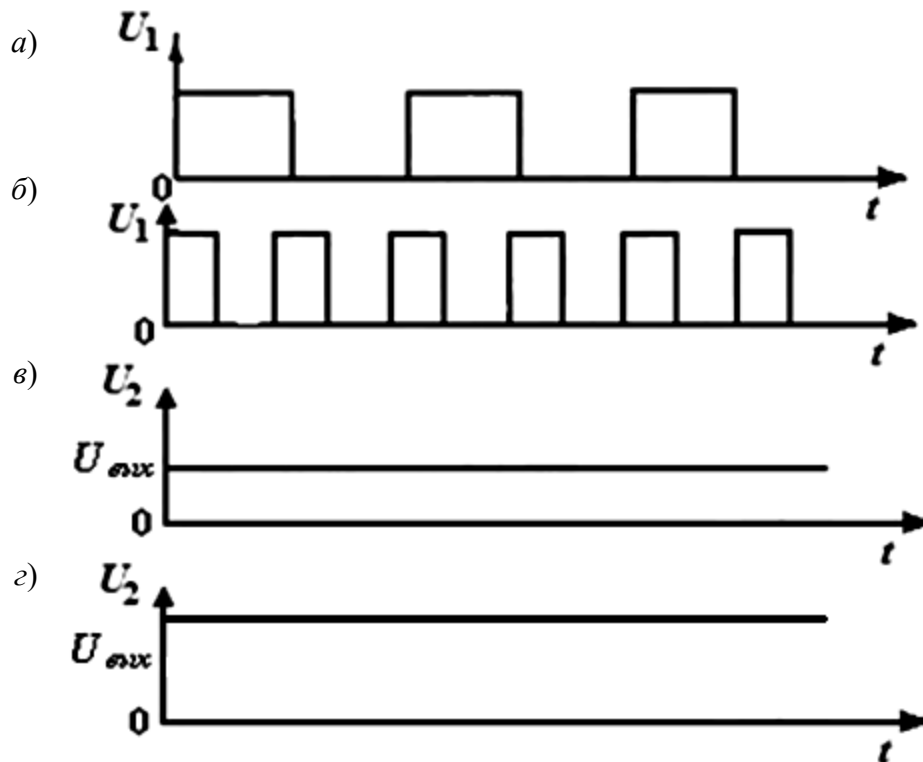


Рис. 2. Графики сигналов в цепях прибора частоты вращения

Прямоугольные импульсы с резистора 8 поступают на дифференцирующую цепь, состоящую из конденсатора 9 и резистора 10. На резисторе 10 (выходе дифференцирующей цепи) возникают экспоненциальные импульсы напряжения, называемые переходной характеристикой, определяемые по формуле

$$u_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot e^{-\frac{t}{T}}, \quad (1)$$

где e – основание натурального логарифма, $e = 2,72$; T – постоянная времени, с; $U_{\text{вх}}$ – высота прямоугольного импульса напряжения, В.

После выпрямителя 11 импульсы становятся однополярными. Далее интегрированием с помощью интегрирующей цепи, состоящей из резистора 12 и конденсатора 13, на резисторе 14 нагрузки возникает непрерывный аналоговый сигнал (см. рис. 2, в, г), пропорциональный частоте вращения вала, который подается на осциллограф или другой измерительный прибор.

Таким образом, графики, изображенные на рис. 2, а, в, соответствуют одной частоте вращения вала, а графики на рис. 2, б, г – другой.

С целью проверки работоспособности прибора измерения частоты вращения вала и пропорциональности его показаний были проведены экспериментальные исследования, которые подтвердили его работоспособность и линейность характеристики.

УДК 629.33

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПО ЗАМЕНЕ АВТОСТЕКЛ АВТОМОБИЛЕЙ

Ю. В. МАЛАХОВСКАЯ, В. Д. РОГОЖИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В период эксплуатации автомобилей износ автостекла неизбежен и последующая их замена нацелена на устранение таких дефектов, как нарушение геометрии, потеря цвета, появившиеся сколы и трещины от внешних механических воздействий, потертости от регулярного контакта со щетками стеклоочистителей и др. [1]. На современном автомобиле автостекло – это в первую очередь начальная и конечная точка в системе активной безопасности и помощи водителю, так называемой ADAS (Advanced Driver Assistance System), и только во вторую – именно стекло [2, 3]. Так, на лобовом автомобильном стекле и непосредственно за ним расположены датчики, предназначенные для повышения комфорта и безопасности движения (датчики света и дождя, движения по полосам; проекции приборов на лобовое или боковое стекла; системы обогрева зоны дворников или всей поверхности стекла; навигационные антенны; радиоантенны и т. п.).

При замене на современном легковом автомобиле автостекла необходимо учитывать перечисленные особенности его конструкции и использовать комплексный метод при составлении технологического процесса, в котором должны выполняться следующие основные этапы: определение дефектов стекла, однозначно указывающих на его замену; определение расположения и подключения датчиков, входящих в систему ADAS; выполнение подготовительных операций по демонтажу дефектного стекла; демонтаж дефектного стекла и подготовка кузова автомобиля к установке нового стекла; подготовка стекла к установке и выбор материалов для его фиксации после установки в рамку; установка стекла и подключение электронного оборудования к системе электрооборудования автомобиля. Проведение калибровки подключенных датчиков в системе ADAS; выполнение заключительных операций по проверке работоспособности электронного оборудования, входящего в систему ADAS; установка и монтаж декоративных элементов кузова автомобиля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Режим доступа: <https://avtokristall.ru/oem.php>.
2. Режим доступа: http://as-auto.info/car_glass.
3. Режим доступа: <https://www.drive2.ru/b/504008434664866095/>.

УДК 62-592.117

ОСОБЕННОСТИ ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ

А. А. МЕЛЬНИКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Применение перспективных конструкционных решений при проектировании дисковых механизмов направлено на снижение рабочей температуры механизма, температурных напряжений, массы, улучшение рабочих показателей. Новые топологии тормозного механизма и применяемые композитные материалы требуют более подробного исследования механических напряжений в отличие от традиционных конструкционных материалов [1]. По предлагаемой методике оценки прочностных характеристик перспективных тормозных механизмов производятся испытания тормозного диска на нормальные напряжения и напряжение сдвига с использованием двухосевых тензорезисторов, позволяющих измерить напряжения в различных частях механизма. Стендовые экспериментальные испытания проводятся при приложении крутящего момента к диску и одновременной активации тормозного механизма. Показания датчиков преобразуются в искомые величины при известных параметрах материала механизма. Испытания следует провести не менее чем в 14 положениях тормозного диска. По результатам исследования, для заключения о достаточном сопротивлении тормозного диска возникающим напряжениям и отсутствию деформаций, нормальные напряжения должны быть распределены симметрично относительно точки контакта диска с тормозными колодками и не превышать предел прочности. При этом напряжения растяжения должны составлять не более 6 %...9 % от соответствующих напряжений сжатия. Высокие показания напряжений растяжения нежелательны и могут свидетельствовать о превышении допустимой площади тормозных колодок. Напряжения сдвига после тормозной колодки по направлению вращения диска должны превышать таковые до тормозной колодки в 2–3 раза. В точке приложения тормозной силы, равно как и на противоположной стороне тормозного диска, напряжения сдвига должны быть минимальны. Сформулированная методика позволяет оценить прочностные характеристики дискового тормозного механизма в режиме экстренного торможения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников, А. С. Требования при разработке тормозного механизма для двухколесной мобильной машины / А. С. Мельников, А. А. Мельников // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 224.

УДК 629.113

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСКОВОГО ТОРМОЗНОГО
МЕХАНИЗМА С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

А. А. МЕЛЬНИКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При рассмотрении повышения эффективности тормозного механизма с гидравлическим приводом необходимо рассматривать два возможных направления. Первое направление включает в себя выбор и обоснование параметров тормозного механизма, касающихся конструкции самого тормозного механизма: диаметр тормозного диска, определяющий радиус трения, конструкция тормозной скобы, форма тормозных колодок, материал тормозных накладок и т. д. Другим направлением является повышение усилия, создаваемого гидравлическим приводом, который, как известно, включает главный тормозной цилиндр, усилитель или гидравлический насос, и исполнительный тормозной цилиндр. Повышения усилия, создаваемого приводом, можно достичь путем повышения давления в приводе, при этом давление ограничивается прочностью тормозных шлангов и уплотнений, кроме того, влечет за собой изменения в усилителе или гидравлическом насосе либо в главном тормозном цилиндре. В связи с этим актуальным направлением решения проблемы повышения усилия, создаваемого приводом, а соответственно, эффективности тормозного механизма является повышение усилия, развиваемого гидроцилиндром, путем обоснования конструкции и параметров гидроцилиндра. По результатам работы обоснованы конструкция и параметры поршня гидравлического цилиндра, рабочей камеры гидроцилиндра и системы подачи рабочей жидкости в камеру гидроцилиндра. Это позволяет осуществлять рациональное использование площади поршня в поперечном сечении при рабочем ходе поршня, максимально эффективно использовать давление в приводе вследствие обоснования новых параметров рабочей камеры гидроцилиндра, а разработанная система подачи рабочей жидкости в камеру гидроцилиндра дает возможность эффективно осуществить подачу и распределение рабочей жидкости в камере гидроцилиндра. В совокупности проведенная работа позволила увеличить развиваемое усилие гидроцилиндра, что дало возможность получить возросшие усилия прижатия тормозных колодок к тормозному диску и тем самым повысить эффективность дискового тормозного механизма с гидравлическим приводом без увеличения давления в гидроприводе.

УДК 629.113

СОЗДАНИЕ САМОТОРМОЖЕНИЯ ВРАЩЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ НАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА ТОРМОЗНОГО МЕХАНИЗМА

А. С. МЕЛЬНИКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Разработки в области повышения эффективности тормозных механизмов являются актуальным направлением, т. к. позволяют добиться уменьшения усилия на педали тормоза, уменьшения габаритов и материалоемкости элементов тормозного привода и уменьшения неподрессоренной массы.

Особенным представляется интерес достижения эффективности тормозов, при которой появляется возможность отказа либо уменьшения массо-геометрических параметров усилителя тормоза. Для достижения поставленной цели разработано нажимное устройство, в котором создание нажимных усилий, прижимающих тормозные колодки к диску, обуславливается вращением элементов нажимного устройства с различными угловыми скоростями. Нажимное устройство в данном случае содержит два главных элемента, вращение которых происходит от внешнего источника. При этом режим работы механизма в заторможенном состоянии или в состоянии растормаживания определяется разностью угловых скоростей главных элементов. При работе механизма в состоянии растормаживания разность угловых скоростей равна нулю, в процессе торможения разность угловых скоростей отлична от нуля. При этом величина усилия прижатия тормозных колодок к диску, создаваемого нажимным устройством, прямо пропорциональна разности угловых скоростей главных элементов. Разность угловых скоростей создается управляющим воздействием оператора тормоза на один из главных элементов нажимного устройства, которое значительно меньше усилия, необходимого для создания сил, прижимающих тормозные колодки к диску. Источником вращения главных элементов нажимного устройства может являться колесо или элементы трансмиссии мобильной машины. При получении вращения главных элементов нажимного устройства от колеса мобильной машины создаются условия, когда рассеивание кинетической энергии происходит не только на трущихся поверхностях тормоза и в пятне контакта колеса с опорной поверхностью, но также и в нажимном механизме. Это позволяет уменьшить нагрев и износ тормозных накладок, а также тормозного диска и повысить эффективность торможения путем создания условий для безюзового торможения колеса.

УДК 621.43.05

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СМЕШАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Е. С. ОШКАЛО, А. С. САНОЧКИН

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
Барнаул, Россия

Понятие эксплуатации транспортных средств неразрывно связано с обеспечением безопасности (пассивной, активной, экологической) и соответствием заявленным требованиям эксплуатационных показателей. Эксплуатация автомобилей на газовом топливе (ГТ) позволяет сократить удельные затраты на автомобиль и снизить вред, наносимый окружающей среде.

Улучшение характеристик двигателей, работающих на ГТ, возможно за счет применения смешанного регулирования мощности двигателя (СРМ). СРМ осуществляется по принципу значительного обеднения смеси для невысоких нагрузок при средних скоростях (рис. 1).

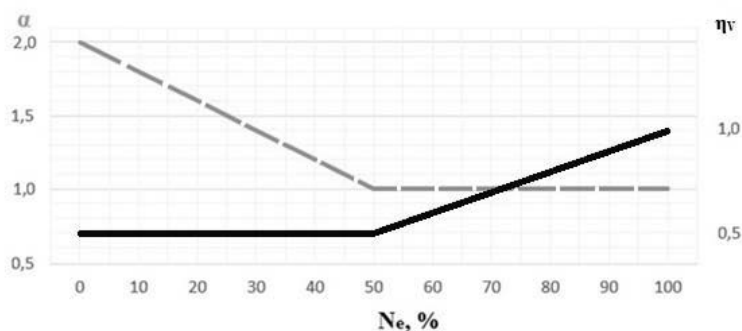


Рис. 1. График осуществления смешанного регулирования двигателя:
- - - изменение α ; — — изменение η_v

На программном комплексе «Дизель-РК» [1] был произведен расчет для газового двигателя 4Ч8,3/8,6 номинальной мощностью 73,55 кВт при 5400 мин⁻¹, работающего на метане ($\text{CH}_4 = 95\%$, $\text{C}_2\text{H}_6 = 5\%$), при постоянном коэффициенте избытка воздуха ($\alpha = 1$).

С постепенным прикрытием дросселя и неизменным α (количественное регулирование) наблюдается падение давления рабочего тела (РТ) и увеличение температуры РТ. Возрастает продолжительность догорания смеси, что приводит к незначительному уменьшению индикаторного давления (P_i) и эффективной мощности (N_e). Так как не увеличивается α , то происходит явное снижение индикаторного КПД (η_i) и значительный рост вредных веществ, т. к. не хватает воздуха для дожигания вредных веществ в отработавших газах.

Применение СРМ целесообразно после прохождения режима № 6 ($\alpha = 1,0$; $\eta_v = 0,5$), который является критическим. После прохождения критического значения резкое снижение давления РТ стабилизируется; при увеличении α возрастает полнота сгорания смеси, следовательно, скорость сгорания и

количество выделяющегося тепла падают, что выражено в снижении давления газов в цилиндрах, наблюдается прирост N_e . В данном случае экономичность увеличится, поскольку более полно происходит сгорание топлива и требуется меньшее его количество. Уменьшение объема подаваемого топлива также приводит к снижению температуры РТ; наблюдается значительное уменьшение температуры РТ. Снижение расхода ГТ и увеличение α также обуславливают рост η_i двигателя; на графике до критического значения отмечен незначительный спад η_i , а после прохождения критической точки – значительный рост данного показателя. N_e также уменьшается из-за падения P_i ; P_i имеет тенденцию к снижению, не зависящую от способа управления мощностью двигателя. Для газовых топлив обеспечивается более полное сгорание за счет образования гомогенной смеси, из-за падения мощности уменьшается средняя температура цикла; при изменении способа управления мощностью происходит резкое и значительное уменьшение вредных веществ, которые практически сводятся к нулевой отметке. Сравнение показателей для количественного и смешанного регулирования приведено на рис. 2.

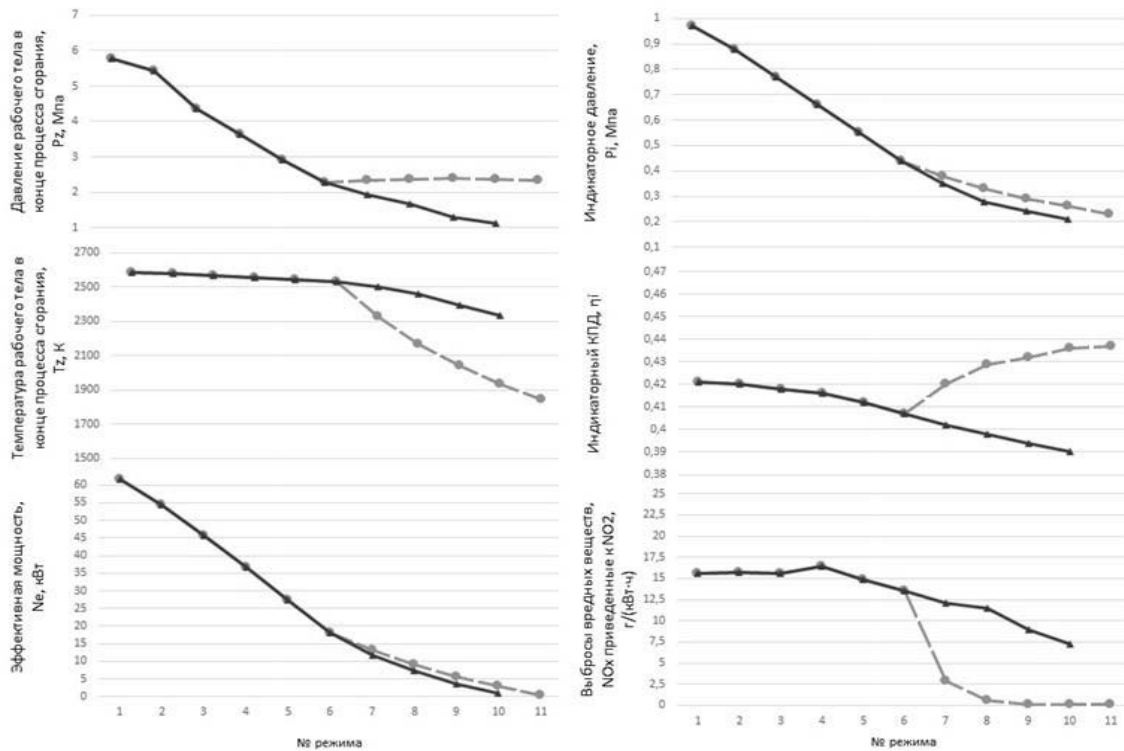


Рис. 2. Расчет газового двигателя 4Ч8,3/8,6: — — количественное регулирование; - - - - смешанное регулирование (режимы: № 1 – $\alpha = 1,0$; $\eta_V = 1,0$; № 2 – $\alpha = 1,0$; $\eta_V = 0,9$; № 3 – $\alpha = 1,0$; $\eta_V = 0,8$; № 4 – $\alpha = 1,0$; $\eta_V = 0,7$; № 5 – $\alpha = 1,0$; $\eta_V = 0,6$; № 6 – $\alpha = 1,0$; $\eta_V = 0,5$; № 7 – $\alpha = 1,2$; $\eta_V = 0,5$; № 8 – $\alpha = 1,4$; $\eta_V = 0,5$; № 9 – $\alpha = 1,6$; $\eta_V = 0,5$; № 10 – $\alpha = 1,8$; $\eta_V = 0,5$; № 11 – $\alpha = 2,0$; $\eta_V = 0,5$)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программный комплекс «Дизель-РК» [Электронный ресурс] / МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Режим доступа: <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php>.

УДК 621.432

МЕТОД МДО ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ИЗНОСО- И ТЕПЛОСТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВС

Е. С. ОШКАЛО, А. С. САНОЧКИН

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
Барнаул, Россия

При проектировании и эксплуатации автотранспортных средств (АТС) необходимо учитывать факторы, влияющие на износ. При всех возникающих отказах и утрате работоспособности АТС значимой проблемой является выход из строя силового агрегата. Одним из силовых агрегатов является ДВС. Задача ДВС – преобразование энергии, полученной вследствие воспламенения и сгорания топливовоздушной смеси (ТВС), в механическую работу, что сопровождается высокими термическими нагрузками. В наибольшей степени термическим нагрузкам подвергается поршень. Возникновение в надпоршневом пространстве высокого давления и температуры рабочего тела может стать причиной прогорания днища поршня. Это возникает в результате жесткой работы ДВС и выражается разрушением поверхности поршня в зоне контакта с ТВС.

Повышение работоспособности и ресурса поршневой группы двигателя достигается за счет изоляции днища поршня от разрушающих воздействий температурных нагрузок. Теплоизоляция днища поршня может быть осуществлена посредством микродугового оксидирования (МДО). Данный метод подразумевает покрытие днища поршня керамическим слоем, обладающим высокими прочностными характеристиками, имеющим в основе оксид алюминия. Толщина напыления слоя возможна до 400 мкм. Оксид алюминия обладает высокими адгезивными показателями относительно материала основы независимо от условий термоциклических нагрузок.

Предварительно оценивая, насколько тепловая защита поршневой группы двигателя внутреннего сгорания методом МДО будет эффективна, необходимо выполнить, с использованием программы ANSYS [1], температурный анализ. В связи с чем целью данного исследования можно определить целесообразность и значимость покрытия микродугового оксидирования на предмет уменьшения тепловой напряженности поршня.

Для исходных данных расчета было принято, что температура днища поршня ДВС достигает 350 °С, а теплопроводность слоя МДО, выраженная коэффициентом, $\lambda = 1,6 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. В то время как толщина данного слоя является переменной величиной, изменение происходит дискретно, начиная от 20 мкм и заканчивая 200 мкм, с ориентацией на оптимальную прогнозируемую толщину слоя и на возможности процесса МДО.

При выполнении экспериментальной вычислительной части установочным показателем было температурное значение со стороны картера на днище поршня ДВС. По итогам проведения предварительной расчетной части можно отметить, что при толщине в 80...120 мкм происходит падение температурных

показателей со стороны картера в пределах 42 °С...57 °С относительно поршня, не имеющего МДО-покрытия.

Для верификации вышеуказанных расчетов проводились эксперименты на спроектированном безмоторном стенде [2] на определение теплозащитных показателей МДО-слоя. В надпоршневом пространстве увеличивали температуру до показателей 780 °С...800 °С благодаря использованию газовой горелки. Данные значения соответствуют реальному ДВС, его расчетным рабочим характеристикам. Температура охлаждающей среды, в том числе, соответствует режиму работы реального ДВС. Рассредоточение полученных тепловых областей, формирующихся на днище поршня со стороны картера, было зарегистрировано с помощью тепловизора.

К исследовательскому анализу принят опытный образец, изготовленный из сплава алюминия АК12Д ОСТ 192014–90, поршень, а также аналогичные поршни с применением на днище МДО-покрытия. Применялись напыления теплозащитного МДО-слоя с толщинами 60, 100, 120 и 160 мкм [2].

При обработке полученных результатов было выявлено, что максимальное изменение температурного фона было –27 °С (в абсолютном выражении составило 144 °С). Данные показатели зафиксированы на поршне с толщиной МДО-покрытия, равной 100 мкм. Указанные изменения выявлены в области камеры сгорания, что, несомненно, является востребованным для форсированных ДВС.

Следующие эксперименты выполнялись при применении испытательного стенда на поршневом двигателе. Были задействованы три поршня – поршень, не имеющий теплоизолирующего покрытия, поршень с покрытием толщиной 76 и 108 мкм; также были использованы индикаторы температуры на внутренней поверхности [2]. По итогам исследования: при отсутствии покрытия пиковая температура в области внутренней стороны днища превышала 300 °С (отмечается срабатывание всех индикаторов), температура в той же области поршней с покрытием находится в интервале 222 °С...255 °С, таким образом, падение температуры произошло в диапазоне 45 °С.

Таким образом, продемонстрирована целесообразность применения МДО-покрытия для предохранения поршней от термических нагрузок. Об устойчивости покрытия свидетельствует отсутствие повреждений на днище. По итогам полученных результатов, предпочтительная толщина слоя 100 мкм. При практических испытаниях показатели температуры снизились на 45 °С...78 °С. С расчетной моделью данный факт коррелирует наиболее оптимально.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ANSYS [Электронный ресурс] / Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ANSYS>.
2. Методы топологической оптимизации поршня ДВС [Электронный ресурс] / Яндекс. Поисковая система. – Режим доступа: https://aviatp.ru/files/enginewg/recengines/Tezisy_dokladov.pdf.

УДК 629.113

РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

И. С. САЗОНОВ, Е. А. МОИСЕЕВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Процесс торможения автомобиля является сложным. Он включает следующие последовательные этапы:

- действие водителя: нажатие на тормозную педаль;
- срабатывание тормозной системы.

Этот процесс торможения описывается диаграммой торможения автомобиля. На ней отражают изменение скорости торможения, ускорения замедления и тормозной путь. Остановочный путь автомобиля равен пути, пройденному за время реакции водителя и время запаздывания срабатывания тормозного привода, а также тормозному пути за время нарастания давления в тормозном приводе и до полной остановки.

При расчете и моделировании торможения автомобиля важным является выбор времени реакции водителя. Всероссийским научно-исследовательским институтом судебных экспертиз (ВНИИСЭ) для типичных характеристик дорожно-транспортных ситуаций определено время реакции водителя.

Время запаздывания срабатывания тормозной системы зависит от скорости перемещения и количества нажатий на педаль тормоза и величины зазоров в приводе. При моделировании процесса экстренного торможения легкового автомобиля ВАЗ-2106 формируемый водителем тормозной момент принят как функция времени $M_T = f(t)$. Моделировался процесс со скорости движения автомобиля 60 км/ч по ровному сухому асфальту. Водитель энергично один раз нажал на педаль тормоза. Для вычисления тормозного пути автомобиля, представленного кривой линией на диаграмме (рис. 1), использован метод спрямления.

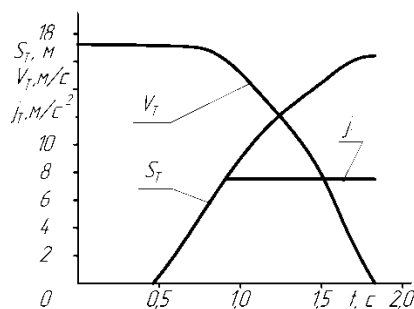


Рис. 1. Тормозная диаграмма

Полученный результат $S_T = 17,5$ м согласуется с тормозным путем для легковых автомобилей в данных условиях торможения, который равен $17,8...0,3$ м (в зависимости от класса).

УДК 621.436.038

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ ДИЗЕЛЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Е. А. САЛЫКИН, Н. С. КАВЕРИН, Р. Ю. ЯНЮШКИН
Волгоградский государственный технический университет
Волгоград, Россия

В настоящее время в качестве универсального автономного источника механической энергии для привода техники различного назначения широко используют дизели малой мощности (до 10 кВт). Такие двигатели оснащены традиционными системами топливоподачи непосредственного действия разделенного типа. К достоинствам традиционных систем можно отнести низкую стоимость и достаточно высокую надежность, к недостаткам – низкую интенсивность впрыскивания топлива.

С целью увеличения давления впрыскивания топлива можно выполнить модернизацию систем топливоподачи с использованием скоростного форсирования вала ТНВД [1], которая обеспечивает увеличение скорости вращения вала ТНВД и, соответственно, объемной скорости плунжера в 2 раза. Для оценки характеристик процесса подачи топлива в модернизированной системе выполнено его моделирование в программном комплексе «Впрыск» [2]. В качестве объекта исследования рассмотрена топливная система дизельного двигателя универсального назначения Kiror KM186 FA мощностью 5,7 кВт при 3000 об/мин. Расчеты для штатного и модернизированного вариантов системы выполнены для одинаковой величины цикловой подачи топлива ($q_{ц} = 0,0174$ г). Результаты расчетов показывают, что максимальное давление впрыскивания заметно увеличивается: с 21 МПа в штатной системе до 38 МПа в модернизированной. Рост давления впрыскивания топлива способствует улучшению качества его распыливания. Вместе с тем возрастает давление над плунжером ТНВД, которое приводит к увеличению нагрузок в приводе плунжера ТНВД, которые принято оценивать по величине максимальных контактных напряжений в сопряжении «кулачок – толкатель плунжера». Снизить величину контактных напряжений можно путем увеличения длины линии контакта в сопряжении за счет увеличения ширины кулачка. Такая возможность для рассматриваемого ТНВД существует из-за наличия «запаса» в габаритах толкателя.

Максимальное контактное напряжение $\sigma_{к\max}$ в модернизированной системе, по сравнению со штатной, возрастает с 393 до 466 МПа. Увеличение ширины кулачка с 12 до 15 мм позволяет снизить максимальное контактное напряжение в модернизированной системе с 466 до 416 МПа (рис. 1).

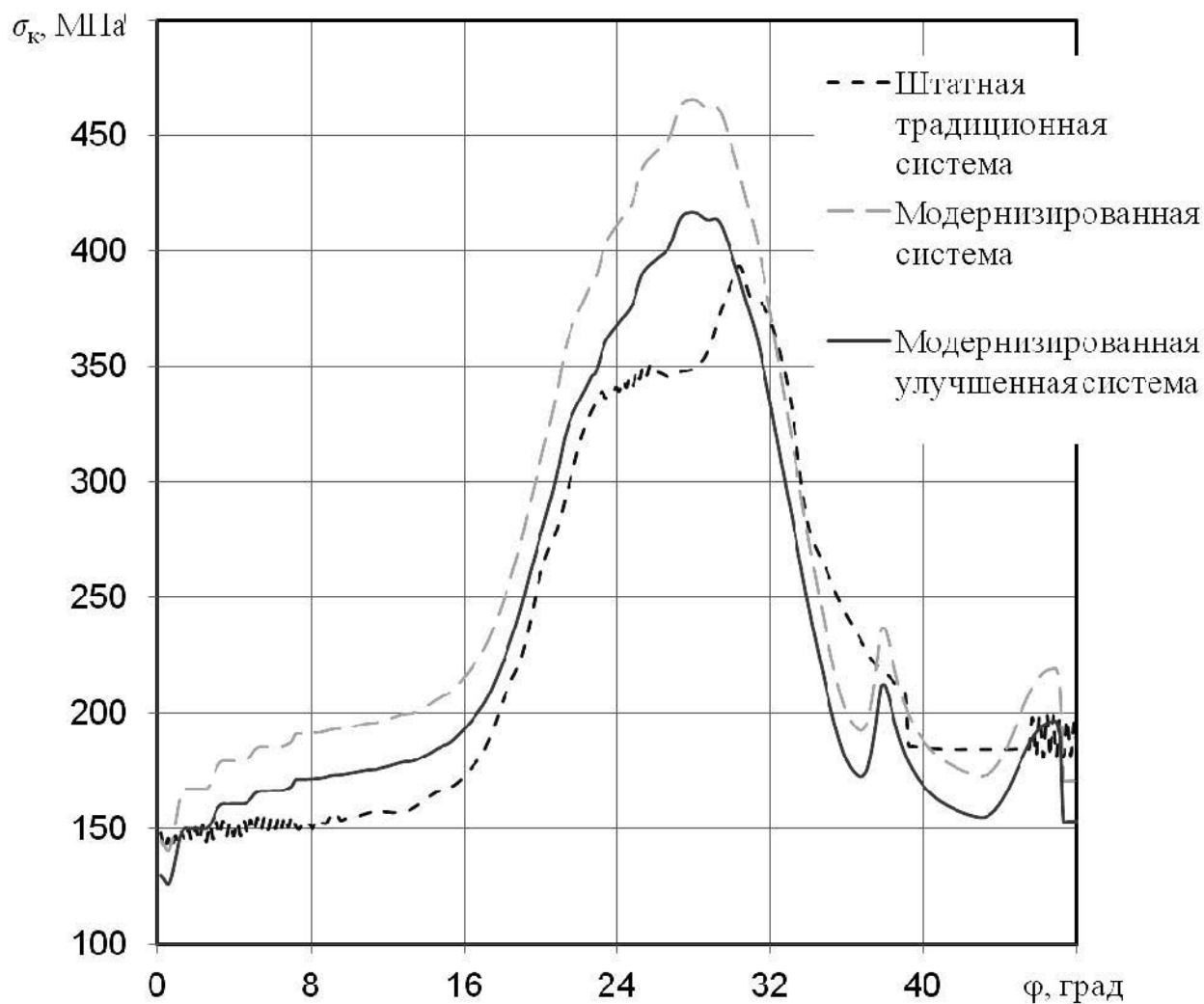


Рис. 1. График зависимости величины контактных напряжений в сопряжении «кулачок – толкатель плунжера» от угла поворота вала ТНВД

Таким образом, модернизация штатной традиционной системы топливоподачи дизеля малой мощности с использованием скоростного форсирования ТНВД позволяет увеличить давление впрыскивания топлива. Вызванный повышением уровня давления топлива в системе рост контактных напряжений в сопряжении «кулачок – толкатель плунжера» ТНВД можно уменьшить, увеличив ширину кулачка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опыт модернизации дизельных систем топливоподачи непосредственного действия / Е. А. Салыкин [и др.] // Изв. ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. – Волгоград: ВолгГТУ, 2011. – № 8. – С. 38–40.
2. Лаборатория топливных систем кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н. Э. Баумана. ПК «Впрыск» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fuel-bmstu.ru/inject/>. – Дата доступа: 10.12.2021.

УДК 621.436.038

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ ТОПЛИВА
В ДИЗЕЛЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Е. А. САЛЫКИН, Р. Ю. ЯНЮШКИН, Н. С. КАВЕРИН

Волгоградский государственный технический университет

Волгоград, Россия

Как и в XX в., сейчас остаются востребованными дизельные двигатели малой мощности (5...10 кВт). Данные двигатели обладают относительно простой конструкцией, высокой мобильностью, низкой стоимостью. Ключевым требованием, которое необходимо учитывать при разработке новых конструкций дизельных двигателей, является соответствие нормам токсичности отработавших газов. Также важным условием является уменьшение эксплуатационного шума и расхода топлива при сохранении существующих мощностных характеристик. Традиционные системы топливоподачи, которыми оснащено большинство малых дизелей, не способны обеспечить требуемый высокий уровень давления впрыскивания топлива, а также не предоставляют возможность гибкого управления процессом подачи топлива на различных режимах. В связи со стремительным ужесточением норм токсичности, совершенствование систем топливоподачи, позволяющее получить требуемые характеристики процесса впрыскивания топлива, является актуальной задачей.

Одним из способов решения данной задачи является скоростное форсирование топливного насоса высокого давления (ТНВД) [1]. Скоростное форсирование ТНВД предусматривает удвоение частоты вращения его вала и внедрение в линию высокого давления (ЛВД) перепускного клапана с электронным управлением. Клапан необходим для перепуска части топлива из ЛВД при дополнительном ходе плунжера, когда впрыскивание топлива в цилиндр двигателя не производится. Удвоение частоты вращения вала ТНВД и соответствующее увеличение объемной скорости плунжера приводит к заметному повышению давления впрыскивания топлива. При управлении работой перепускного клапана на основном ходе плунжера, когда происходит впрыскивание топлива в цилиндр, имеется возможность формировать различный закон подачи топлива, например, обеспечить пилотное его впрыскивание. Предварительное (пилотное или двухфазное) впрыскивание топлива является действенным средством снижения шума при работе дизельного двигателя [2].

Выполнено исследование работы системы топливоподачи широко распространенного дизельного двигателя Kipor KM186 FA мощностью 5,7 кВт при 3000 об/мин. Результаты произведенных с помощью программного комплекса «Впрыск» [3] расчетов процесса подачи топлива для системы со штатным и форсированным ТНВД показывают увеличение максимального давления впрыскивания топлива с 21 до 38 МПа при сохранении цикловой подачи топлива $q_{ц} = 0,0174$ г. Управление перепускным клапаном в системе с

форсированным ТНВД позволяет получить предварительное впрыскивание 4 % топлива (0,0007 г) при том же значении величины $q_{ц}$ (рис. 1).

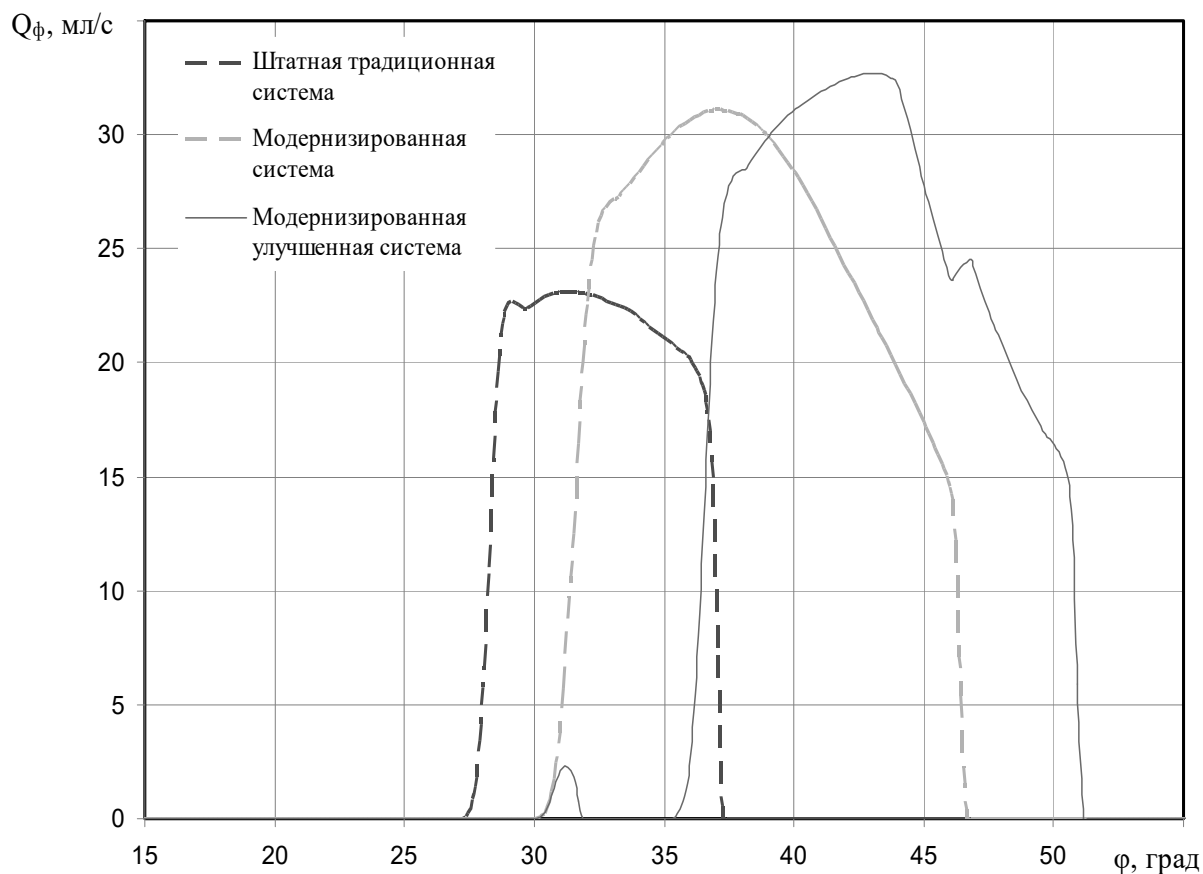


Рис. 1. Расход топлива через распылитель форсунки в зависимости от угла поворота вала ТНВД

Таким образом, использование форсированного по скорости ТНВД обеспечивает в системе топливоподачи дизельного двигателя малой мощности повышение давления впрыскивания топлива. Управление перепускным клапаном во время основного хода плунжера ТНВД позволяет получить характеристику процесса подачи топлива с предварительным (пилотным) впрыскиванием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опыт модернизации дизельных систем топливоподачи непосредственного действия / Е. А. Салькин [и др.] // Изв. ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. – Волгоград: ВолгГТУ, 2011. – № 8. – С. 28–40.
2. **Грехов, Л. В.** Конструкция, расчет и технический сервис топливоподающих систем дизелей: учебное пособие / Л. В. Грехов, И. И. Габитов, А. В. Неговора. – Москва: Легион-Автодата, 2013. – 292 с.
3. Лаборатория топливных систем кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н. Э. Баумана. ПК «Впрыск» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fuel-bmstu.ru/inject/>. – Дата доступа: 01.12.2021.

УДК 629.113

МОДЕРНИЗАЦИЯ КАРЕТКИ ДВУХСТОЕЧНОГО ПОДЪЕМНИКА

Д. И. СТЕФАНЕНКО, Н. А. КОВАЛЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Для обеспечения удобного доступа к агрегатам легкового автомобиля при обслуживании и ремонте широко используют подъемники. Для расширения функциональных возможностей и повышения безопасности при работе автомобильного подъемника Horex HL-4.0 BZ-EM предлагается повысить его грузоподъемность до 5000 кг и обеспечить автоматическую фиксацию подъемной каретки и ее автоматическое снятие с замков фиксации при подъеме и опускании автомобиля.

Для решения этой задачи при модернизации подъемника Horex HL-4.0 BZ-EM была увеличена мощность насосной станции, а для автоматической фиксации каретки предлагается приварить к тыльной ее стороне плиту с упорами из стального проката квадратного сечения (рис. 1). Шаг упоров принят 60 мм. Полученная конструкция должна иметь запас прочности, необходимый для безопасной работы с подъемником. Для выполнения прочностного расчета была создана в программе КОМПАС-3D 3D-модель полученной конструкции каретки. Прочностной расчет конструкции выполнен с использованием системы прочностного анализа APM FEM, представленной в интерфейсе российской САД-системы КОМПАС-3D.

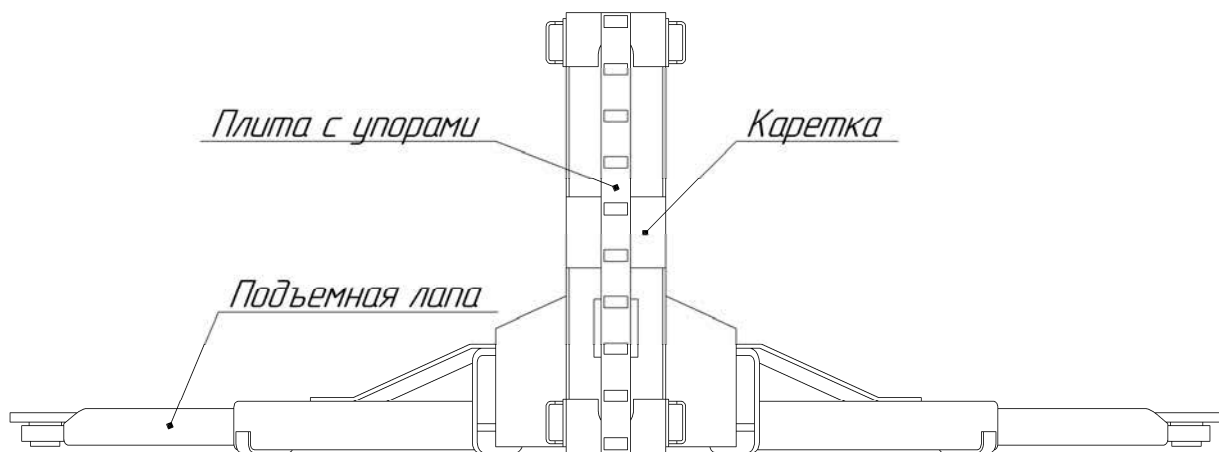


Рис. 1. Конструкция модернизированной каретки

В качестве исходных данных для расчета принята сила давления автомобиля на каждый упор подъемной лапы, равная $F = 12,5$ кН, что соответствует 5000 кг грузоподъемности подъемника в целом.

Алгоритм проведения расчета следующий:

- подготовка 3D-модели к проведению расчета прочности (упрощение геометрии);

- анализ и задание граничных условий (нагружение, закрепление);
- автоматическая генерация конечно-элементной сетки на 3D-модели;
- выбор необходимого типа расчета и настройка его параметров;
- проведение расчета;
- просмотр полученных результатов и анализ значений основных расчетных характеристик (напряжений, коэффициентов запаса, перемещений и т. д.).

Тип вывода результатов выбран по коэффициенту запаса прочности, который характеризует способность конструкции выдерживать прикладываемые к ней нагрузки выше расчётных. Наличие запаса прочности обеспечивает дополнительную надёжность конструкции, позволяет избежать повреждений и разрушения в случае возможных ошибок проектирования, изготовления или эксплуатации.

По результатам расчета видно (рис. 2), что подъемные лапы работают по принципу консольной балки. Самыми нагруженными местами в данной конструкции являются места присоединения лап к осям. Коэффициент запаса прочности в этих местах минимален, $k_{\min} = 1,691$. Также из результатов видно, что упор не испытывает критических нагрузок. Коэффициент запаса прочности в месте фиксации каретки $k = 4,807...5,326$. Для других положений фиксации упора проведены аналогичные испытания.

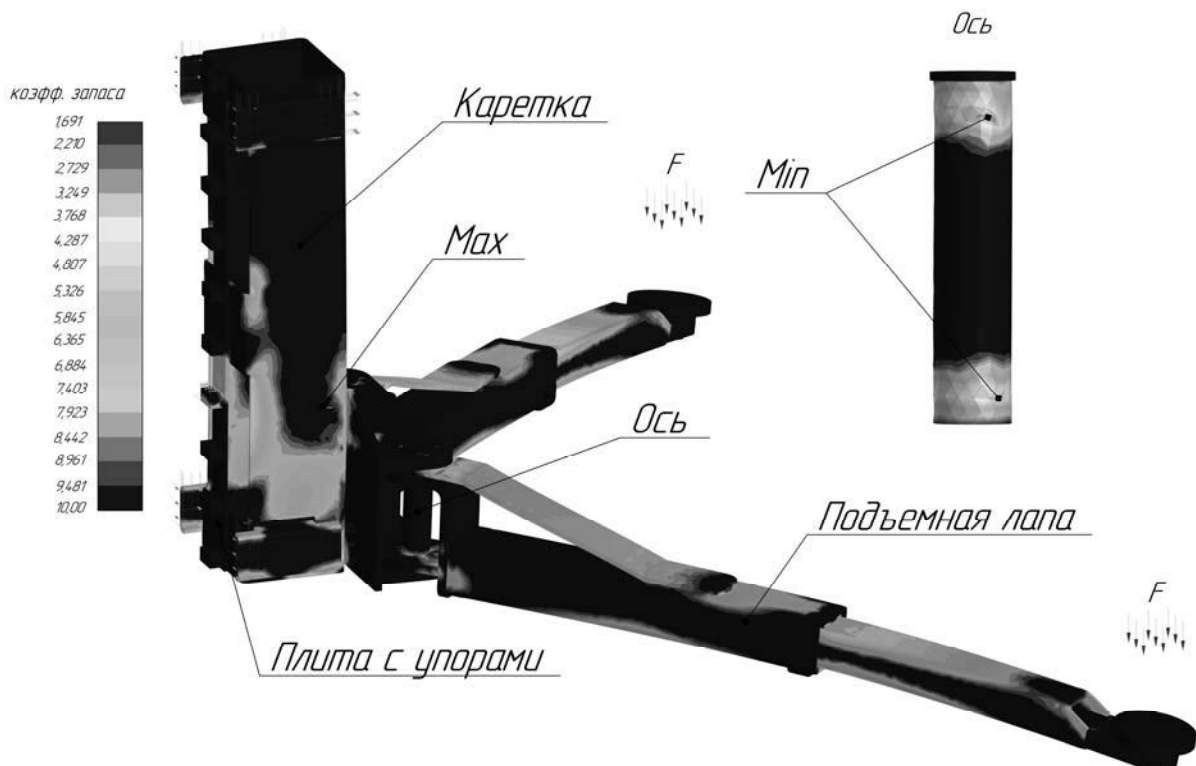


Рис. 2. Результаты статических испытаний модернизированной конструкции каретки

Таким образом, модернизированная конструкция обладает достаточным запасом прочности, необходимым для работы в пределах упругости материала, и обеспечивает необходимую безопасность при работе с подъемником.

УДК 574.5+573.6

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВЕРТИКАЛЬНОМУ
ОЗЕЛЕНЕНИЮ ПОМЕЩЕНИЙ

А. А. АЛЕКСАНДРОНЕЦ, А. В. ЩУР

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Прогрессирующее загрязнение окружающей среды приводит к ухудшению качества атмосферного воздуха. Наиболее распространенными примесями в атмосфере являются: твердые частицы (пыль, сажа или копоть), сернистый газ, окись углерода, окислы азота, в последние годы – формальдегид. Сернистый газ поступает в атмосферу, главным образом, при сжигании твердого и жидкого топлива, содержащих серу (каменный уголь, мазут), а окислы азота – при сжигании топлива при высоких температурах в транспортных двигателях, на тепловых электростанциях и некоторых промышленных объектах. Сжигание органического топлива приводит к поступлению в атмосферу окислов углерода. Наличие формальдегида в атмосфере обусловлено выбросами автотранспортных средств в сочетании с высокой интенсивностью солнечной радиации [1].

Вышеуказанные загрязнители попадают в помещения, в том числе жилые и производственные, офисы, а также в учреждения образования и здравоохранения и представляют опасность для жильцов и работников. Одним из методов решения проблемы очистки воздуха в помещениях является использование растительности, поглощающей вредные примеси из воздуха, например общеизвестных хлорофитумов. В современных условиях офисные и производственные помещения стараются использовать максимально эффективно, в связи с чем бывает сложно найти свободное пространство для размещения растений. В таком случае целесообразно использовать вертикальное озеленение. Наиболее распространено использование для такого озеленения ампельных и вьющихся растений.

Предлагается в качестве варианта вертикального озеленения использование бриофитоценоза, сочетающего в себе зеленые фотосинтезирующие мхи с растениями, эффективно поглощающими вредные вещества из воздуха [2]. При этом можно производить заращивание мхами вертикальных поверхностей в сочетании с многоярусными ступенчатыми размещениями ящиков с растениями, что позволит при минимальной затрате места иметь значительное растительное покрытие (рис. 1).

При необходимости возможна установка осветительного оборудования для улучшения освещенности растительности и помещения. С другой стороны, мхи являются теневыносливыми и тенелюбивыми организмами, в связи с чем можно подобрать аналогичные по отношению к освещенности растения, для которых

будет достаточно уровня рабочего освещения производственного или офисного помещения. В жилых помещениях такие вертикальные газоны могут формироваться как элемент декора, органично включенный в оформление комнат, прихожих и кухонь.



Рис. 1. Установка для вертикального озеленения

Возможна также автоматизация полива и подкормки растений и регулирования освещенности, что снизит затраты времени на уходные работы. Для повышения эстетической ценности установки она может декорироваться с учетом дизайна помещения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экология: учебник / А. В. Щур [и др.]. – Рязань: ИП К. В. Викулов, 2021. – 248 с.
2. Создание искусственного бриофитоценоза для вертикального озеленения помещений / А. А. Александронец [и др.] // 57 студ. науч.-техн. конф. Белорус.-Рос. ун-та: материалы конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 20–22.

УДК 625.768.5

ПРИМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ ПРИ ЗИМНЕМ СОДЕРЖАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

О. В. БОРИСЕНКО, В. В. КУТУЗОВ, Е. В. ЗАРОВЧАТСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Сеть автомобильных дорог в Республике Беларусь составляет примерно 87 тыс. км. В это число входят как республиканские, так и местные дороги. Ежедневно они обслуживаются тысячами единиц специализированной техники и персоналом, позволяя тем самым реализовывать право автомобилистов на комфортный круглогодичный и круглосуточный проезд по территории страны. Зимнее содержание дорог – это трудоемкий и сложный процесс, направленный на проведение комплекса мероприятий по обеспечению бесперебойного и безопасного дорожного движения в зимних условиях. Опыт зимнего содержания автомобильных дорог показывает экономическую целесообразность дифференцированного подхода к устанавливаемым эксплуатационным свойствам автомобильных дорог (потребительским функциям) в зависимости от их народно-хозяйственного и административного значения, интенсивности движения, природно-климатических факторов. В соответствии с ТКП 100 зимнее содержание дорог в Республике Беларусь носит плановый характер. Кроме механической уборки снега с дорог, рекомендуется использовать также химический способ, а именно наносить песко-соленые смеси (ПСС) для повышения коэффициента сцепления. В то же время во всем мире дополнительно с ПСС используются химические противогололедные реагенты (ПРГ).

В настоящее время в Республике Беларусь существует большой резерв в совершенствовании технологии зимнего содержания дорог, а именно разработка теоретических основ и практических методов применения ПРГ.

Существует несколько технологий применения ПРГ. Преимущество имеет та, которая при минимальном объеме использования ПГР и минимальных затратах обеспечивает требуемый уровень содержания дорог. Например, строгое дозирование необходимого количества ПГР и равномерное распределение их на поверхность дорожного полотна обеспечивает существенное снижение скользкости. Однако необходимо поддерживать строгую концентрацию и норму расхода ПРГ в зависимости от количества снега, температуры воздуха, интенсивности дорожного движения на конкретном участке дороги, типе дорожного покрытия и скорости движения машины, распределяющей ПРГ.

Необходимо для совершенствования зимнего содержания автомобильных дорог в Республике Беларусь усовершенствовать законодательную базу для возможности использования химических ПРГ, которые в настоящее время отсутствуют, исследовать нормы расхода, состав, вязкость, концентрацию, скорость плавления снега и льда.

УДК 625.74

ТРЕБОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ БЕЗОГОЛОВОЧНЫХ ТРУБ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

О. И. БРОДОВА, В. Т. ПАРАХНЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Водопропускные трубы на автомобильных дорогах являются наиболее распространенными инженерными сооружениями. На 10 км дороги в среднем для Республики Беларусь приходится 11 водопропускных труб. От состояния водопропускных труб (далее – труб) во многом зависит безопасность и надежная эксплуатация автомобильной дороги. Трубы могут быть оголовочные и безоголовочные. Практика дорожного строительства показывает, что с экономической точки зрения (стоимость оголовков и производства работ по их устройству) безоголовочные трубы являются более предпочтительными. Однако отсутствие оголовков требует надежной фиксации входа и выхода трубы от возможных их перемещений (рис. 1).

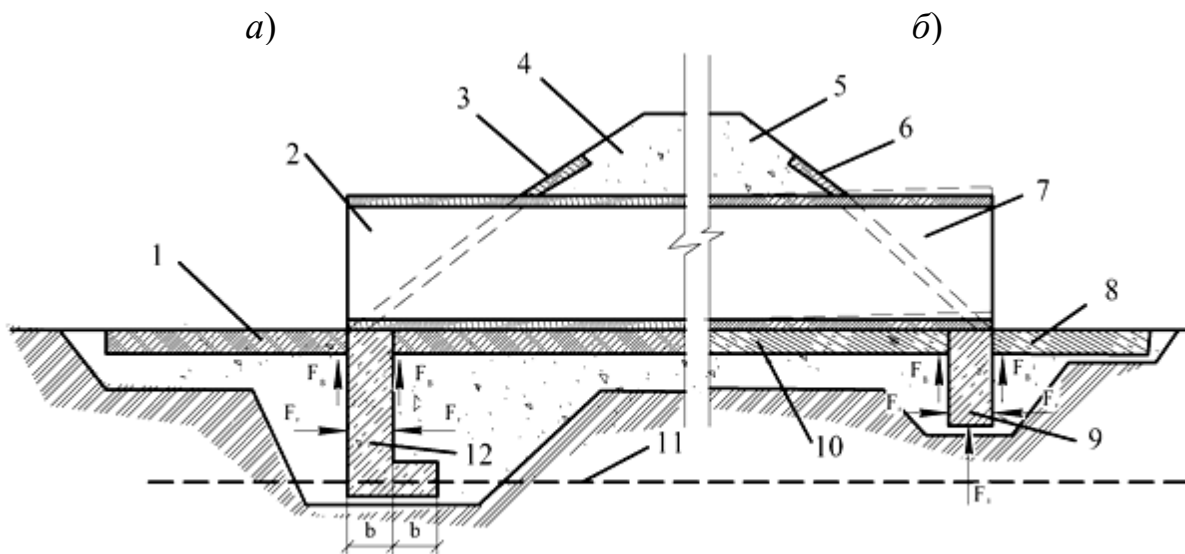


Рис. 1. Входной и выходной участки безоголовочной трубы: *a* – нормальная глубина и уширенная подошва опорного блока (рекомендуемая конструкция); *б* – недостаточная глубина заложения основания опорного блока и отсутствие уширения его подошвы (нерекомендуемая конструкция); 1, 8 – укрепление входного и выходного руслов; 2, 7 – входное и выходное звенья трубы; 3, 6 – укрепление насыпи у водопропускной трубы; 4, 5 – насыпь автомобильной дороги; 8 – фундамент трубы; 9, 12 – опорные блоки; 11 – горизонт глубины промерзания грунта; *b* – размер поперечного сечения опорного блока

При наличии оголовков входное и выходное звенья трубы опирались на оголовки. В безоголовочных трубах для этой цели используются блоки, которые почему-то называют противотифльтрационными. Однако это название не отражает выполняемой ими функции. Они в основном служат как опорные блоки. Входное и выходное звенья трубы должны надежно опираться. Эти блоки по своей

сущности не могут устранить движение грунтовых вод в основании трубы как на входе, так и на выходе из нее. В некоторой степени они могут незначительно уменьшить величину фильтрационного расхода. Существуют более надежные способы его уменьшения (например, кольматаж). Поэтому более правильно называть эти блоки опорными.

Существенным требованием к функции данных блоков является их конструкция и глубина установки. С экономической точки зрения высоту опорного блока желательно выполнять незначительной. Но это может привести к негативным последствиям. Для выяснения данных обстоятельств рассмотрим силовое воздействие замерзающего грунта на опорные блоки (см. рис. 1). Силы, которые действуют на блок при замерзании грунта, можно классифицировать на горизонтальные (F_{Γ}) и вертикальные ($F_{\text{в}}$). Горизонтальные силы оказывают сжимающее действие на блок и не влияют на его положение. Вертикальные силы могут вызвать соответствующее перемещение блока. По характеру возникновения и действия на опорные блоки вертикальные силы имеют два вида: силы, которые действуют на боковые стенки блока (касательные силы трения) и на подошву блока (нормальные силы). Для исключения вертикальных сил, действующих на подошву блока, глубина заложения основания блока должна быть на 10...15 см ниже глубины промерзания грунта в данном регионе строительства. Тогда грунт под основание блока не будет подвергаться промерзанию, увеличиваться в объеме, а блок не будет испытывать сезонное вертикальное поднимающее усилие. Для региона Республики Беларусь в среднем за зимне-весенний сезон наблюдается около 15 циклов замерзания-оттаивания.

Вертикальные касательные силы морозного пучения, которые могут действовать на боковые поверхности, будут иметь место при любой глубине установки блока. Эти силы способствуют вертикальному его перемещению (для пучинистых грунтов вертикальное перемещение составляет до 1 см на каждые 10 см мощности промерзаемого грунта). Для нейтрализации этих сил необходимо устраивать подошву фундамента блока уширенной (подошва блока должна иметь не менее двойной ширины его поперечного сечения (см. рис. 1). Уширенная подошва блока выполняет роль анкера и в то же время уменьшает передаваемое давление от веса последнего звена на грунт основания.

Под действием вертикальных касательных сил в поперечном сечении блока могут возникнуть значительные растягивающие усилия. Поэтому опорный блок должен быть, соответственно, армирован.

Выводы.

1. Использование безоголовочных труб в практике дорожного строительства по ряду причин является более предпочтительным в сравнении с оголовочными.

2. При устройстве безоголовочных труб необходимо уделить особое внимание конструкции опорных блоков и глубине заложения их основания. Для исключения вертикального перемещения при морозном пучении грунта основание опорного блока должно быть уширенным.

3. Опорный блок должен быть, соответственно, армирован.

УДК 697.921.47

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

С. Д. ГАЛЮЖИН, О. М. ЛОБИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Технологические процессы машиностроительных производств сопровождаются выделением в воздух цехов вредных газо- и парообразных веществ, пыли, иногда избыточной теплоты. Поэтому современная вентиляционная система должна обеспечивать своевременное удаление вредных веществ из воздуха рабочей зоны для поддержания концентрации этих веществ в допустимых пределах [1, 2]. Эту цель можно достигнуть путем очистки и повторного использования данного воздуха, однако такой способ является дорогостоящим, поэтому, как правило, удаляют загрязненный воздух в атмосферу, а из атмосферы в рабочую зону подают чистый воздух. Данный тип воздухообмена применяется в абсолютном большинстве случаев и является достаточно эффективным в теплый период года. В холодный период года простой воздухообмен приводит к значительным потерям тепла и, соответственно, к потерям денежных средств. Например, определим такие потери для небольшого машиностроительного цеха с воздухообменом $40000 \text{ м}^3/\text{ч} = 11,1 \text{ м}^3/\text{с}$. В соответствии с Гигиеническим нормативом [2] в этот период года средняя температура в цехе должна быть $T_n = 18 \text{ }^\circ\text{C} = 291,15 \text{ K}$.

При стоимости 1 Гкал в 2021 г. по тарифам, обеспечивающим полное возмещение экономически обоснованных затрат, равной 103,918 BYN, и температуре наружного воздуха минус $22 \text{ }^\circ\text{C} = 253,15 \text{ K}$ потери за 8-часовую смену при отсутствии утилизатора тепла будут равны 353,6 BYN.

В случае установки эффективного утилизатора тепла (рис. 1) при вышеупомянутых исходных данных происходит повышение температуры приточного воздуха до положительных значений, а экономия денежных средств за смену составляет более 200 BYN. Удаляемый воздух при этом охлаждается примерно до $-1 \text{ }^\circ\text{C} \dots +2 \text{ }^\circ\text{C}$, т. е. он еще имеет достаточный потенциал для дальнейшего отбора тепла, который возможен при дополнительной установке в вентиляционную установку теплового насоса. Эффект от этого несколько ниже, чем от утилизатора тепла. Установка теплового насоса с учетом его окупаемости позволяет экономить еще 80...90 BYN.

Вместе с тем если при проектировании вентиляционной установки предусмотреть реверс теплового насоса, то в теплый период года будет возможность подавать в цех охлажденный воздух.

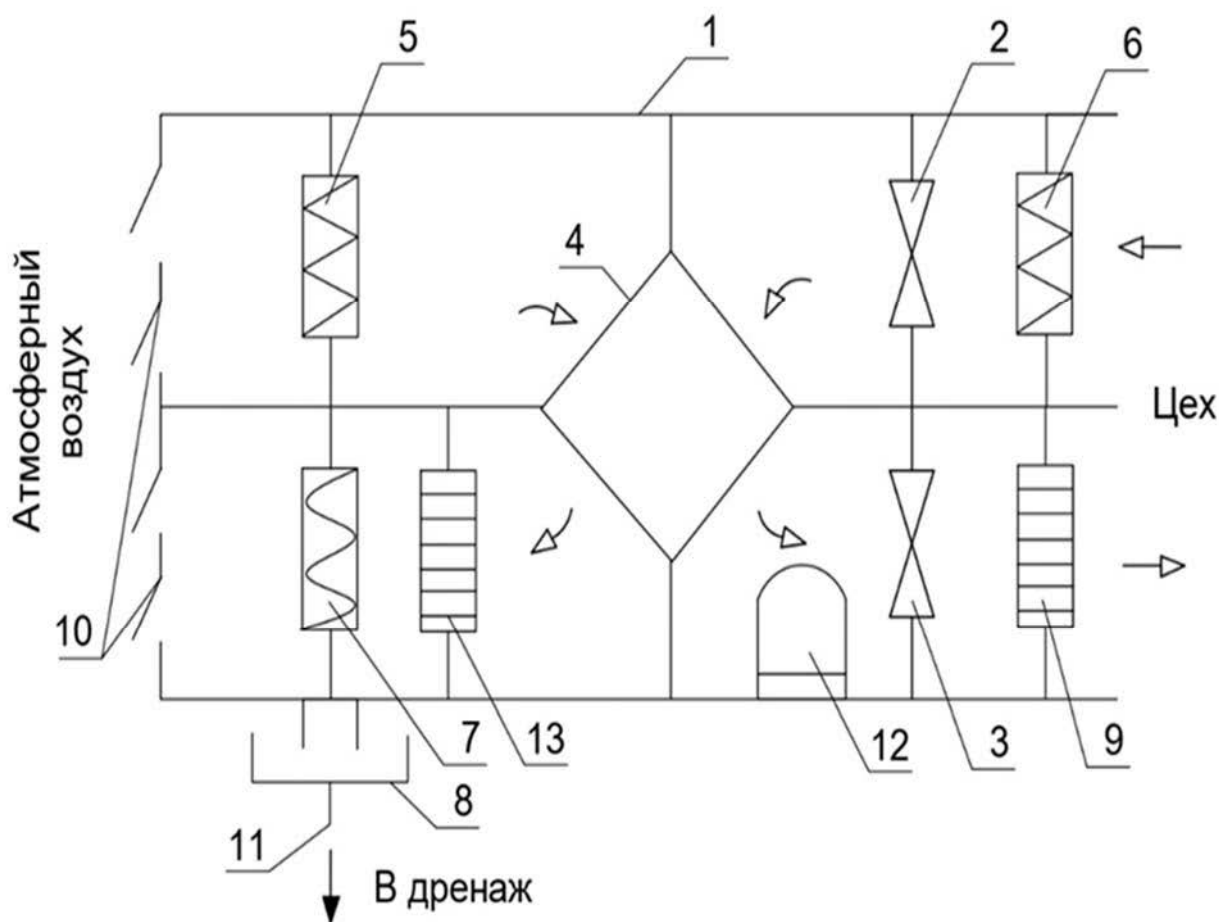


Рис. 1. Схема вентиляционной установки с утилизатором тепла и встроенным тепловым насосом: 1 – корпус; 2, 3 – вентиляторы; 4 – утилизатор тепла; 5, 6 – уловители твердых частиц; 7 – уловитель капель воды; 8 – дренажный поддон; 9 – конденсатор; 10 – створки; 11 – дренажная гидролиния; 12 – компрессор; 13 – испаритель

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санитарные нормы и правила. Требования к контролю воздуха рабочей зоны [Электронный ресурс]: постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 11 окт. 2017 г., № 92. – Режим доступа: <http://www.ohrana-truda.by/topic/5546-utverzhdeny-novye-sanitarnye-normy-i-pravila-t/>. – Дата доступа: 10.12.2021.

2. Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [Электронный ресурс]: постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 11 окт. 2017 г., № 92. – Режим доступа: <http://www.ohrana-truda.by/topic/5546/>. – Дата доступа: 10.12.2021.

3. **Галюжин, С. Д.** Методология комплексного подхода при проектировании вентиляционной установки с рекуператором тепла для предприятий машиностроительной отрасли / С. Д. Галюжин, О. М. Лобикова // Вестн. Брянского гос. техн. ун-та. – 2021. – № 5 (102). – С. 4–14.

УДК 699.86

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАСЧЕТОВ В СООТВЕТСТВИИ
СО СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРАВИЛАМИ СП 2.04.01–2020

С. Д. ГАЛЮЖИН, О. М. ЛОБИКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Как известно, с целью понимания специалистами друг друга служат ГОСТы. Так, в соответствии с ГОСТ 8.417–2002 [1] обязательному применению подлежат единицы Международной системы. Рассмотрим только один вопрос, касающийся теплопроводности. В соответствии с [2] *теплопроводность* – молекулярный перенос теплоты в сплошной среде, обусловленный неравномерностью распределения температуры в разных ее областях. В этом случае перенос энергии в теле осуществляется в результате непосредственной передачи энергии от частиц (молекул, атомов, электронов), обладающих большей энергией, к частицам с меньшей энергией. В [3] дано одно из наиболее понятных для инженеров определений: *теплопроводность* – процесс распространения энергии между частицами тела, находящимися в соприкосновении друг с другом и имеющими различные температуры.

Анализ этих определений показывает, что теплопроводность – это в первую очередь процесс, физическое явление. ГОСТ 8.417–2002 для применения обязывает использовать термин *теплопроводность*. Непонятно, по какой причине в СП 2.04.01–2020 [4] используется термин *коэффициент теплопроводности*.

В ГОСТ 8.417–2002 сказано, что в качестве единицы такой физической величины, как теплопроводность, необходимо использовать Вт/(м · К). В [2, 3] также используется данная единица. Понятно, что при выполнении *термодинамических расчетов* необходимо использовать *термодинамическую температуру*, единицей которой является кельвин (К). В СП 2.04.01–2020, как ни странно, используется другая единица: Вт/(м · °С).

Рассмотрим другие нормативные документы. В СТБ ISO 6946:2022/ОР [5] используется термин «теплопроводность», а его единицей является Вт/(м · К). В более раннем СТБ EN ISO 6946–2012 [6], на который есть ссылка в СП 2.04.01–2020, также используется термин «теплопроводность» с единицей Вт/(м · К). В ISO 6946:2017 [7] используется термин *design thermal conductivity* (расчетная теплопроводность), а единицей является W/(m · K) или в русской транскрипции – Вт/(м · К).

Следует отметить, что при использовании в расчетах только разности температур численные значения в К и °С совпадают. Однако это допустимо при решении плоских задач. При решении задач, когда тепловой поток расходится в пространстве, приходится вычислять не только разность температур, но и сами температуры. Если при этом в расчетах использовать температуру в °С, то зачастую получается абсурдный результат. Так, при установке подвесных утепленных потолков появляется неventилируемая воздушная прослойка, которая увеличивает термическое сопротивление крыши и верхней части стен. В этом случае тепловой поток, после прохождения через подвесной потолок, разделяется в пространстве на два тепловых потока. Первый проходит через стены, а второй – через крышу. Если в расчетах использовать °С, то получается, что установка подвесного потолка увеличивает тепловой поток, уходящий в окружающую атмосферу, что противоречит физической сущности процесса теплопередачи. Расчеты в К показывают, что при установке данного потолка можно сэкономить до 20 % тепловой энергии, затрачиваемой на отопление производственного помещения. Последнее не противоречит физическим процессам теплопередачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 8.417–2002.** Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.
2. **Сапожников, С. З.** Техническая термодинамика и теплопередача: учебник для вузов / С. З. Сапожников, Э. Л. Китанин. – Санкт-Петербург: СПбГТУ, 1999. – 319 с.
3. **Нащокин, В. В.** Техническая термодинамика и теплопередача: учебное пособие для вузов / В. В. Нащокин. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Высшая школа, 1980. – 469 с.
4. **СП 2.04.01–2020.** Строительные правила. Строительная теплотехника: утв. и введ. в действие постановлением М-ва архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 18 нояб. 2020 г., № 93.
5. **СТБ ISO 6946:2022/OP.** Конструкции ограждающие строительные и их элементы. Термическое сопротивление и сопротивление теплопередаче и методики расчета.
6. **СТБ EN ISO 6946–2012.** Конструкции ограждающие строительные и их элементы. Термическое сопротивление и сопротивление теплопередаче и методики расчета.
7. **ISO 6946:2017.** Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation methods.

УДК 629.113

АВТОМОБИЛЬНАЯ ШИНА – ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ
ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Н. Н. ГОБРАЛЕВ, Ф. С. ДАДЕРКИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Широкому и быстрому распространению автомобиля в мире способствовали преимущества и удобства, которые он дает человечеству. Но параллельно прогрессивной составляющей его использования гигантскими темпами развиваются и регрессивные воздействия этого изобретения на природу. По анализу мировых экологических организаций автомобиль входит в лидирующую группу загрязнителей окружающей среды.

Какие же факторы автомобиля являются экологически опасными?

Во-первых, это *продукты сгорания автомобильного топлива*. Усилиями инженеров-конструкторов и отказом от применения этилированного моторного топлива удалось существенно снизить содержание СО и СН в угарных газах выхлопа. Еще больший экологический эффект был получен с переходом на газомоторное топливо, а создание электромобилей позволило вообще исключить названный фактор из списка экологических угроз.

Во-вторых, это *отработанные эксплуатационные жидкости*, применяемые в автомобиле. К ним относятся моторное масло, тормозная и охлаждающая жидкости. Экологически опасными являются также *отслужившие свой срок аккумуляторные батареи и автомобильные шины*. И если ученые мира нашли относительно действенные методы регенерации и переработки старых технических жидкостей, то проблема утилизации шин и аккумуляторов еще довольно остра.

В-третьих, *продукты износа автомобильных шин*, возникающие в процессе эксплуатации колесного транспорта. Материал автошин, непосредственно сама резина, относится к третьей категории экологически опасных веществ. Следует также учитывать, что по своему химическому составу резина автошин имеет многочисленные добавки для улучшения их эксплуатационных характеристик. Все это ведет к тому, что даже при хранении автошин должны соблюдаться особые условия. Но в процессе эксплуатации автопокрышки изнашиваются, т. е. истираются на мельчайшие частицы, вплоть до нановеличин. Эти частицы способны проникать не только в носоглотку и легкие человека, но даже и в альвеолы легких, что провоцирует возникновение опасных для жизни человека заболеваний. Поэтому нужны серьезные меры по *минимизации износа автопокрышек*, по *изменению величины продуктов износа и его качественного состава*.

Имеется ряд способов минимизации износа.

1. Создание автомобилей с автоматической коробкой перемены передач и антиблокировочными системами. Движение транспортного средства с такой трансмиссией становится более спокойным и плавным, практически исключая пробуксовку колес при разгоне и торможении.

2. Правильная регулировка развала и схождения передних колес автомобиля. Собственный опыт показал, что неудачная настройка этих параметров в автосервисе привела к практически полному одностороннему истиранию протектора всего лишь при пробеге 4000 км.

3. Поддержание в рекомендуемых пределах давления в шинах. Неправильная регулировка величины давления приводит к интенсивному износу либо центральной зоны протектора, либо его боковин.

4. Применение рекомендуемых по сезону автопокрышек. Использование в летний период зимней авторезины ведет к ее повышенному износу, т. к. она более мягкая из-за увеличенного содержания в своем составе минеральных масел и специфического рисунка протектора. Есть сведения, что при пробеге автомобиля летом в пределах 20000 км можно за 1–2 сезона привести шину в непригодное состояние.

5. Запрет использования шипованной зимней авторезины в зимний сезон. Действует во многих странах Евросоюза. Автомобиль с такими покрышками опасен для движущихся следом транспортных средств. Его колеса активнее истирают дорожное покрытие.

В качестве альтернативного решения по конструкции автошины предлагается использовать в ней вместо металлических шипов противоскольжения мелкие керамические зерна, помещаемые в резиновый материал на стадии изготовления. Они в меньшей степени изнашивают дорожное покрытие. Выпадая из зоны протектора, образуют мелкие раковины, схожие по назначению с ламелями на поверхности покрышки. Кроме того, величина частиц износа по предварительной оценке должна быть больше наноразмеров.

Анализ использования альтернативных шипов противоскольжения приводился в [1–3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гобралев, Н. Н.** Автомобильная шина – фактор безопасности работы транспорта в зимних условиях / Н. Н. Гобралев // Современные технологии, машины и материалы для зимнего содержания автомобильных дорог: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2010. – С. 25.

2. **Гобралев, Н. Н.** Достоинства и недостатки шипованной авторезины / Н. Н. Гобралев, М. А. Гюльалиев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2013. – С. 45.

3. Конструктивные особенности автошин, влияющие на её сцепные свойства / Н. Н. Гобралев [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2016. – С. 179–180.

УДК 691.5

АНАЛИЗ IT-ЭЛЕМЕНТОВ VI ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УКЛАДА
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

О. В. ГОЛУШКОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время экономический мир находится на переходном этапе между V и VI технологическими укладами. Каким он будет для строительной отрасли VI технологического уклада? Очевидно, более широко в строительную действительность войдут IT-элементы, которые сегодня еще воспринимаются как игры или просто красивая картинка будущего строения. Проанализируем те элементы, которые уже завтра станут для строителей обыденными средствами труда.

Виртуальная реальность VR позволяет увидеть объект в полной готовности до начала его строительства. Дополненная реальность AR позволяет созданный объект «посадить» на отведенное в натуре место строительства в реальном мире. Это дает полную оценку спроектированному объекту и отмечает его «сочетаемость» и архитектурную выразительность на фоне существующей городской застройки. Виртуальная и дополненная реальности были бы не возможны без BIM-проектирования, которое позволяет рассмотреть и рассчитать до мелочей конструктивные элементы частей зданий. В совокупности BIM-проектирование, VR и AR позволяют смоделировать различные ситуации на строительной площадке, предотвратить возможные аварии и ошибки при работе строительных машин, складировании материалов и изделий и расположении элементов временного хозяйства, т. е. быстрее оценить возникающие проблемы при строительстве, чем с помощью чертежей. Эти технологии обеспечиваются с помощью игрового ноутбука или планшета с соответствующим программным обеспечением, очками виртуальной реальности и монитора, на который транслируется то, что видит пользователь очков [1].

С появлением 5G-технологии VR и AR позволят выполнять отдельные строительные процессы, сидя в конторе мастера и управляя с помощью программы отдельными машинами и механизмами, не подвергая опасности окружающих работников и строения. Используя эти технологии, можно подобрать комплект машин по определенным параметрам, например, экскаватор – бортовой автомобиль по параметру емкость ковша и вместимость кузова, смоделировав ситуацию оценить возможность одновременного использования двух грузоподъемных механизмов.

Внедрение 3D-чертежей с помощью приложений на строительной площадке облегчит работу как самих генподрядных организаций, так и проверяющих органов: представителей технадзоров и авторского надзора по отслеживанию допущенного брака в выполненных объемах СМР.

В работе генподрядной организации они применяются при планировании и оценке совместной работы на отведенном фронте работ двух и более подрядчиков, проверке качества поставляемых материалов и полного соответствия материалов и выполненных работ утвержденному проекту, а также позволят просчитать выполненные объемы строительных работ, своевременно и быстро осуществить списание материалов.

Способы производства работ также меняются в сторону 3D-моделирования. Аддитивные технологии активно используются при возведении зданий [2]. Здание просто вырастает за 2–3 дня при 3D-печатании. Причем можно печатать здание целиком или собрать его из напечатанных элементов.

Данная технология имеет свои достоинства: позволяет воплотить в реальность любое дизайнерское решение, достигать высокой производительности труда, коротких сроков производства работ и низких затрат труда при этом, использовать минимальное количество дополнительных приспособлений, гарантировать установленный уровень качества, т. к. процесс укладки смеси автоматизирован и не зависит от умений и навыков машиниста, избежать мостиков холода в ограждающих конструкциях и сократить цикл отделочных работ.

К основным недостаткам можно отнести следующее: небольшая высотность возводимых объектов – 1–3 этажа, высокая стоимость строительного 3D-принтера и раствора для печатания, т. к. он имеет индивидуальный рецепт приготовления, отсутствие или слабая проработка нормативно-технической базы в данном направлении, необходимость использования стандартной техники и технологий для производства работ нулевого цикла и при устройстве перекрытий, т. к. 3D-печать имеет недоработки, которые заключаются в отсутствии возможности выполнения работ этих этапов, отсутствии потребности со стороны заказчиков в таких строениях, т. к. существующий уровень строительно-монтажного процесса и последующих строений всех удовлетворяет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Warszawski, A.** Implementation of robotics in building / A. Warszawski, R. Navon // Current status und future prospects. Journal of Construction Engineering and Management. – 1998. – № 124 (1). – P. 31–41.
2. 3D-печать в строительстве / Н. И. Ватин [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – № 1. – С. 27–46.

УДК 691.5

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

О. В. ГОЛУШКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Согласно статистическим данным, энергопотребление в строительной отрасли достигает 10 % от общего по народному хозяйству. Это значительные показатели в условиях, когда республика не богата на природные ресурсы.

Рассмотрим подробнее составляющие энергопотребления на строительной площадке. Расход энергии во время производства работ по возведению зданий и сооружений осуществляется на:

1) обеспечение необходимого уровня механизации технологических процессов – определяется работой грузоподъемной техники, электросиловых установок, технологического оборудования и электроинструмента. Применение той или иной техники зависит от объемно-планировочного и конструктивного решения строящегося объекта, от принятой организационно-технологической схемы строительства и требований, предъявляемых заказчиком к продолжительности строительства;

2) обеспечение бытового содержания строительной площадки – наличие обогреваемого бытового городка, его состав и полнота номенклатуры временных зданий. Данная составляющая зависит от количества рабочих на строительной площадке и их культуры поведения по отношению к энергопотреблению, трудовой дисциплины и определяется периодом строительства и его продолжительностью;

3) обеспечение освещения территории площадки и зоны производства работ, открытых складов – данная составляющая зависит от площади строительной площадки и площади открытых складов, определяется уровнем ее компактности.

В среднем энергопотребление на строительной площадке распределяется согласно рис. 1.

Было проанализировано энергопотребление на строительной площадке при возведении жилого монолитного дома с каркасной схемой высотой в 9 этажей, длина здания составляет 48 м, ширина – 18 м, высота – 22,5 м. Здание состоит из двух секций. Для выявления зависимости энергетического потенциала строительной площадки от организационно-технологической схемы возведения объекта примем следующее.

1. Возведение коробки здания осуществляется на двух захватках с помощью башенного крана КБ-405 и для подачи бетона используется бадья «Туфелька БП» емкостью 1,0 м³.

2. Возведение коробки здания осуществляется на двух захватках с помощью автобетононасоса.

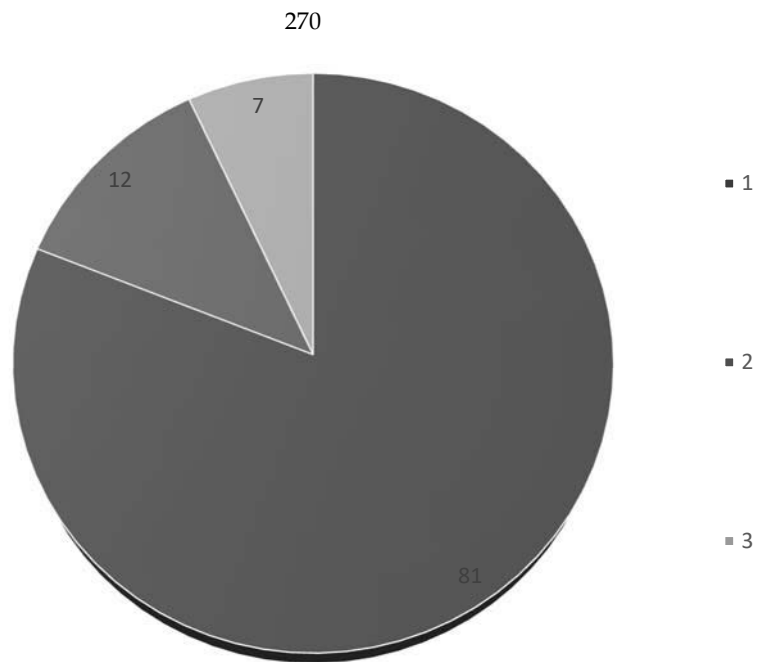


Рис. 1. Энергопотребление строительной площадки: 1 – на выполнение технологических процессов; 2 – на содержание бытового городка; 3 – на освещение территории строительной площадки

По результатам моделирования процесса возведения данного объекта было установлено, что бетонирование каркаса здания по второй организационно-технологической схеме выполняется быстрее в 2,5 раза без учета технологических перерывов на набор прочности бетоном. При этом затраты на энергопотребление выше в 1,75 раза по первой организационно-технологической схеме. Кроме этого, при подсчете состава бригады для производства работ с помощью крана установлено, что она состоит из 12 чел., тогда как состав бригады при бетонировании бетононасосом – 10 чел. Компактность строительной площадки будет лучше при реализации второго варианта организационно-технологической схемы. Меньшая территория будет находиться в опасной зоне работы машин и механизмов. Энергопотребление на освещение территории строительства и зоны производства работ будет ниже по второму варианту на 15 %.

Таким образом, видим, что изменение организационно-технологической схемы возведения только по фактору уровень механизации технологического процесса отражается положительной динамикой на энергопотреблении строительной площадки. В дальнейшем более подробно рассмотрим другие составляющие и их влияние на процессы энергопотребления в монолитном домостроении.

UDC 624.072.14

TECHNICAL SOLUTIONS FOR REHABILITATION OF REINFORCED
CONCRETE RIBBED SLABS

S. V. DANILOV, V. A. ALEKSANDROV, A. A. SHILO

Belarusian-Russian University

Mogilev, Belarus

The constant need to repair and reinforce ribbed reinforced concrete cover slabs reveals the need to describe and structure current methods of structural rehabilitation.

Existing reinforcement solutions can be divided into two main groups: traditional and innovative (using composite materials). The traditional ones are: building up the top layer of monolithic reinforced concrete, installing additional monolithic reinforced concrete ribs, installing piers on transversal ribs, installing piers on longitudinal ribs, installing sprue reinforcement in joints between slabs, installing unloading metal beams. The main method using composite materials is external reinforcement.

For an overall assessment of both groups of technical solutions, it is necessary to look in more detail at the technology and features of each method.

The technology of building up the reinforced concrete layer consists of several steps: notching the upper surface of the ribbed slab, removing the protective layer in the middle of the slab and exposing the reinforcement, cleaning the surface and installing the reinforcement, laying the cement batter, laying and compacting the concrete mix.

The method of supplying additional monolithic reinforced concrete ribs consists of creating unloading structures to reduce the tensile zone. The technological process includes making holes in the body of the slab, installing formwork, installing structural reinforcement, placing and compacting the concrete mix, and dismantling the formwork.

Methods using metallic supplementary structures can be grouped together into one group, the characteristics of which will be less labour and time-consuming, but higher metal consumption.

Composite solutions are less common due to their high cost. The price of the most common high-strength carbon and glass fibre is usually compensated for by the labour intensity of the work and the ability to carry it out without interrupting the operation of the facility. The use of this type of material is due to its high strength and modulus of elasticity.

The main advantages of modern methods of restoring the performance of ribbed slabs are their higher physical and mechanical properties, resistance to corrosion, low thermal conductivity and the low dead weight of the material.

When reinforcing structures, the greatest effect is achieved by covering the selected cross-section entirely with solid strips of composite material.

The external reinforcement method involves four basic steps. The first is surface preparation, which is divided into marking the structure, cleaning the surface from finishing building materials and cement mortar. The second stage is the trimming of the material panels to the size of the reinforcement design, the preparation of adhesive components and the application of the first layer of binder. The third part is subdivided into the installation of composite reinforcement panels, removal of cavities and excess adhesive composition. The fourth and final step is the application of protective coatings on the new reinforcement.

When using fabric composites as the external reinforcement material, pre-packaging and impregnation with a low-viscosity resin is necessary.

After structuring and evaluating the technical solutions for reinforcing reinforced concrete ribbed slabs, the main disadvantages and advantages of the different methods must be highlighted.

Conventional methods lead to an increase in the dead weight of the structure, which increases the design load and reduces the effectiveness of the reinforcement. Also, in some cases it is not possible to rehabilitate the slabs using such methods without interrupting the operation of the building, which increases the final cost of the work. The main advantages are the low price of materials and work and the technological simplicity of execution.

The use of composite materials has two significant disadvantages: the high price of the raw material, which does not allow for widespread use of this technical solution at the present time, and peeling of the bonding adhesive under high and low temperatures in the operating conditions of the reinforced structure.

For the most complete comparative analysis of all technical solutions to restore the performance characteristics, it is necessary to conduct a numerical analysis of the labor cost of the work, the cost of materials required for each method, the cost of work, the possibility of work without stopping the operation of the object. After obtaining the results for each item and further comparison of the results, it will be possible to identify the best solutions for reinforcing the reinforced concrete ribbed slabs.

In real site conditions, the choice of rehabilitation method for reinforced concrete ribbed slabs depends on many factors and must be tailored to each technical solution.

УДК 69.059

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХОЗАБОРНОЙ КАМЕРЫ СКЛАДА № 1 НА ТЕРРИТОРИИ ИООО «ВМГ ИНДУСТРИ»

С. В. ДАНИЛОВ, И. Л. ОПАНАСЮК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Работы по обследованию ограждения воздухозаборной камеры № 9 в осях П-П*/6'-12' объекта: «Реконструкция корпуса производства мебели, реконструкция склада материалов и готовой продукции, расположенных по адресу: Могилевская область, Могилевский район, Вейнянский с/с, 16. Склад № 1, первая очередь строительства» на территории ИООО «ВМГ Индустри» выполнялись на основании хозяйственного договора ХД 2125 от 29.04.2021 г. между ИООО «ВМГ Индустри» и Межгосударственным образовательным учреждением высшего образования «Белорусско-Российский университет» в мае 2021 г. Причиной обследования воздухозаборной камеры послужили значительные деформации ее ограждения (рис. 1).

В процессе обследования был осуществлен предварительный осмотр конструкций ограждения воздухозаборной камеры, изучено конструктивное решение, выполнено обследование указанной камеры, дана оценка ее технического состояния и предложены мероприятия по восстановлению эксплуатационных качеств ограждения обследуемой воздухозаборной камеры [1].

Воздухозаборная камера № 9 расположена в осях П-П*/6'-12' склада № 1 и снаружи ограждена стеновым ограждением из сэндвич-панелей, а внутри помещения – газосиликатными перегородками толщиной 200 мм и высотой 5,03 м. Плотность газосиликатных блоков D500 кг/м³. По верху камера перекрыта профилированным стальным настилом, пригруженным набетонкой толщиной 100 мм.

В результате изучения метеорологических условий по г. Могилеву выявлено, что в период с января по февраль 2021 г. при скоростном напоре наружного ветра до 16 м/с и его значительном напоре внутри камер, создаваемом ветром через вентиляционные решетки, газосиликатная перегородка значительно деформировалась, в результате чего образовались крен по вертикали во внутрь здания и силовые трещины. Факт деформирования газосиликатной перегородки приведен на рис. 1.

При изучении действующих ТНПА установлено, что: в соответствии с п. 5.1.9 СН 1.03.01–2019 [2] высота неармированных нераскрепленных каменных перегородок толщиной 9 см не должна превышать 1,5 м, а перегородок толщиной 12 см – 1,8 м; в соответствии с п. 5.1.10 СН 1.03.01–2019 [2] предельная высота возведения свободно стоящих каменных стен (без укладки перекрытий или покрытий) не должна превышать 2,3 м (табл. 5.1 СН 1.03.01–2019 [2]). При необходимости возведения свободно стоящих стен большей высоты следует применять временные крепления в соответствии с проектной документацией; гибкость перегородки соответствует требованиям СП 5.02.01–2021 [3].

а)



б)



Рис. 1. Вид на обследуемую воздухозаборную камеру: *а* – вид на крен ограждения воздухозаборной камеры; *б* – силовая вертикальная трещина в ограждении камеры

Результаты выполненного обследования воздухозаборной камеры свидетельствуют о том, что ограждающая камеру газосиликатная перегородка разрушилась, т. к. запроектирована и устроена с нарушениями требований вышеприведенных пунктов ТНПА, является свободно стоящей, нераскрепленной с наружными стенами и колоннами. Плотность газосиликатных блоков недостаточная. Устроенное покрытие из профилированного стального настила и набетонки недостаточное для раскрепления перегородки, не было заанкерено со стальными балками стенового ограждения, а также самими газосиликатными перегородками. Следы анкеровки перегородки к балке стенового ограждения отсутствуют (см. рис. 1).

По результатам проведения оценки технического состояния и обследования воздухозаборной камеры № 9, расположенной в осях П-П*/6'-12' склада № 1 на территории ИООО «ВМГ Индустри», заказчику рекомендовано аварийные газосиликатные перегородки ограждения камеры разобрать (демонтировать) и выполнить новое ограждение из сэндвич-панелей с соблюдением требований действующих ТНПА.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническое состояние зданий и сооружений = Тэхнічны стан будынкаў і збудаванняў: СН 1.04.01–2020. – Введ. 27.10.2020. – Минск: Стройтехнорм, 2020. – 68 с.
2. Возведение строительных конструкций, зданий и сооружений = Узвядзенне будаўнічых канструкцый, будынкаў і збудаванняў: СН 1.03.01–2019. – Введ. 29.11.19. – Минск: Стройтехнорм, 2021. – 123 с.
3. Каменные и армокаменные конструкции = Мураваныя армамураваныя канструкцыі: СП 5.02.01–2021. – Введ. 01.04.21. – Минск: Стройтехнорм, 2021. – 114 с.

УД 624.072

РАСЧЕТ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ СЕРИЙНЫХ ПЛИТ ТИПА ПАГ НА УПРУГОМ СЛОЕ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

В. А. ДУДОРГА

Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

В современном строительстве автомобильных дорог, мостов, эстакад, путепроводов по различным причинам жесткие цементобетонные покрытия, как монолитные, так и сборные железобетонные, интенсивно вытесняют гибкие асфальтобетонные покрытия и приходят им на смену, т. к. они предназначены для движения автомобильного транспорта с большей интенсивностью, скоростью и грузоподъемностью.

Предлагается использовать общий подход для расчета дорожного покрытия из серийных плит типа ПАГ-14 на упругом основании (рис. 1), моделируемом упругим слоем переменной толщины на несжимаемом основании. Данный способ основан на смешанном методе и способе Б. Н. Жемочкина (БНЖ), что дает возможность производить расчёты соединенных шарнирно изолированных плит или балок любой жесткости и формы на всевозможных моделях упругого основания на различную вертикальную нагрузку.

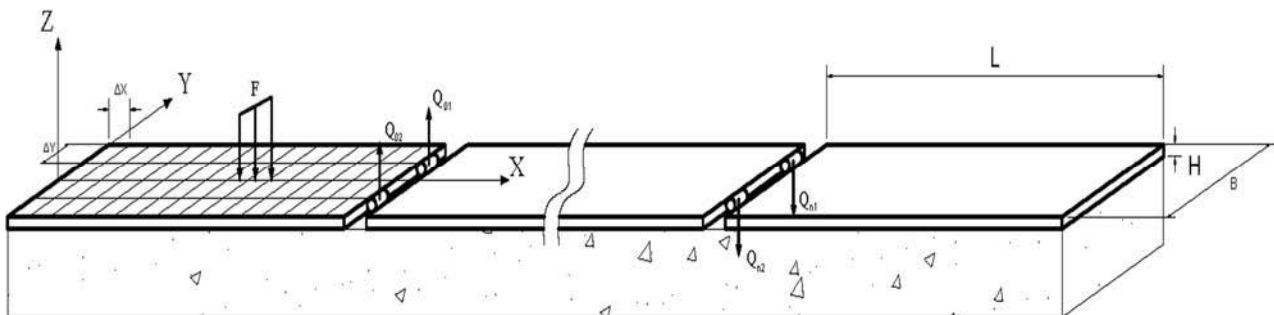


Рис. 1. Дорожное покрытие из серийных плит типа ПАГ

Серийная плита типа ПАГ-14 представляет собой плоский прямоугольный железобетонный блок с наличием закладных элементов на боковых гранях для их транспортировки и укладки. Она изготовлена из высокопрочного бетона, способного выдерживать нагрузки до 75 т. Это позволило использовать такие плиты не только при строительстве взлетно-посадочных полос, но и в дорожном строительстве при устройстве магистральных и временных дорог.

Рассматривается система из N_p шарнирно-соединенных серийных плит типа ПАГ на упругом слое переменной толщины ($H = H_1, H_2, H_3$ для каждого расчета соответственно) под воздействием внешней нагрузки аналогично системе прямоугольных плит на трехслойном основании, теория и алгоритм расчета которых был рассмотрен ранее О. В. Козуновой в [1].

Краевые плиты этой шарнирно-соединенной конструкции также соединены шарнирно с несжимаемым основанием. В результате решения сформулированной задачи определяются осадки каждой плиты, реактивные давления и усилия во введенных связях Б. Н. Жемочкина в контактной зоне плит с основанием.

Считается, что на контакте плиты с упругим основанием действуют только нормальные напряжения, трением пренебрегаем; для плит справедливы гипотезы теории изгиба, шарниры между плитами являются идеальными, цилиндрическими. Распределение реактивных давлений по ширине плиты – равномерное.

Каждая плита разбивается на равные участки размерами $\Delta x \times \Delta y$ и в центре каждого участка размещается вертикальная связь, которая осуществляет контакт плиты с упругим основанием. Примем, что напряжение в связи вызывает равномерную эпюру давлений в границах участка. В итоге статически неопределимую систему решим смешанным методом строительной механики, принимая за неизвестные усилия в связях, линейные и угловые перемещения защемлений в центре каждой плиты и поперечные силы в соединительных шарнирах.

Канонические уравнения смешанного метода для получения результатов примут вид, представленный в [2]. Коэффициенты при неизвестных решаемой системы зависят от исследуемых перемещений основания и прогибов каждой плиты с защемленной нормалью под действием единичной силы. Вертикальные перемещения упругого слоя определяются выражением [3]

$$W(R) = \frac{P(1-\nu_0^2)}{\pi E_0 R} + \frac{P(1-\nu_0^2)}{\pi E_0 h} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{a_n \Gamma(n+1)}{\left(4 + \frac{R^2}{h^2}\right)^{\frac{n+1}{2}}} P_n\left(\frac{2h}{\sqrt{R^2 + 4h^2}}\right). \quad (1)$$

Получено развитие универсальной методики статического расчета системы шарнирно-соединенного дорожного покрытия из серийных плит типа ПАГ на упругом слое дискретно переменной толщины. Методика расчета основана на методе Б. Н. Жемочкина и может быть применена для любого количества сборных железобетонных плит дорожного покрытия и различных моделей упругого основания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Козунова, О. В.** Использование модели трехслойного основания в расчетах шарнирно-соединенных дорожных плит / О. В. Козунова // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та. Сер. Строительство и архитектура. – 2020. – № 1. – С. 49–52: ил.
2. **Козунова, О. В.** Статический расчет дорожной плиты на слоистом основании / О. В. Козунова // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – Вып. 11. – С. 134–138.
3. **Босаков, С. В.** Контактная задача для шарнирно-соединенных прямоугольных плит на упругом основании / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: сб. науч. ст. XXI Международ. науч.-метод. семинара, Брест, 25–26 окт. 2018 г.: в 2 ч. – Брест: БрГТУ, 2018. – Ч. 1. – С. 308–313.

УДК 624.072

УЧЕТ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БАЛОЧНОЙ ПЛИТЫ С УПРУГИМ ОСНОВАНИЕМ

О. В. КОЗУНОВА, А. Г. ПУСЕНКОВ

Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

Расчет упругого основания и балочной плиты с учетом касательных напряжений в общем виде является чрезвычайно сложной биконтактной задачей (т. е. задачей с двумя контактными поверхностями).

Из-за разнообразия конструктивных решений плит и грунтовых условий в настоящее время нет возможности дать строгое решение пространственной задачи. В связи с этим допускают использование приближенного решения, согласно которому влияние жесткости балочной плиты и реактивных касательных напряжений на расчетные величины плитного фундамента определяют строго в плоской постановке. Затем результаты такого расчета используют для приблизительной оценки влияния указанных факторов на результаты расчетов по действительной пространственной схеме, выполненных по существующим методам без учета этих факторов [1].

Взаимодействие балочной плиты и упругого основания с ленточного фундамента с учетом касательных напряжений в зоне контактного взаимодействия по сути является разновидностью контактных задач теории упругости [2], решение которой возможно в нелинейной постановке при работе упругих сред в зоне небольших упруго-пластических деформаций, т. е. с учетом физической нелинейности.

Учет нелинейности деформирования балочной плиты позволяет увеличить, как правило, допустимую нагрузку на плиту за счет перераспределения и уменьшения максимальных значений усилий, но при этом обнаруживается резкое возрастание неравномерности осадок. Данные нелинейного расчета позволяют выполнить достоверную оценку работы конструкции по предельным состояниям эксплуатационной пригодности.

Постановка задачи. Балочная плита ленточных фундаментов неглубокого заложения находится на упругом однородном слое глубиной (толщиной) H с приложенной внешней нагрузкой $q(x)$. Параметры плиты следующие: высота плиты h , ширина плиты $2l$, изгибная жесткость EJ . Вводим *гипотезы (предположения) и допущения* для расчета балочных плит на упругом основании: допущения и гипотезы теории упругости справедливы для рассчитываемой области упругого основания; допущения и гипотезы плоского изгиба балки (плиты) справедливы для плиты; при моделировании контактной зоны между балочной плитой и основанием могут возникать и растягивающие, и сжимающие напряжения, силы трения при моделировании учитываются, также учитываются касательные напряжения в зоне контактного взаимодействия.

Для решения рассматриваемой задачи применяется вариационно-разностный метод (ВРМ) [3], который реализуется в перемещениях через конечно-разностные соотношения теории упругости (случай плоской деформации) при использовании в решении функционала полной потенциальной энергии деформации системы, состоящей из плиты, упругого основания и зоны контактного взаимодействия.

Величина полной потенциальной энергии балочной плиты на упругом основании $\mathcal{E}$ состоит из энергии деформации плиты U , энергии деформации упругого основания A и работы внешней нагрузки P :

$$\mathcal{E} = U + A + P. \quad (1)$$

Хотелось бы отметить, что при составлении соотношения полной энергии деформации упругого основания A в формуле (1) был выполнен учет касательных напряжений в контактной зоне в дополнительном слагаемом: энергия сцепления в контактной зоне плиты с основанием, т. е.

$$A = U_f + U_t, \quad (2)$$

где U_f – энергия деформации упругого основания (плоская деформация) [3]; U_t – энергия сцепления в контактной зоне плиты с основанием.

Предлагаемая методика статического расчета позволяет определить внутренние усилия в балочной плите и осадки упругого основания под плитой с учетом касательных напряжений в контактной зоне, достаточно полно исследовать эту зону взаимодействия балочной плиты с упругим основанием, а также получить полную картину влияния касательных напряжений на напряженно-деформированное состояние упругого основания. Численная реализация ВРМ производится методом конечных разностей (МКР) в вариационной постановке в программном пакете *Mathematica 11.3*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа. Разработано к СНиП II-15-74. – Москва: Стройиздат, 1984. – 265 с.
2. **Александров, А. В.** Основы теории упругости и пластичности: учебник для строительных специальностей вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – 2-е изд., испр. – Москва: Высшая школа, 2002. – 400 с.
3. **Козунова, О. В.** Особенности проектирования плитных фундаментов на многослойных основаниях со слабыми слоями грунтов / О. В. Козунова // Рекомендации по проектированию и устройству рациональных фундаментов на основаниях, сложенных озерно-ледниковыми и лессовидными грунтами: Р 5.01.056.09: введ. 01.10.09. – Минск: Стройтехнорм, 2009. – Гл. 8. – С. 39–47.

УДК 624.072

РАСЧЕТ КРЕСТООБРАЗНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ НА ВИНКЛЕРОВСКОМ ОСНОВАНИИ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

О. В. КОЗУНОВА, А. С. ХАРЛАП

Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

В инженерной практике часто встречаются балочные элементы конструкций, лежащие на сплошном упругом основании. К таким конструкциям могут быть отнесены шпалы железнодорожного пути, ленточные фундаменты зданий, фундаменты плотин, опирающиеся на грунты, балки, плавающие в жидкости, и др. Расчет балки на упругом основании в строгой математической постановке сводится к решению контактной задачи между конструкцией и основанием. Сложность решения подобных задач общеизвестна, поэтому для инженерных расчетов применяются приближенные подходы.

Ленточные фундаменты, как система перекрестных балок или крестообразная стержневая система, могут быть рассчитаны разными классическими методами строительной механики (смешанный метод, метод Жемочкина, метод Ритца и т. д.), в том числе и возможно использование метода перемещений.

Рассматриваемая крестообразная стержневая система состоит из четырех консольных балок, обладает полной симметрией и рассчитывается на воздействие равномерно распределенной нагрузки.

Ранее, в исследованиях С. В. Босакова и О. В. Козуновой [1], было получено решение однородного дифференциального уравнения для консольных балок и в результате преобразований вычислены опорный момент и вертикальная реакция. Вертикальная реакция в защемлении при линейном единичном смещении представлена в следующем виде:

$$r_{11} = \frac{EI\lambda^3(-2\cos h[\lambda]\sin[\lambda] - 2\cos[\lambda]\sin h[\lambda])}{2L^3(1 + \cos[\lambda]\sin[\lambda] - 2\cos h[\lambda])}, \quad (1)$$

где λ – показатель гибкости контактного взаимодействия, который может изменяться в диапазоне от нуля до бесконечности (в зависимости от жесткости упругой среды), приводя к неопределенности решения, и вычисляется по формуле

$$\lambda = \frac{kL^4}{EL}, \quad (2)$$

где k – коэффициент постели упругого основания; EL – изгибная жесткость балки.

Решение неоднородного дифференциального уравнения изгиба балки на упругом основании при действии распределенной нагрузки после проведенных преобразований решения [2] представлено в виде

$$Y(x) = \frac{q}{k} + A\cos\left[\lambda\frac{x}{L}\right] + B\sin\left[\lambda\frac{x}{L}\right] + C\cos\left[\lambda\frac{x}{L}\right] + D\sin\left[\lambda\frac{x}{L}\right], \quad (3)$$

где A, B, C, D – константы интегрирования, которые определяются из условий закрепления балки (граничных условий).

Граничные условия задачи для балки с левым защемлением и правым свободным концом таковы: при $x = 0$: $y = y' = 0$; при $x = L$: $y'' = 0$; $y''' = 0$.

В результате преобразований были получены следующие константы интегрирования:

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{q(\cos[\lambda]\cosh[\lambda] + \cosh[\lambda]^2 - \sin[\lambda]\sinh[\lambda] - \sinh[\lambda]^2)}{k(\cos[\lambda]^2 + 2\cosh[\lambda]\cos[\lambda] + \cosh[\lambda]^2 + \sin[\lambda]^2 - \sinh[\lambda]^2)}; \\
 B &= \frac{q(\cos[\lambda]\sin[\lambda] + \cos[\lambda]\sinh[\lambda])}{k(\cosh[\lambda]^2 + 2\cosh[\lambda]\cos[\lambda] + \cosh[\lambda]^2 + \sin[\lambda]^2 - \sinh[\lambda]^2)}; \\
 C &= \frac{q(\cos[\lambda]^2 + \cos[\lambda]\cosh[\lambda] + \sin[\lambda]^2 + \sin[\lambda]\sinh[\lambda])}{k(\cos[\lambda]^2 + 2\cosh[\lambda]\cos[\lambda] + \cosh[\lambda]^2 + \sin[\lambda]^2 - \sinh[\lambda]^2)}; \\
 D &= \frac{q(\cos[\lambda]\sin[\lambda] + \cos[\lambda]\sinh[\lambda])}{k(\cos[\lambda]^2 + 2\cosh[\lambda]\cos[\lambda] + \cosh[\lambda]^2 + \sin[\lambda]^2 - \sinh[\lambda]^2)}. \quad (4)
 \end{aligned}$$

Подставив полученные константы интегрирования (4) в уравнение прогибов (3), вычисляется опорная реакция от распределенной нагрузки, формула которой представлена в виде

$$R_{1p} = \frac{EIq\lambda^3(-2\cos[\lambda]\sin[\lambda] - \cos[\lambda]\sinh[\lambda])}{2L^3(k + k\cos[\lambda] + \cosh[\lambda])}. \quad (5)$$

Уравнение метода перемещений для крестообразной симметричной рамы (состоящей из четырех балок) под распределенной нагрузкой с учетом соотношений для удельной реакции (1) и грузовой реакции (5) имеет вид:

$$\begin{aligned}
 &4 \frac{EI\lambda^3(-2\cos[\lambda]\sin[\lambda] - 2\cos[\lambda]\sinh[\lambda])}{2L^3(1 + \cos[\lambda] + \cosh[\lambda])} Z_1 - \\
 &- 4 \frac{EIq\lambda^3(-2\cosh[\lambda]\sin[\lambda] - 2\cos[\lambda]\sinh[\lambda])}{2L^3(k + k\cos[\lambda] + \cosh[\lambda])} = 0. \quad (6)
 \end{aligned}$$

В результате решения уравнения (6) определяется величина вертикального перемещения жесткой заделки:

$$Z_1 = \frac{q}{k}.$$

Полученный результат справедлив только для крестообразной полностью симметричной рамы под распределённой нагрузкой. При изменении одного из условий результат вычислений будет изменяться.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Босаков, С. В. Метод перемещений в расчетах системы перекрестных балок на упругом основании Винклера / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2019. – № 2. – С. 12–16.
2. Старовойтов, Э. И. Механика материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель: БелГУТ, 2011. – 380 с.

УДК 539.3

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОНТАКТНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПЛАСТИНКИ ПРИ УСЛОВИИ РАВЕНСТВА ЕЕ НЕКОТОРЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Ю. Н. КОТОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рассматривается расчет пластинки на упругом основании при условии, что часть точек пластинки при ее изгибе от внешней нагрузки лежат в одной наклонной плоскости. Упругое основание, на котором располагается пластинка, считается упругим однородным изотропным полупространством.

Для определения контактных напряжений между пластинкой и основанием используется способ Жемочкина. Система разрешающих канонических уравнений включает в себя уравнения способа Жемочкина и уравнения нахождения отдельных точек пластинки в наклонной плоскости. В результате решения системы определяются усилия в связях Жемочкина и неизвестные силы, приложенные к пластинке и вызывающие перемещения ряда точек в одной наклонной плоскости. Далее находятся перемещения пластинки и усилия в ней.

В качестве примера выполнен расчет металлической базы (рис. 1) размерами опорной плиты $0,64 \times 0,52 \times 0,04$ м на бетонном фундаменте с упругими постоянными – $E_0 = 30600$ МПа, $\nu_0 = 0,17$. Колонна – сварная двутаврового сечения, размером $0,4 \times 0,28$ м опирается на базу симметрично. Контактная зона двутавра с опорной плитой содержит 22 участка Жемочкина. Центры этих участков принадлежат базе, находятся в одной наклонной плоскости и имеют одинаковые угловые перемещения. Из-за действия асимметричной вертикальной нагрузки с равнодействующей R принято, что равнодействующая внешних сил R проходит через центр участка Жемочкина под № 107. Система разрешающих уравнений имеет 233 порядок.

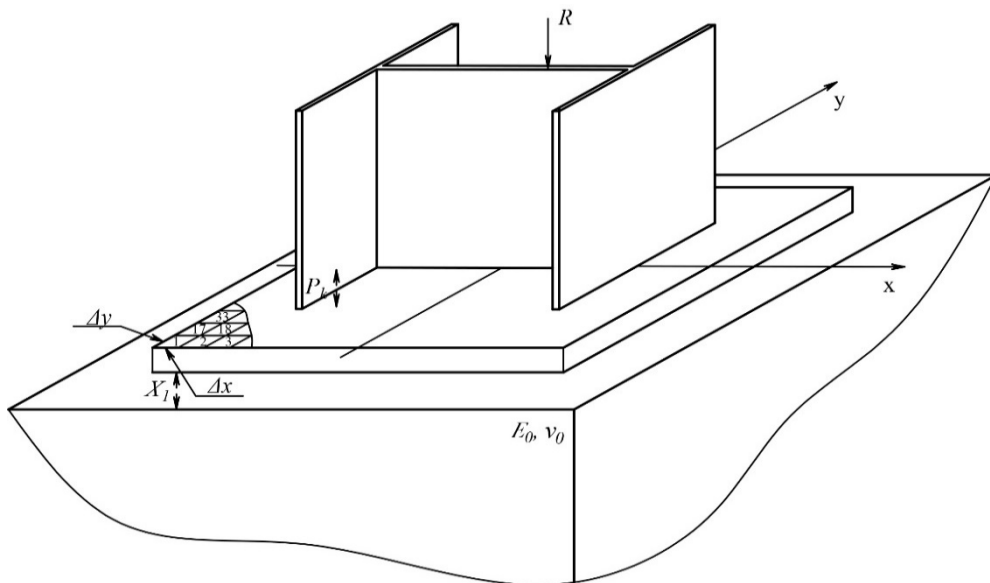


Рис. 1. Металлическая база колонны на упругом основании

После решения системы находились контактные напряжения и определялись перемещения (рис. 2 и 3).

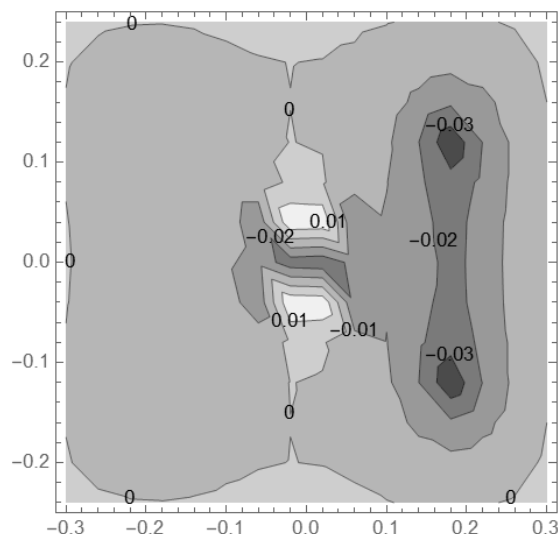


Рис. 2. Изолинии распределения равных контактных напряжений в пластинке от $R = 1$

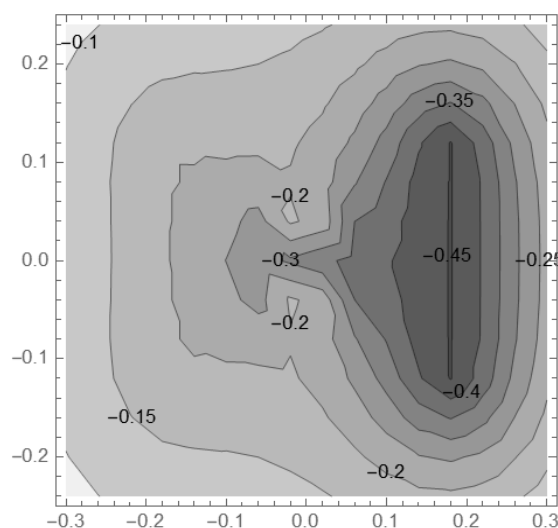


Рис. 3. Изолинии распределения вертикальных перемещений в долях от $\frac{R(1-\nu_0^2)}{\pi E_0 \Delta x}$

Все расчеты выполнялись в программном комплексе *Wolfram Mathematica 12.2*.

Предлагаемая методика позволяет найти вертикальные перемещения пластинки, распределение контактных напряжений и силы, обеспечивающие нахождение некоторых перемещений пластинки в одной плоскости. Полученные результаты могут быть пригодны для использования, в частности, на стадии эксплуатации металлической базы колонны и для расчета фундаментных плит многоэтажных зданий также на стадии эксплуатации.

Данная методика позволяет рассчитывать пластинки с рядом точек, лежащими на одной плоскости, при любых моделях упругого основания.

УДК 624.01.007

ЭФФЕКТИВНОЕ РАЗГРАНИЧЕНИЕ ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКТОВ ЭКСКАВАТОР – АВТОСАМОСВАЛЫ

Л. В. КУРНОСЕНКО, В. А. КАТКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Основной особенностью на практике при производстве земляных работ является то, что способы разработки и перемещения грунта известны заранее. Они предопределяются наличием у строительной организации конкретного парка экскаваторов, укомплектованного автосамосвалами для транспортировки грунта, остающегося неизменным на протяжении длительного периода времени. Поэтому основной задачей строительной организации при эффективном разграничении использования конкретных комплектов экскаваторов с автосамосвалами становится учет местных условий производства работ: объемов работ на объектах, дальности возки грунта и условий устройства подъездных дорог к месту возки грунта. Анализ выполненных расчетов показывает, что даже незначительное изменение этих условий приводит к перерасчету затрат на производство работ, требующему достаточно большого количества времени. Значительно позволит упростить выбор наиболее эффективного использования каждого комплекта машин в конкретных заданных местных условиях производства работ определение такого параметра, как граничный объем V_o . Формулу для его вычисления можно получить, приравняв выражения для нахождения общих затрат по первому Z_1 и второму Z_2 комплекту механизмов. Для расчета затрат применяется общий подход, изложенный в [1], переработанный с учетом современных положений технических и экономических расчетов. Все объекты можно разделить на две группы: первая – объекты с постоянной длиной подъездной дороги; вторая – объекты, длина подъездной автодороги к которым прямо пропорциональна дальности перевозки грунта, или для отвоза грунта от которых используются действующие автодороги, требующие усиления или устройства объездов.

Для первой группы

$$V_o = f(L, l),$$

где L – средняя дальность возки грунта, км; l – длина подъездной дороги, км.

Для второй группы

$$V_o = f(L, w),$$

где L – средняя дальность возки грунта, км; w – отношение длины подъездной дороги к средней дальности возки грунта, %.

Варьируя величинами L , l и w , можно определить соответствующие граничные значения объемов работ на объектах и по полученным расчетным данным построить графики, применение которых позволяет достаточно просто установить область предпочтительного применения каждого из сравниваемых экскаваторов. В целях апробации данного подхода разработаны зоны рационального использования экскаваторов ЭО-4112А с автосамосвалами МАЗ-5550 В5 420/480 и Э-4121А с автосамосвалами МАЗ-6516 для объектов первой группы (рис. 1, а) и объектов второй группы (рис. 1, б).

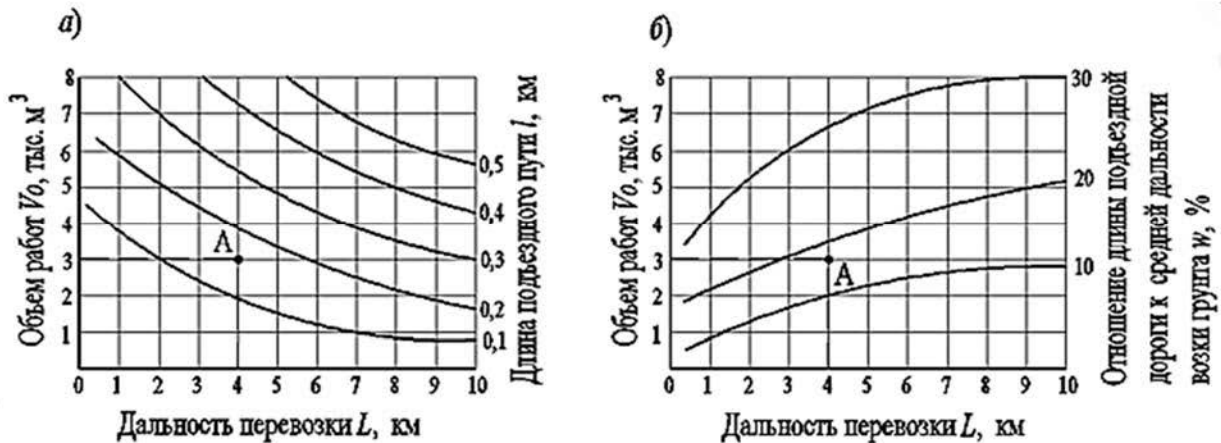


Рис. 1. Зоны рационального использования экскаваторов ЭО-4112А с автосамосвалами МАЗ-5550 В5 420/480 и Э-4121А с автосамосвалами МАЗ-6516: а – для объектов первой группы; б – для объектов второй группы

На пересечении значений объема работ на объекте и дальности возки грунта определяется точка А. Если на графике данная точка находится под кривой, показывающей зависимость граничного объема работ при конкретном значении l или w , наиболее эффективным будет первый комплект механизмов, если над кривой – второй комплект. Так, например, при объеме работ на объекте, равном 3 тыс. м³, дальности перевозки грунта 4 км и длине подъездного пути 0,1 км наиболее эффективным будет комплект с экскаватором ЭО-4112А, а при длине подъездного пути 0,2 км и более – с Э-4121А (см. рис. 1, а). Аналогичным образом определяется эффективность рациональной эксплуатации этих машин на объектах второй группы: при объеме работ на объекте 3 тыс. м³, дальности перевозки грунта 4 км и $w=10\%$ наиболее эффективным будет комплект с экскаватором ЭО-4112А, а при $w=20\%$ и более – с Э-4121А (см. рис. 1, б). Данная методика позволяет в короткие сроки строительной организации эффективно разграничить область применения двух конкретных комплектов экскаватор – автосамосвалы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Киевский, В. Г.** Экономическая эффективность новой техники в строительстве / В. Г. Киевский. – Москва: Стройиздат, 1991. – 143 с.

УДК 697.381

К ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАЛОРИФЕРНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ДЛЯ УЧЕБНОГО КОРПУСА № 5

Н. В. КУРОЧКИН, А. Ю. БОРОДИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

До недавнего времени учебный корпус № 5 Белорусско-Российского университета отапливался местной котельной установкой. На данный момент установка непригодна для эксплуатации, как следствие, учебный корпус не может полноценно функционировать в отопительный сезон.

На данный момент котельная установка является одной из самых распространенных систем отопления, однако имеет ряд недостатков:

- для бесперебойного функционирования необходимо наличие специалиста, имеющего соответствующее образование для обслуживания котельной установки, компетентности штатного слесаря может быть недостаточно;
- функционирование котельной установки подразумевает необходимость постоянной закупки и хранения твердого топлива, что приводит к значительным материальным издержкам;
- теплоноситель системы отопления от нагревательного котла проходит путь по контуру, имеющему значительную протяженность, что приводит к значительным тепловым потерям и, как следствие, к значительному объему сжигаемого твердого топлива, что экономически нецелесообразно.

В связи с вышеуказанными недостатками в качестве системы отопления учебного корпуса предлагается применение калориферной установки, запитанной от магистрали центрального горячего водоснабжения.

Применение предлагаемой установки имеет следующие преимущества:

- нагретый воздух, выходя из установки, отдает излишнюю тепловую энергию обратно на теплообменник, что дает экономический эффект за счет снижения потребления установкой тепла от внешнего теплоносителя;
- данная установка позволяет равномерно нагревать помещения за счет конвекции воздуха, что актуально, т. к. высота помещений превышает 4 м;
- за счет отсутствия тепловой инерции системы с помощью датчиков контроля температуры возможно автоматически регулировать температуру каждого помещения;
- за счет высокой удельной площади контакта нагревающего устройства и объема входящего потока воздуха желаемая температура воздуха достигается за достаточно короткий период времени;
- предлагаемая установка не требует постоянного контроля обслуживающего персонала, необходимы лишь периодические проверки, т. к. в основном установка работает в автоматическом режиме;
- рабочий контур, по которому проходит теплоноситель, значительно меньше в сравнении с водяной системой отопления, что приводит к снижению потерь теплоты и повышению эффективности системы.

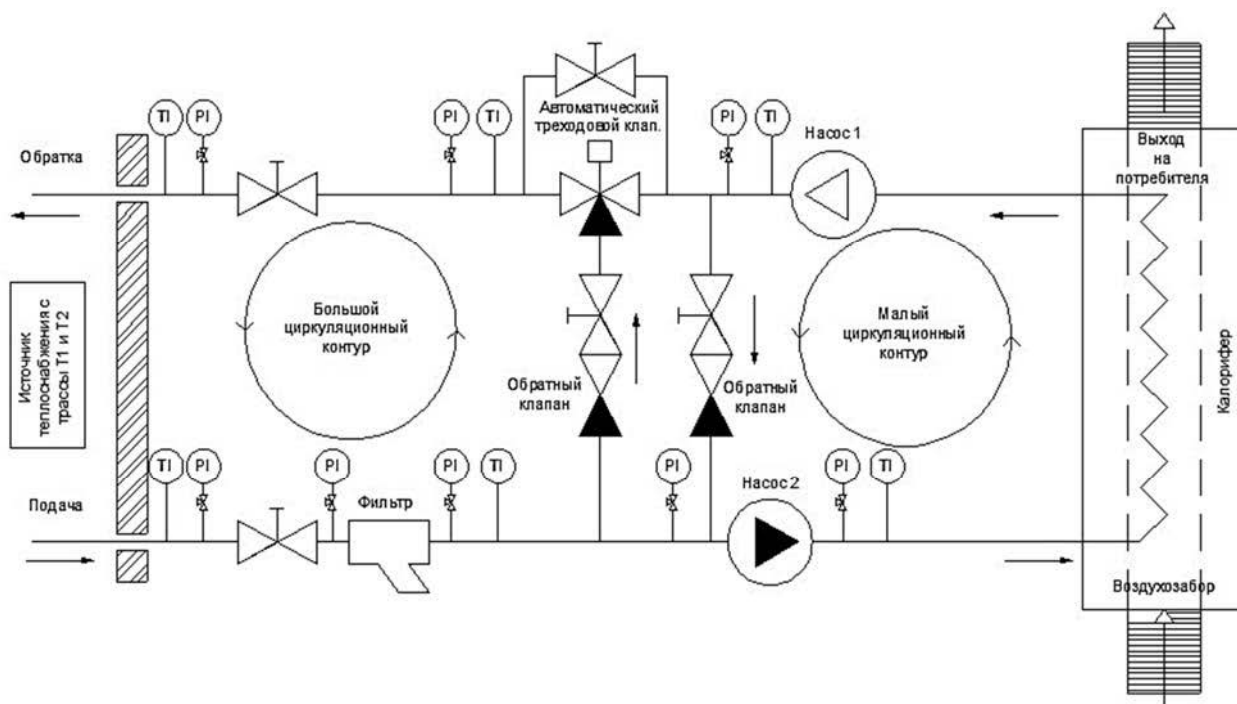


Рис. 1. Принципиальная схема калориферной установки

Система калориферной установки, принципиальная схема которой представлена на рис. 1, работает следующим образом. От трассы Т1 подается теплоноситель на калориферную систему, которая имеет два циркуляционных контура, а именно малый и большой. Когда открыт трехходовой клапан, теплоноситель циркулирует по обоим контурам до тех пор, пока теплообменник на потребителя не достигнет необходимой температуры, затем клапан автоматически закрывается, и теплоноситель циркулирует только по малому контуру, таким образом, объем теплоносителя, поступающий из магистрали Т1, значительно ниже в сравнении с классической водяной системой отопления. Трехходовой кран позволяет автоматически регулировать температуру носителя. Насосы Н1 и Н2 обеспечивают циркуляции по малому и большому контурам. Теплоноситель подается на ребра калорифера, которые разогревают воздух, поступающий на потребителя.

Исходя из вышеуказанных преимуществ, можно сделать вывод о целесообразности применения калориферной установки в качестве системы отопления учебного корпуса, однако, учитывая стоимость самой системы, а также ее монтажа.

Для выполнения технико-экономического обоснования применения калориферной системы отопления требуется произвести теплотехнические расчеты ограждающих конструкций здания, а также тепловой расчет для котельной и калориферной систем.

УДК 691.408-8

УПРОЧНЕНИЕ КЛЕЕВОЙ ПРОСЛОЙКИ МИКРОАРМИРОВАНИЕМ

Т. С. ЛАТУН, Р. П. СЕМЕНЮК

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Среди современных строительных материалов широкое применение нашли резиновые покрытия, применяемые для благоустройства дворовых территорий и спортивных площадок. Такие покрытия относятся к ударогасящим покрытиям, однако при снижении температуры воздуха окружающей среды, например в зимний период, покрытие становится хрупким. Снижение подвижности полимерных цепей в резиновых и каучуковых изделиях приводит к снижению эластичности материала. Способность резинового покрытия выдерживать ударные нагрузки при отрицательных температурах позволит расширить диапазон применения данного материала.

На направленное упрочнение материала, содержащего клеевую прослойку, оказывает влияние большое количество факторов, к которым относятся: температура и давление отверждения, вязкость клея, смачиваемость поверхности резины и армирующей добавки, количество армирующей добавки.

Экспериментальным путем было установлено, что для упрочнения клеевой прослойки вводятся армирующие добавки, состоящие из смеси полипропиленовой фибры и отходов кордной нити, в количестве 8,4 %...9,3 % от массы резиновой крошки.

При увеличении содержания армирующей добавки свыше 9,3 % значительно увеличивается расход связующего вещества. Оптимальное содержание связующего вещества, в данном случае полиуретанового клея, находится в пределах 75 %...85 % от массы резиновой крошки. Таким образом, при использовании компонентов в соответствующих пропорциях решается задача повышения ударопрочности при отрицательных температурах. Эффект повышения ударопрочности достигается за счет повышения когезионной прочности клеевой прослойки, а энергия, затрачиваемая на разрушение образца при температуре – 20 °С, увеличивается в 1,7 раза.

Снижение количества армирующей добавки менее вышеуказанного, несмотря на снижение расхода связующего, а значит, и экономичность, не даст требуемого результата упрочнения клеевой прослойки.

УДК 528

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

С. О. МАКАРОВ¹, А. Д. ТИХОНОВ²

¹Российский университет транспорта

²Государственный университет по землеустройству
Москва, Россия

Практически всегда, когда заходит речь о создании геодезических сетей для решения тех или иных задач, важную роль играет выбор исходной геодезической основы. Согласно существующим инструкциям, необходимо использовать пункты государственной геодезической сети (далее – ГГС). Однако на сегодняшний день существует проблема, что пункты могут быть утрачены, а невязки оставшихся пунктов могут быть значительными.

Актуальность работы обусловлена тем, что совершенствуются различные методики как полевых, так и камеральных геодезических работ, благодаря чему увеличивается точность геодезических построений. Внедрение международной глобальной системы координат (ITRF) позволяет определения координаты с высокой точностью, при этом не опираясь на каркасные пункты, что является перспективным методом.

Одним из актуальных методов обработки данных является метод высокоточных координатных определений, или по-другому Precise Point Positioning (PPP). Полученные данные обрабатываются с использованием высокоточных эфемерид, содержащих поправки к времени бортовых часов, атмосферные (ионосферные и тропосферные). Благодаря этому появилась возможность определения пространственных координат с высокой точностью, к тому же одним из явных преимуществ может являться использование всего лишь одного ГНСС-приемника.

На сегодняшний день существуют различные реализации как программных обеспечений, так и интернет-сервисов для обработки по PPP-алгоритму. Более подробно они были рассмотрены в [1].

Для выполнения практической части была сформирована спутниковая сеть, состоящая из пяти пунктов, расположенных на расстоянии 40...70 км. RINEX-файлы для формирования данной сети были взяты с сети базовых станций EFT COORS [2]. Впоследствии ринекс-файлы были обработаны с использованием двух интернет-сервисов: Trimble-RTX и CRSR.

После обработки по PPP-алгоритму были найдены эталонные приращения координат, полученные путем вычитания эталонных координат между собой, взятых с карточек базовых станций EFT-COORS. Также были найдены вычисленные приращения координат. Впоследствии были найдены разности приращений координат, приведенные в табл. 1.

Табл. 1. Разности приращений координат при использовании RTX

	1 ч			2 ч			3 ч			4 ч		
	δX	δY	δZ	δX	δY	δZ	δX	δY	δZ	δX	δY	δZ
MSK-ODIN	-0,006	0,015	0,008	-0,015	0,011	-0,001	-0,016	0,011	-0,003	-0,019	0,009	-0,009
MSK-ZHDR	0,014	0,016	0,021	0,003	0,011	0,004	-0,001	0,012	0,006	-0,003	0,010	0,002
MSK-NGNK	0,004	0,024	0,045	-0,008	0,019	0,031	-0,011	0,019	0,033	-0,015	0,017	0,028
MSK-LOBN	0,000	0,014	0,021	-0,006	0,013	0,015	-0,008	0,012	0,010	-0,010	0,012	0,010
ZHDR-LOBN	-0,014	-0,002	0,000	-0,009	0,002	0,011	-0,007	0,001	0,004	-0,007	0,002	0,008

Разности приращений координат, полученные при использовании CRSR, приведены в табл. 2.

Табл. 2. Разности приращений координат при использовании CRSR

	1 ч			2 ч			3 ч			4 ч		
	δX	δY	δZ	δX	δY	δZ	δX	δY	δZ	δX	δY	δZ
MSK-ODIN	-0,007	0,015	0,000	-0,013	0,013	-0,011	-0,015	0,012	-0,013	-0,016	0,011	-0,014
MSK-ZHDR	0,015	0,012	0,015	0,006	0,010	-0,001	0,002	0,009	0,002	0,001	0,008	0,002
MSK-NGNK	0,001	0,017	0,037	-0,010	0,014	0,019	-0,014	0,013	0,021	-0,015	0,012	0,020
MSK-LOBN	0,001	0,019	0,019	-0,004	0,020	0,009	-0,009	0,017	0,004	-0,010	0,015	0,008
ZHDR-LOBN	-0,014	0,007	0,004	-0,010	0,010	0,010	-0,011	0,008	0,002	-0,011	0,007	0,006

Вывод.

Анализируя табл. 1 и 2, можно заметить, что разности приращений координат при использовании RTX и CRSR практически одинаковы и отличаются лишь на несколько миллиметров. Разности приращений координат, получаемые при наблюдении более трех часов, практически не отличаются.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров, С. О. Анализ точности координат геодезических пунктов, определенных с помощью PPP-сервисов / С. О. Макаров, А. Д. Тихонов // Качество, инновации, образование. – 2021. – № 3 (173). – С 71–81.

2. Trimble RTX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://trimblertx.com/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

УДК 693.54

ТВЕРЖДЕНИЕ БЕТОНА С ДОБАВКОЙ «УКД-1» ПО МЕТОДУ «ТЕРМОСА»

О. Ю. МАРКО, Е. Е. КОРБУТ, А. А. МАСЛЕНКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Добавка «УКД-1» – комплексная наноуглеродосодержащая добавка, сочетающая пластифицирующий эффект с эффектами ускорения твердения цементного бетона. Добавка предназначена для применения в конструкционных тяжелых и мелкозернистых бетонах на цементных вяжущих при изготовлении сборных бетонных и железобетонных изделий и возведении (устройстве) монолитных конструкций различного назначения с обычным и преднапряженным армированием с целью ускорения твердения бетона и снижения энергетических производственных затрат.

Твердение цементного бетона с комплексной добавкой «УКД-1» характеризуется развитием тех же физико-химических процессов, которые обуславливают его твердение без добавки.

Особенностями являются, во-первых, что они развиваются в условиях пониженного водосодержания за счет пластифицирующего компонента добавки. Во-вторых, в более высоком темпе и с образованием большего количества продуктов реакции клинкерных минералов цемента с водой затворения за счет эффекта от СН и УНМ [1]. В-третьих, за счет эффективности вещества УНМ, проявляющейся в понижении энергетического порога начала образования кристаллогидратов из водного раствора, насыщенного ионами клинкерных минералов цемента, как результата его взаимодействия с водой затворения, и ускоренного образования кристаллогидратов – продуктов этих реакций. А также за счет присутствия тончайших трубчатых УНМ в твердеющем цементном камне, создающих условия для эффекта «нано-, микроармирования». В целом, это способствует росту плотности, повышению темпа роста и уровня прочности бетона с добавкой.

Беспрогревная технология твердения бетона характеризуется отсутствием подвода тепла к нему от внешних искусственных источников. Рекомендуются дозировка добавки в 0,7 %...1,0 % от массы цемента (при необходимости получения литых бетонных смесей – 1,5 % от МЦ) и использования цемента 1-й группы эффективности при пропаривании (допускается использование цементов 2-й группы) и реализация мероприятий по максимальному накоплению (аккумуляции) теплоты экзотермии в объеме твердеющего бетона.

При разработке режимов твердения бетона в диапазоне температур 5 °С...30 °С (беспрогревная технология) использовали формы-опалубки из материалов, соответствующих материалам, из которых изготавливают формы и опалубки для сборного и монолитного строительства, в диапазоне их теплоизолирующих характеристик, соответствующих коэффициенту теплопередачи $K_T = 0,6...3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$.

Кинетика твердения (роста прочности) тяжелого бетона при беспрогревном варианте технологии ведения работ зависит от температуры наружного воздуха, начальной температуры бетона, температуры его саморазогрева за счет тепловыделения (экзотермии) цемента и теплоизолирующих свойств тепловых устройств для сборных изделий и опалубки для монолитных конструкций, способствующих аккумуляции теплоты в объеме твердеющего бетона, что отражается общими закономерностями (рис. 1).

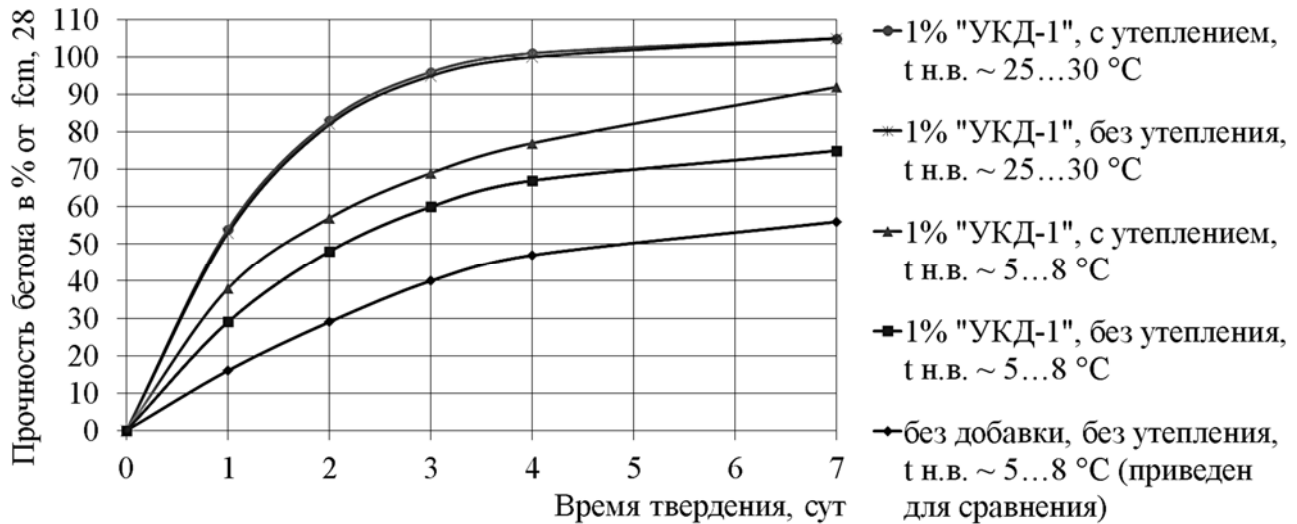


Рис. 1. Кинетика роста прочности бетона класса C¹²/₁₅ (твердение в фанерных формах)

Применение утепленных опалубок при твердении бетона по методу «термоса» с использованием добавки «УКД-1» создает требуемые условия для достижения бетоном прочности ≥ 50 % от проектной за 16...24 ч при $t_{нв} \sim 20$ °C...30 °C, за 24...48 ч при $t_{нв} \sim (12...15)$ °C, за 48...60 ч твердения при температуре наружного воздуха $t_{нв}$ в 5 °C...8 °C. Прочность бетона ≥ 70 % от проектной в соответствующих условиях обеспечивается за 1,5...2, 2...3, 3...4 сут соответственно. Меньшие значения времени твердения относятся к утепленной опалубке с фанерной палубой ($K_T \sim 0,6$ Вт/(м²·°C)). Полученные значения прочности бетона обеспечивают бездефектную распалубку вертикальных и наклонных конструкций (≥ 50 %), а также изгибаемых и с преднапряжением арматуры (≥ 70 %). Утепленные опалубки рациональны к использованию и в осенне-весенний периоды работ при низкой положительной температуре среды, т. к. обеспечивают благоприятный температурный режим твердения бетона за счет аккумуляции (накопления) тепла экзотермии цемента в его объеме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рябчиков, П. В.** Перспективы применения отечественных углеродных наноматериалов в технологии тяжелых и высокопрочных бетонов / П. В. Рябчиков, Э. И. Батяновский // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов европейского союза в области строительства: материалы науч.-метод. семинара, Минск, 22–23 мая 2013 г. – Минск: БНТУ, 2013. – Ч. 2. – С. 159–172.

УДК 691.32-033.33

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ
КОНСТРУКЦИОННОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА

И. И. МЕЛЬЯНЦОВА, Т. С. САМОЛЫГО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Важным условием для увеличения эффективности технологии производства строительных конструкций из легкого бетона является оптимизированный подход к формированию его структуры, исследование характеристик, позволяющих совершенствовать методику расчета, а также улучшение их радиационно-экологических качеств для более полного использования конструкционных возможностей.

Методика определения структурно-технологических основ конструкционных легких бетонов определяется количественным описанием процессов структурообразования как необходимого условия для оптимизации технологии производства бетонов по классической схеме «состав – структура – свойство». «Структурный» подход лежит в основе теории прочности и долговечности легкобетонных конструкций. Также его структурные особенности рассматриваются как объект взаимодействия композитного материала с радионуклидами.

Фактором, оказывающим влияние на структуру конструкционного легкого бетона, является процесс миграции влаги между зернами пористого заполнителя и окружающего их цементного камня. После затворения водой в бетонной смеси происходит влагообмен между растворной составляющей и крупным заполнителем, а через некоторое время – обратный переход влаги в цементный камень. В последующем твердении легкого бетона возможны периодические изменения направления влаги до уровня равновесной влажности, что указывает на саморегулируемость структуры легкого бетона до установки равновлажного состояния с окружающей средой.

Другой особенностью структуры бетонов на пористых заполнителях, в сравнении с тяжелыми бетонами, является более высокое сцепление зерен крупного заполнителя с растворной матрицей. При этом превалирующее значение имеет степень водонасыщенности крупного пористого заполнителя. Особенности структуры легкого бетона, влияющие на его прочность, плотность и деформативность, обязаны учитываться технологией производства [1–3].

В связи с большим значением коэффициента влажностного расширения зерна крупного заполнителя (например, керамзита) испытывают трехосное обжатие со стороны раствора, тем самым увеличивая не только прочность контактной зоны, но и в конечном результате такие характеристики керамзитобетона, как плотность и водонепроницаемость в сравнении равнопрочным тяжелым бетоном. В соответствии с работами М. З. Симонова, Т. Пауэрса и др. доказано, что основными путями проникновения влаги в бетон является именно контактная зона заполнителя с растворной матрицей. Плотная контактная зона сокращает развитие трещин, образующихся при силовых или температурных

воздействиях на бетон, вследствие чего препятствует его разрушению. Следовательно, для получения наибольшей плотности и прочности легкого бетона необходимо обеспечить наиболее однородную структуру с бездефектной прочной контактной зоной. Это достигается модификацией и подбором оптимального состава бетона с продуктами топливной энергетики либо металлургии. Наличие прочной контактной зоны особенно важно для обеспечения необходимых показателей долговечности бетонов.

Преимущества плотности и, соответственно, прочности контактной зоны в легком бетоне обусловлены меньшей величиной истинного водоцементного отношения в ней в связи с процессами миграции воды затворения из крупного заполнителя в растворную матрицу в процессе твердения легкого бетона. В цементном камне усиливаются процессы гидратации, включающие частицы цемента, не вступившие в реакцию с водой. Формируется мелкопористая структура легкого бетонной смеси.

Необходимым условием для изготовления конструкционного легкого бетона является использование «однородного» по величине модуля упругости пористого заполнителя.

Также для увеличения плотности и прочности легкого бетона важным является уменьшение размера и количества пор его составляющих, как матрицы, так и зерна заполнителя. Наличие исследований в этой области с помощью модификаторов структуры обеспечивает уменьшение размеров пор с их равномерным распределением по всему объему легкого бетонной смеси.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что технологические основы производства конструкционных легких бетонов должны начинаться на стадии проектирования составов и заключаться в формировании структур, обеспечивающих прочность контактной зоны растворной составляющей с заполнителем, а также переход крупнопористой структуры всех компонентов бетона в мелкопористую.

Исследования по формированию оптимальной геометрии структуры легких бетонов позволят подбирать необходимые составы для изготовления не только долговечных легкого бетонных конструкций, но и улучшить их экологические качества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ярмаковский, В. Н.** Физико-химические и структурно-технологические основы получения высокопрочных и высокодолговечных конструкционных легких бетонов / В. Н. Ярмаковский // Строительные материалы. – 2016. – № 6. – С. 6–11.
2. **Макридин, Н. И.** Особенности механического поведения и структурных изменений конструкционного керамзитобетона / Н. И. Макридин, Н. И. Максимова, Ю. В. Полубарова // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 3(40). – С. 50–57.
3. **Kroviakov, S.** Fractal Model of the Influence of Expanded Clay Concrete Macrostructure on its Strength / S. Kroviakov, V. Volchuk, M. Zavoloka // Key Engineering Materials. – Trans Tech Publications Ltd. – 2020. – Т. 864. – С. 43–52.

УДК 621.926

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИВОДНОГО МЕХАНИЗМА ПОМОЛЬНОЙ КАМЕРЫ ВИБРАЦИОННОЙ БАЛАНСИРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

В. С. МИХАЛЬКОВ, Д. В. МИХАЛЬКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Задачей предлагаемой вибрационной мельницы, предназначенной для тонкого помола строительных материалов, является снижение энергоемкости процесса помола и повышение эксплуатационной надежности ее работы.

Идеологической основой создания вибрационной балансирной мельницы (рис. 1) является выполнение колебательной системы полностью уравновешенной, что обеспечивается установкой двух помольных камер на консолях рычага, дающего им возможность совершать противофазные виброколебания с одинаковыми характеристиками, что исключает амортизирующие устройства.

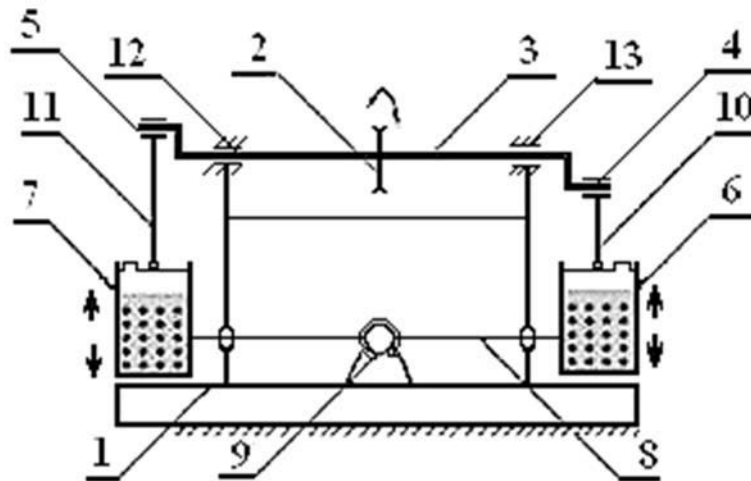


Рис. 1. Вибрационная балансирная мельница

Предлагаемая мельница содержит раму 1, привод 2, генератор колебаний 3 в виде эксцентрикового вала с противофазно выполненными консолями 4 и 5 и рабочие камеры 6, 7, которые установлены на консольных частях балансирующего рычага 8. Оси генератора колебаний 3 балансирующего рычага расположены в одной плоскости, причем балансирующий рычаг смонтирован на раме 1 в центрально расположенном по его длине шарнире 9, а консольные части генератора колебаний 3 и балансирующего рычага связаны между собой вертикальными тягами 10, 11. Кроме того, генератор колебаний установлен в опорах 12, 13, а тяги выполнены в виде жестких металлических элементов.

Рабочий процесс вибрационной балансирной мельницы осуществляется следующим образом. Рабочие камеры 6, 7 заполняются мелющими телами и подлежащим обработке, т. е. помолу, материалом. Далее от привода 2 эксцентриковый вал генератора колебаний 3 приводится во вращение и его противоположно выполненные консоли 4, 5 передают возвратно-поступательные

перемещения вертикальным тягам 10, 11, которые вынуждают балансирующий рычаг 8 совершать колебательные движения относительно шарнира 9 вместе с рабочими камерами 6, 7. Вертикальные тяги 10, 11 работают только на растяжение, что в первую очередь связано с уравновешенностью всей колебательной системы мельницы. После окончания процесса помола измельченный до требуемой крупности продукт выгружается из рабочих камер 6, 7, которые в остановленном состоянии заполняются новыми порциями исходного материала, и рабочий цикл повторяется. При необходимости изменения параметров вибрации, в частности амплитуды колебаний, рабочие камеры 6, 7 могут синхронно перемещаться известными способами вдоль оси балансирующего рычага.

Поставленная задача решается тем, что в вибрационной балансирующей мельнице, содержащей раму, привод, генератор колебаний и две рабочие камеры с мелющей загрузкой, согласно изобретению, рабочие камеры установлены на консольных частях балансирующего рычага с центрально расположенным шарниром, а генератор колебаний установлен над рабочими камерами и представляет собой эксцентриковый вал, эксцентричные консольные части которого расположены противофазно и с помощью вертикальных тяг шарнирно связаны с консолями балансирующего рычага, причем оси генератора колебаний и балансирующего рычага расположены в одной плоскости.

Использование предлагаемой конструкции приводного механизма для вибрационной мельницы в сравнении с известными устройствами позволяет исключить из конструкции мельницы амортизирующие устройства, что не только ее упрощает, но и повышает надежность и удобство в обслуживании. Система уравновешивания, достигаемая балансирующей установкой рабочих камер, обеспечивает значительное сокращение удельного потребления энергии и одновременно удешевляет стоимость обрабатываемого продукта. К сказанному следует добавить, что одним из главных преимуществ разработанного аппарата можно считать возможность повышения интенсивности его работы.

Рассматриваемый приводной механизм является механизмом периодического действия, не имеющим холостых ходов – все перемещения рабочие.

Полученные кинематические характеристики приводного механизма вибрационной балансирующей мельницы

$$S = R \cdot \left[\frac{\sqrt{(1+\lambda)^2 - \varepsilon^2 \cdot \lambda^2}}{\lambda} - \cos \varphi - \frac{\cos \beta}{\lambda} \right]; \quad V = \omega \cdot R \cdot \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta};$$

$$J = \omega^2 \cdot R \cdot \left[\frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta} + \frac{\lambda \cdot \cos^2 \varphi}{\cos^3 \beta} \right]$$

при условиях $\lambda = \frac{R}{L}$ и $\varepsilon = \frac{E}{R}$ являются математической моделью его работы.

Анализ полученных кинематических характеристик приводного механизма помольной камеры вибрационной мельницы позволил при помощи Python оптимизировать геометрические параметры структурных элементов мельницы.

УДК 621.926

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЯ ПОМОЛЬНОЙ КАМЕРЫ ВИБРАЦИОННОЙ БАЛАНСИРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

В. С. МИХАЛЬКОВ, Д. В. МИХАЛЬКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Рычажный приводной исполнительный механизм помольной камеры вибрационной балансирной мельницы (рис. 1) должен отвечать требованиям технологического процесса и гарантировать надежную работу самого механизма. Это заключается в следующем:

- должно быть обеспечено преобразование вращательного движения приводного вала в возвратно-поступательное движение помольной камеры;
- помольная камера за один оборот приводного вала должна совершить колебание от нижнего до верхнего положения ($S_{\max}$) и назад;
- на заданном интервале должен быть обеспечен заданный закон изменения скорости помольной камеры;
- должны быть ограничены углы давления в кинематических парах и силы инерции с одновременным обеспечением условий требуемой жесткости приводного механизма;
- приводной механизм при этом должен быть максимально технологичным в изготовлении, простым и надежным в эксплуатации.

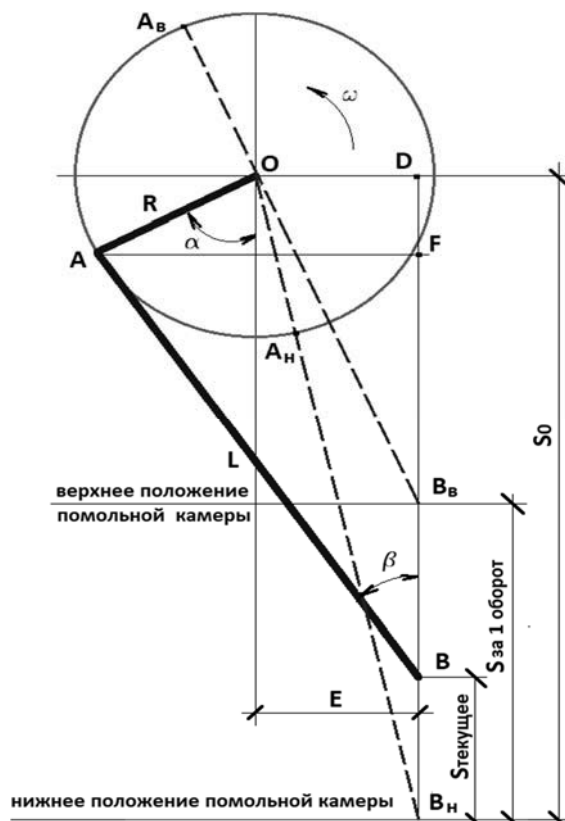


Рис. 1. Схема приводного механизма помольной камеры вертикальной вибрационной балансирной мельницы

Рассматриваемый механизм является механизмом периодического действия, не имеющим холостых ходов – все перемещения рабочие.

Помольная камера предназначена для измельчения материала, находящегося в помольной камере вместе со стальными шарами, посредством колебания которых осуществляется интенсивное измельчение материала.

Требуемый закон колебаний помольной камеры зависит от ряда факторов: от кинематических параметров приводного механизма вибрационной мельницы, от требуемой тонины помола материала, от прочности измельчаемого материала и др. Решающим условием процесса измельчения является минимизация энергозатрат. В общем случае закон колебаний помольной камеры может быть задан аналитической функцией $S=f(\alpha)$, зависящей от угла α поворота приводного вала.

Несмотря на достаточно широкое распространение рычажных механизмов в приводах машин, решение вопросов синтеза, исходящих из технологического назначения их, сопряжено с рядом трудностей, с которыми постоянно сталкиваются исследователи. Однако большинство задач синтеза таких механизмов может быть решено в аналитическом виде, чем существенно облегчается решение задачи синтеза. Выделим три основных критерия синтеза для данного случая: R , L и E (см. рис. 1), которые обеспечивают условия существования приводного механизма. Условия синтеза можно представить в виде сочетаний заданных параметров и ограничений. В данном случае для трех параметров механизма для однозначного его синтеза должно быть задано не менее трех условий синтеза. Во всех вариантах синтеза считаем заданной величину максимальной амплитуды колебания помольной камеры $S_{\max}$ в совокупности с другими данными.

В рассматриваемом механизме угол давления в кинематической паре соединения тяги AB с помольной камерой (точка B) – угол β , величину которого определяем по формуле

$$\beta = \arcsin \lambda \cdot (\sin \alpha + \varepsilon). \quad (1)$$

Величина амплитуды колебания помольной камеры между крайними верхним и нижним положениями определяется по формуле

$$S_{\max} = R \cdot \left(2 + \frac{\varepsilon^2 \cdot \lambda^2}{1 - \lambda^2} \right). \quad (2)$$

Формула (2) показывает, что в принятом дезаксиальном механизме радиус R меньше $\frac{1}{2} \cdot S_{\max}$ (половины максимального перемещения помольной камеры за один оборот приводного вала). Это несколько уменьшает вертикальный габарит приводного механизма. Кроме того, дезаксиальный механизм позволяет управлять величиной средней скорости перемещения помольной камеры при колебательном движении вверх-вниз, что способствует более интенсивному процессу измельчения материала в помольной камере.

УДК 624.151.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ СТАТИЧЕСКОМ МАЛОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ

Ю. Г. МОСКАЛЬКОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

К малоцикловым нагрузениям относятся повторные с небольшой частотой приложения нагрузок (обычно не более 10^5). Такие нагружения во времени изменяются достаточно медленно, они не вызывают возникновения в конструкциях сил инерции и, как следствие, значительных перемещений. Поэтому такие нагружения относятся к статическим. Однако циклический характер приложения нагрузки оказывает влияние на прочностные характеристики бетона, поскольку бетон является композитным материалом, который работает упруго-пластически даже при низких уровнях нагружения. Негативное влияние малоциклового нагружения на прочность бетона эмпирически доказано, однако в действующих нормативно-правовых актах данное явление не учитывается.

Следует учитывать, что чем выше уровень малоцикловых нагрузок, тем существеннее снижение прочности бетона f_c по сравнению с однократным нагружением. В связи с этим целесообразно для конструкций, эксплуатирующихся в условиях повторных нагружений, при определении прочности бетона использовать частный коэффициент условий работы $\gamma_{c,cyc}$, который позволит учесть неблагоприятное влияние малоцикловых воздействий. Существующие на сегодняшний день методики расчета не учитывают тот факт, что для высокопрочных бетонов снижение прочности не столь значительно, как для бетонов низких и средних классов, в связи с более высокими значениями относительных напряжений, соответствующих верхней границе образования микротрещин η_{cr}^v . Это в свою очередь свидетельствует о более высоком уровне малоциклового приспособляемости.

По результатам проведенных эмпирических исследований предложено рассчитывать частный коэффициент $\gamma_{c,cyc}$, учитывающий изменение прочности бетона, в зависимости от величины верхнего уровня циклового нагружения η_{top} при $\eta_{top} < 1$ (напряжения не достигают предела кратковременной прочности, т. е. $f_{c,top} < f_{cm}$):

$$\gamma_{c,cyc} = \frac{1}{0,97\sqrt{\eta_{cr}^v} - 0,3\ln \eta_{top}}. \quad (1)$$

Коэффициент $\gamma_{c,cyc}$ может быть как понижающим, так и повышающим в зависимости от уровня повторных нагрузжений: при высоких уровнях ($\eta_{top} \geq \eta_{cr}^v$) коэффициент $\gamma_{c,cyc}$ принимает значения больше 1,0 и является понижающим; при низких и средних уровнях ($\eta_{top} < \eta_{cr}^v$) данный коэффициент принимает значения меньше 1,0 и является повышающим.

Предлагаемая зависимость для расчета $\gamma_{c,cyc}$ обеспечивает удовлетворительную сходимость с эмпирическими данными (отклонение в пределах 15 %, в среднем отклонение составляет 2,3 %). Результаты сравнения опытных и расчетных значений $\gamma_{c,cyc}$ представлены на гистограмме (рис. 1).

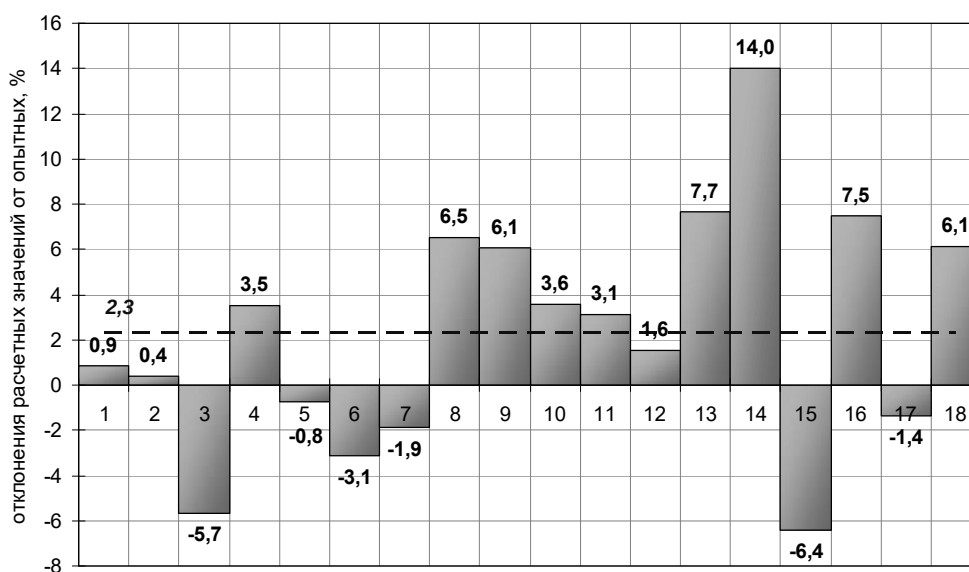


Рис. 1. Сравнение расчетных и эмпирических значений частного коэффициента $\gamma_{c,cyc}$

Применение предлагаемого частного коэффициента при расчете прочности бетона на осевое сжатие позволит скорректировать значение прочности бетона при действии повторных нагрузжений различного уровня. Малоцикловую прочность бетона следует определять путем деления значений кратковременной прочности при однократном осевом сжатии f_c на коэффициент $\gamma_{c,cyc}$:

$$f_{c,cyc} = \frac{f_c}{\gamma_{c,cyc}}. \quad (2)$$

Таким образом, для железобетонных конструкций еще на стадии проектирования возможно учесть негативное влияние малоцикловых статических нагрузок путем корректировки значений прочности бетона на осевое кратковременное сжатие.

UDC 691.327.32

TIME-DEPENDENT BEHAVIOR OF SHRINKAGE STRAIN FOR
EXPANDED CLAY AGGREGATE FIBER-REINFORCED CONCRETE

YU. G. MASKALKOVA, V. A. RZHEVUTSKAYA

Belarusian-Russian University

Mogilev, Belarus

Expanded clay aggregate concrete is a promising building material for the manufacture of load bearing building and framed structures. Using of this type of concrete reduces material consumption and thermal conductivity of building structures. The disadvantages of expanded clay aggregate concrete are the brittle failure and high value of shrinkage strain than for equal-strength normal weight concrete [1].

These negative impact factors can be reduced by reinforcement of expanded clay concrete with low-modulus fibers (for example, polypropylene).

Despite the fact that steel fibers are more common, the using of polymer fibers has some advantages. Polymer fibers have high corrosion and chemical resistance, low tendency to clumping due to the small length of the fibers, insignificant self-weight. As a result of the use of polypropylene fiber, the resistance of concrete to impact significantly increases and brittle failure is eliminated [2].

The object of this research was samples of expanded clay aggregate concrete and expanded clay aggregate fiber-reinforced concrete.

The subject of this research was free shrinkage strain of expanded clay aggregate concrete and expanded clay aggregate fiber-reinforced concrete.

The following materials with the main characteristics were used for concrete specimens manufacturing: coarse aggregate was expanded clay gravel with a particle size of 4–10 mm (G); fine aggregate was locally available natural river sand with a bulk density 1670 kg/m³; the fineness modulus of river sand was 2.13 (S); binder was Portland cement (type I) with compressive strength 42.5 MPa (C); dispersed reinforcement was polypropylene fibers with a diameter of 50 microns and length of 12 mm. The composition of the expanded clay aggregate concrete mixture was C : S : G = 1 : 1.84 : 0.79, W/C = 0.52. The polypropylene fibers content by volume was 0.36 %.

The accumulation process of shrinkage strains was investigated for expanded clay aggregate fiber concrete and expanded clay aggregate fiber concrete (without fibers). The specimens for testing were prisms with dimensions of 150 × 150 × 600 mm. Free shrinkage strains were measured on each surface of the tested prism by dial indicators (the classic mechanical version, provides a dial display similar to a clock face with clock hands) [3]. The measurement of strains on the open surface of the prism began in 3–4 hours after the concrete mixture placing. The duration of the test was 120 days.

In Figure 1, the histogram shows a decrease of the total shrinkage strain values (in %) of the expanded clay aggregate fiber-reinforced concrete compared to the total shrinkage strains of the expanded clay aggregate concrete without fibers.

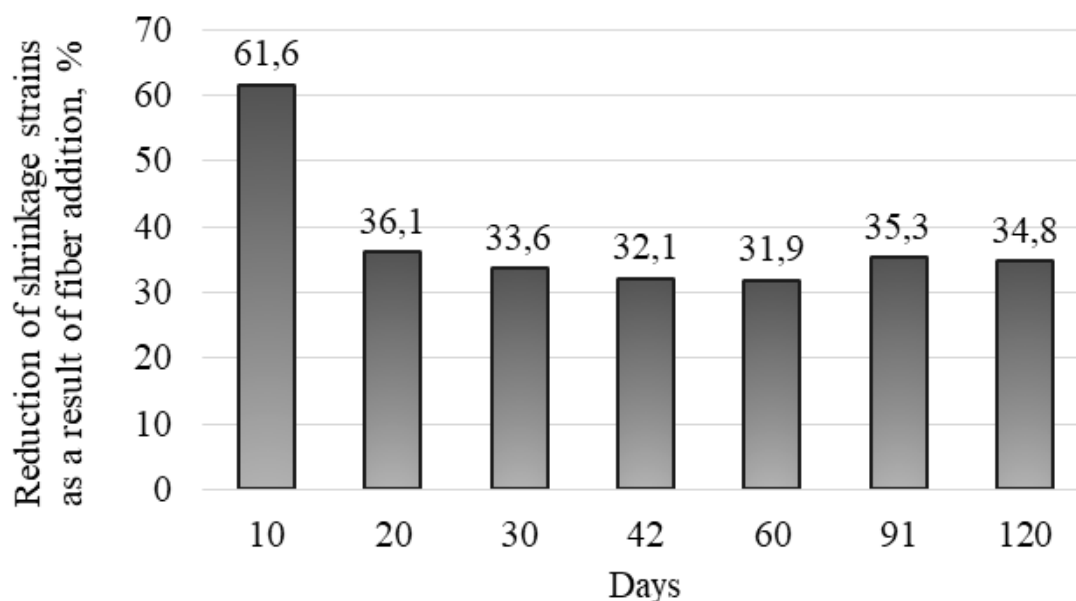


Fig. 1. Reduction of total shrinkage strains due to the addition of polypropylene fibers

As can be seen from the histogram, the shrinkage strains decrease most significantly in the first 10 days. This is due to the fact that a lightweight coarse porous aggregate (expanded clay gravel) retains water. The values of shrinkage strains decrease by an average of 34 % on the 20th day and later.

Thus, according to the experimental data obtained on the 120th day, fiber content of 0.36 % by volume reduces the total shrinkage strain of expanded clay aggregate fiber-reinforced concrete by an average of 34 % compared with strain of expanded clay aggregate concrete without fiber reinforcement.

REFERENCES

1. **Maskalkova, Yu.** Compressive Strength of Expanded Clay Fiber-Reinforced Concrete / Yu. Maskalkova, V. Rzhevutskaya // AlfaBuild. – 2021. – Iss. 19 (4).
2. **Maskalkova, Y. G.** The Effective Reinforcement Ratio of Expanded Clay Concrete by Polypropylene Fiber / Y. G. Maskalkova, V. A. Rzhevutskaya // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2020. – Vol. 93, № 83 (8).
3. **Ржевуцкая, В. А.** Относительные деформации полной усадки керамзитобетона / В. А. Ржевуцкая, Ю. Г. Москалькова // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 16. – С. 99–105.

УДК 65.5+65.09

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ ОБЪЕКТОВ
НЕДВИЖИМОСТИ ОТ ФАКТИЧЕСКОГО ВОЗРАСТАТ. А. ПОЛЯКОВА¹, И. А. ПОЛЯКОВА²¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Национальное кадастровое агентство

Минск, Беларусь

В Республике Беларусь в настоящее время нет единого универсального нетрудоемкого метода расчета обесценивания объектов недвижимости с течением времени. Адаптация зарубежных методик в действующих условиях не представляется возможной [1].

При проведении исследований по определению зависимости рыночной стоимости недвижимости от фактического возраста была подготовлена выборка сделок купли-продажи объектов за 8 лет. Все сделки были проклассифицированы и разделены на совершенные в городах и в сельских населенных пунктах. В ходе статистической обработки определена релевантность сделок и присвоены маркеры релевантности (от 1 до 4). В дальнейшем учитывались только сделки релевантные и условно релевантные.

Для расчета использовалось 535 сделок купли-продажи по офисной и торговой недвижимости в разрезе кластеров (групп городов). Все объекты были приведены к стандартным условиям: к одной дате оценки, к одним физическим характеристикам, транспортной доступности и т. д. Сделки объединили в диапазоны по возрасту: до 10 лет, 11–20 лет, 21–30 лет и т. д. Методом статистического анализа рассчитали стоимость единого объекта недвижимости имущества (ЕОНИ) в выбранных диапазонах возраста.

В результате выполненной работы определены функциональные зависимости стоимости 1 м² ЕОНИ от возраста по кластерам: построены графики динамики изменения обесценивания (снижения рыночной стоимости) объектов недвижимости возрастом до 100 лет, выявлена математическая зависимость обесценивания от их возраста.

На основании анализа полученных зависимостей предложены рекомендации практического использования результатов исследования при оценке стоимости объектов недвижимости, что позволит более точно проводить оценку стоимости, а также рационально планировать мероприятия по капитальному ремонту, модернизации и реконструкции зданий и сооружений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полякова, И. А. О системах расчета степени изменения стоимости объектов недвижимости с течением времени / И. А. Полякова, Т. А. Полякова // Актуальные проблемы науки и техники: материалы I Междунар. науч.-техн. конф., Сарапул, 20–22 мая 2021 г. – Сарапул: ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, 2021. – С. 627–631.

UDC 691.327.32

DISPERSED REINFORCEMENT WITH STEEL FIBER OF EXPANDED
CLAY AGGREGATE CONCRETEV. A. RZHEVUTSKAYA
Belarusian-Russian University
Mogilev, Belarus

Dispersed reinforcement with steel fiber is one of the perspective directions in the modification of expanded clay aggregate concrete. The addition of steel fiber most often could improve the characteristics of normal-weight concrete (for example, the compressive strength). However, the obtained results of the study have concluded other statement for lightweight concrete.

The object of the study is expanded clay aggregate concrete modified with steel fiber.

The subject of the study is the mean value of compressive cube strength of expanded clay aggregate concrete reinforced with steel fiber.

The aim of the study is to determine the influence of the reinforcement percentage of dispersed reinforcement (with steel fiber) on the values of the mean value of compressive cube strength of expanded clay aggregate fiber-reinforced concrete.

The following concrete composition of expanded clay aggregate fiber-reinforced concrete was $C : S : G = 1 : 1.84 : 0.79$. Water-cement ratio was 0.52. The tests were carried out on concrete specimens in the shape of cubes with an edge size of 100 mm.

The main materials were used for manufacturing concrete specimens: expanded clay gravel (as coarse aggregate), river sand (as fine aggregate), Portland cement (as the binder), and steel fiber (as reinforcement). Milled steel fiber 33 mm long was used as dispersed reinforcement for the study. The reinforcement percentages of steel fiber were used $\rho_{sf} = 2 \%$, 5% , and 8% by weight of concrete weight.

According to the results of an empirical study, a decrease of the mean value of compressive cube strength with an increase of the reinforcement percentage was established (by 9 %, 16 %, and 20 % with a steel fiber content of 2 %, 5 %, and 8 %, respectively). The lower values of the compressive cube strength of expanded clay aggregate fiber-reinforced concrete compared to expanded clay aggregate concrete can be associated with non-optimal geometric parameters of dispersed reinforcement (fiber length) and with small sizes of specimens (cubes with an edge size of 100 mm). It is preferable to apply fiber with a length commensurate with the maximum grain size of the coarse aggregate.

The conclusions drawn on the obtained empirical data require additional experimental confirmation. In this regard, it is perspective to conduct further studies.

УДК 624.072

РАСЧЕТ БЕСКОНЕЧНОЙ РЕГУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ИЗОТРОПНЫХ ПЛИТ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

К. А. СИРОШ

Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

Рассматривается новая методика расчета системы изотропных плит на упругом основании вариационно-разностным методом (ВРМ), который является численно-аналитическим методом расчетов строительных конструкций изолированно и в соединении их в бесконечную регулярную систему. Метод основан на вариационных принципах метода Ритца – Тимошенко, а также на минимуме полной потенциальной энергии всей системы по принципу Лагранжа – Дирихле. Алгоритм расчета предполагает замену дифференциальных уравнений конечно-разностными аппроксимациями и основывается на использовании итерационного метода упругих решений в нелинейной постановке.

Рассматривается бесконечная регулярная система изотропных плит на упругом основании. В силу симметрии система может быть разбита на ряд базовых фрагментов, соединенных между собой, что представлено на рис. 1.

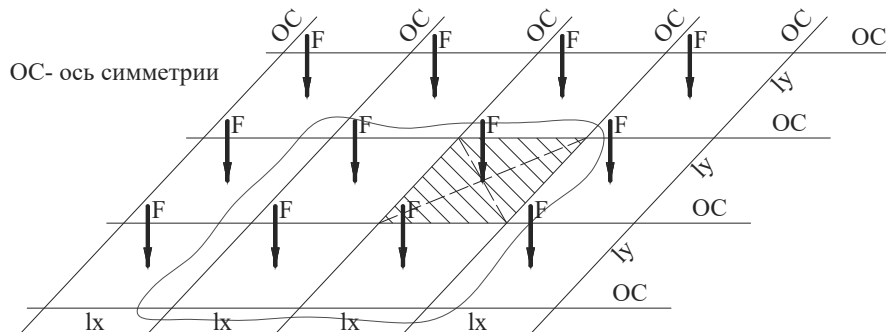


Рис. 1. Бесконечная система изотропных плит

Цилиндрические жесткости изотропной плиты D_1 и D_2 не изменяются в двух взаимно перпендикулярных плоскостях изгиба. Внешняя нагрузка F действует перпендикулярно плоскости плиты и приложена в ее центре. В качестве упругого основания, на котором лежит изотропная плита регулярной системы, принимается однослойное изотропное основание как упругий слой, ограниченный по толщине, на несжимаемом основании [1].

В расчетах изотропных плит регулярной системы справедливы нижеприведенные гипотезы и допущения:

- на расчетную область упругого основания распространяются гипотезы и допущения теории упругости;
- в контактной зоне возникают сжимающие и растягивающие напряжения, также отсутствуют силы трения;

– распределение нормальных реактивных давлений по ширине плиты считается постоянным;

– для плиты справедливы гипотезы и допущения плоского изгиба плиты.

Граничные условия. На границах принятой в задаче расчетной области основания горизонтальные перемещения равняются нулю: $u(x) = 0$, $v(y) = 0$. Для контактной зоны применимо следующее условие – осадки основания равны прогибам плиты. Для крайних точек изотропной плиты регулярной системы вводятся смешанные граничные условия

$$Q_z|_{x=\pm\frac{lx}{2}} = -D_1 \frac{d^3 w}{dx^3} = 0; \quad Q_z|_{y=\pm\frac{ly}{2}} = -D_2 \frac{d^3 w}{dy^3} = 0; \quad \varphi_x|_{y=\pm\frac{ly}{2}} = \frac{dw}{dy} = 0; \quad \varphi_y|_{x=\pm\frac{lx}{2}} = \frac{dw}{dx} = 0. \quad (1)$$

Алгоритм упругого расчета. Изотропная плита разбивается на равные прямоугольные участки размерами $\Delta x \times \Delta y$. В результате чего получаем 20 ячеек и 30 узловых точек. В контактной зоне касательные напряжения не учитываем. Собственный вест плиты учитывается. В решении пространственной задачи при упругом расчете основание заменяется расчетной областью. Основание аппроксимируется с постоянными шагами Δx , Δy , Δz по осям глобальной системы координат симметричной объемной разбивочной сеткой. По итогу аппроксимации получено 80 ячеек и 150 узловых точек.

Если принять компоненты вектора перемещения $u_i(x, y, z)$, $v_i(x, y, z)$, $w_i(x, y, z)$ за неизвестные, тогда решение задачи реализуется в перемещениях. В поставленной задаче удельная энергия деформации считается для каждой ячейки через конечно-разностные аппроксимации, а после по объему упругого основания суммируется.

Чтобы найти энергию деформации в центре ячейки расчетной области, необходимо сперва найти функционал энергии изгиба для центральных точек граней ячейки через известные зависимости плоской задачи теории упругости – соотношения Коши и обобщенный закон Гука.

Функционал полной энергии представляется в виде суммы полной энергии деформации упругого основания, энергии изгиба плиты и потенциала внешней нагрузки. Подробно алгоритм аналогичного расчета на примере бесконечной системы перекрестных балок приведен в [2] в соавторстве с О. В. Козуновой.

Апробация результатов упругого расчета бесконечной регулярной системы изотропных плит на упругом основании в числовом виде реализуется в проприетарной системе компьютерной алгебры *Mathematica*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кончковский, З.** Плиты. Статические расчеты: пер. с пол. / З. Кончковский. – Москва: Стройиздат, 1984. – 480 с.
2. **Козунова, О. В.** Расчет бесконечной системы перекрестных балок на упругом основании вариационно-разностным методом / О. В. Козунова, К. А. Сирош // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Сер. Ф. – 2021. – С. 65–71.

УДК 665.775.4

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ НЕФТЯНЫХ БИТУМОВ

Ю. А. СТЕПАНОВИЧ, Б. Ж. ХАППИ ВАКО, А. О. ШРУБОК

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

Согласно экспертным оценкам, в Республике Беларусь ежегодно образуется около 280 тыс. т полимерных отходов. При этом из общего количества образующихся отходов перерабатывается только 30 %. Оставшиеся полимерные отходы подвергается сжиганию с целью получения энергии или складировуются. Основной проблемой является то, что полимерные отходы трудноразделимы между собой, содержат большое количество примесей и следов деструкции, а процесс их переработки является достаточно трудоемким. Эти факторы обуславливают поиск альтернативных способов переработки и утилизации таких отходов [1].

Отходы упаковки – полиэтилен и полипропилен, полистирол, полиэтилентерефталат (ПЭТ), занимают значительную долю среди образующихся отходов. Если полиэтилен ввиду своих механических свойств и молекулярной массы поддается переработке значительно легче (перерабатывается до 80 % упаковочного полиэтилена), то переработка полипропилена, ПЭТ требует гораздо больших усилий.

Одним из перспективных способов утилизации полимерных отходов является их использование в качестве компонентов полимерно-битумных вяжущих. Полимерно-битумные вяжущие (ПБВ) на основе нефтяного битума и полимеров различной природы являются перспективными материалами для дорожного и кровельного строительства, обладающими более высокими значениями износо- и трещиностойкости, низкотемпературных характеристик и более широким температурным интервалом работоспособности по сравнению с нефтяными битумами. Предполагается, что использование вторичных полимерных компонентов наряду с улучшением эксплуатационных свойств позволит снизить себестоимость готового вяжущего. В связи с этим было изучение возможности использования в качестве модификаторов битумов полимерных отходов и установления их влияния на качественные характеристики ПБВ.

Объектами исследования являлись полимерно-битумные вяжущие, полученные модификацией нефтяного дорожного битума марки БНД 70/100 полимерными отходами, в качестве которых выбраны отходы полиэтиленовой пленки, вторичный полипропилен, мелкодисперсный порошок вторичного полиэтилентерефталата. Полимерные компоненты вводили непосредственно в битум в количестве 1...7 масс. %, смешение осуществляли при темпера-

туре (180 ± 5) °С и механическом перемешивании со скоростью 1000 об/мин в течение 2 ч.

Для полученных ПБВ определяли основные эксплуатационные свойства: температуру размягчения по методу «Кольцо и Шар», глубину проникновения иглы (пенетрацию), температуру хрупкости по Фраасу, рассчитывали интервал пластичности. Были определены оптимальные концентрации полимерных компонентов, при которых полимер равномерно распределен в битуме и обеспечивает улучшение качественных показателей вяжущего. На рис. 1 представлено изменение температуры размягчения и пенетрации вяжущих при введении в битум 4 масс. % полимерного модификатора.

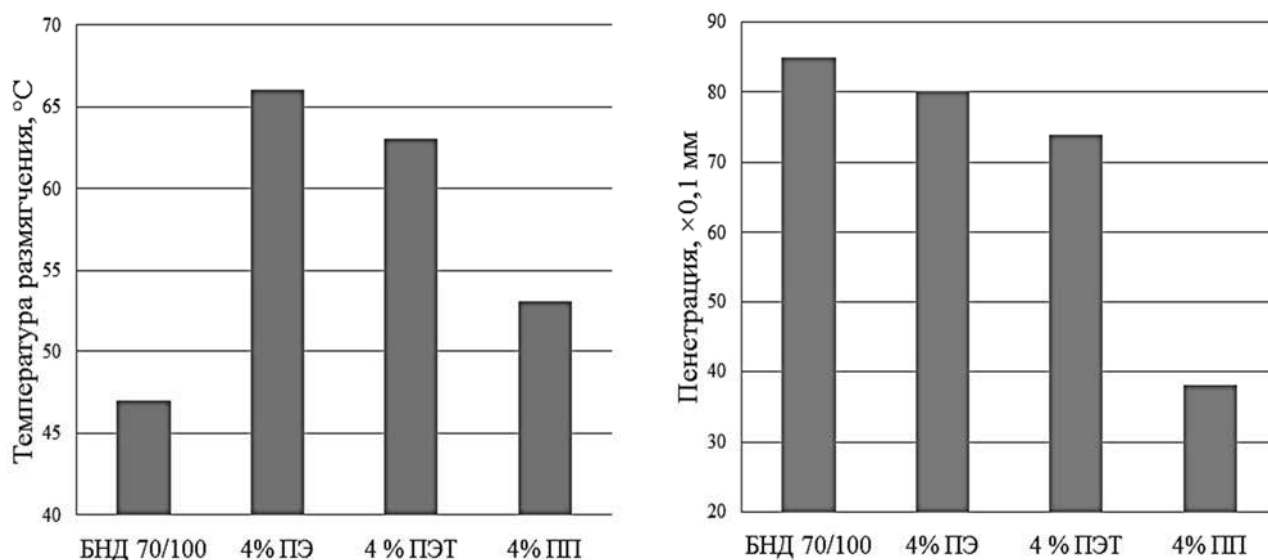


Рис. 1. Характеристики битумных вяжущих, модифицированных полимерными отходами

Установлено, что введение в нефтяной битум отходов полиолефинов (полиэтиленовой пленки и вторичного полиэтилена) приводит к увеличению температурного интервала работоспособности на 21 °С...68 °С, в то время как введение отходов полиэтилентерефталата в большей степени влияет на пластичные свойства вяжущих (снижается пенетрация в 2–2,25 раза).

Таким образом, показана возможность применения полимерных отходов в качестве модификаторов нефтяных битумов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Китиков, В. О. Анализ эффективных направлений получения вторичных материальных ресурсов из отходов пластика / В. О. Китиков, И. В. Барановский, И. И. Вага // Природопользование и экологические риски: материалы науч.-практ. конф., Минск, 5 июня 2019 г. – Минск: БГТУ, 2019. – С. 60–64.

UDC 691.32: 691.328

CONCRETE CONSTRUCTION AND ITS RESOURCE SAVING
TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABILITY

P. CHONGO, J. IRADUKUNDA, S. L. SHAMBINA

Peoples' Friendship University of Russia

Moscow, Russia

The construction sector has a significant impact on the environment. These impacts are becoming more and more prominent as the years go by. Concrete construction throughout its life cycle presents it unique problems to the environment. This begins from the production of the various raw materials used in concrete up to the waste materials that come from structures after demolition. Some of the main environmental impacts that the concrete construction industry has on the environment are: resource depletion, emission of carbon dioxide into the atmosphere and massive energy consumption.

In this thesis, we are going to discuss the general life cycle of concrete and review some main sustainable concrete construction solutions from various earlier done researches.

The importance of sustainability research in the field of civil engineering is undeniable. In this regard, companies are progressively conscious that ensuring a competitive advantage is contingent on more than only client pleasure based on low costs and the quality of the product or service delivered [1].

Building in a sustainable manner and scheduling appropriate building maintenance are significant in the “new construction ideology” of this new century. In particular, to build in a sustainable manner means to focus attention on the effects on human health, energy conservation, and physical, environmental, and technological resources for new and existing buildings. It is also important to take into account the impact of construction technologies and methods when creating sustainable structures [2]. Owing to this and many more reasons, the concrete construction industry must be reviewed.

The material contained in this thesis was obtained through scientometric analysis of bibliometric data on sustainability in concrete construction.

The life cycle of concrete mainly comprises of the manufacturing stage, construction stage, life stage and demolition stage. We shall asses each of these stages to discuss their impacts and specific methods needed to be applied to deal with these impacts.

During the manufacturing stage, cement, aggregate and water are needed. Of these three raw materials, cement production consumes more energy. It is produced in a rotary kiln at a temperature of about 1450 c and carbon dioxide is also released as a by-product.

This process involves heating the slurry mixture which is fed into the kiln to produce clinkers. The clinkers are later on dried and ground into powder with the addition of special additives to produce cement of the required grade. This is an extremely energy consuming process. It is estimated that sand and aggregate account for approximately 30 % of all carbon dioxide emissions during the process of concrete production. Let us now look at the life stages of concrete and assess their various impacts and energy consumption. Each stage presents its own unique impacts. In the stage of construction, less amounts of greenhouse gases are released as compared to the manufacturing stage. The effectiveness of this stage cannot be neglected though. Onsite activities like pumping, vibrating, and finishing consume energy. During the life stage of properly prepared concrete, there is little to no emission of gases and energy consumption. But when it deteriorates, its repair requires energy and produces waste materials.

The demolition of concrete structures and its transportation can be an expensive process. It also consumes close to 0.2 percent of energy in the whole life cycle assessment.

To solve the above mentioned problems in concrete construction, the following solutions have been and can be implemented: *Use of blended cements*. As earlier stated, cement is produced by grinding clinkers produced in rotary kilns. Partially or fully replacing the clinker can reduce energy consumption and carbon dioxide emissions. Blended cements are produced by using industrial by products like slag in place of clinker. This decreases energy consumption and greenhouse emissions. *Energy efficiency improvement*. Decreasing emissions from electricity and fuel use can be achieved by the use of process control systems, use of raw meal homogenizing systems for storage and mixing of raw materials, converting from the wet to semi-wet process during clinker production when producing the cement. *Prolonging the service life of concrete*. When the concrete is durable, it decreases the amount of solid waste as a result of demolition, it also saves the virgin raw materials which would be needed to repair or replace the fractured concrete.

REFERENCES

1. **Alencar, M. H.** Structuring objectives based on value-focused thinking methodology: creating alternatives for sustainability in the built environment / M. H. Alencar // Journal of clean production. – 2017. – P. 62–73.
2. **Tarun, R. N.** Sustainable concrete construction / R. N. Tarun // ASCE. – 2008. – P. 98–101.

УДК 621.3

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ СРЕДСТВ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

А. А. АФАНАСЬЕВ, М. М. СОТНИК, В. В. ПИСАРИК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В фотометрических средствах контроля жидких дисперсных сред наибольшее практическое применение нашли турбидиметрический и нефелометрический методы. Соответствующие средства измерения строятся по схеме турбидиметра (фотоприемник расположен на оси излучения и воспринимает проходящее ослабленное излучение) или нефелометра (приемник расположен под углом к оси излучения и воспринимает рассеянное излучение). Такие схемы построения приборов являются одноканальными и характеризуются рядом недостатков, влияющих на их точность. Для их устранения был разработан двухканальный оптоэлектронный измерительный преобразователь, схема которого и принцип работы описаны в [1]. Усовершенствованный вариант такого преобразователя приведен на рис. 1. Он имеет источник излучения (ИИ), управляемый контроллером (К), измерительный и опорный каналы (ИК и ОК), фотоприемник (ФП1) в ИК и фотоприемник (ФП2) в ОК, дифференциальный усилитель (ДУ), полосовой фильтр (ПФ), и амплитудный детектор (АД). Использование в нем контроллера позволяет усовершенствовать его структуру, алгоритм получения измерительной информации, улучшить метрологические характеристики.

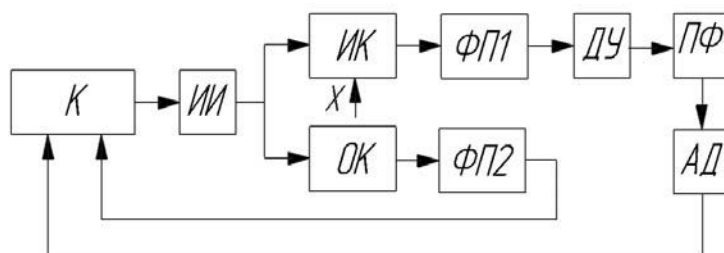


Рис. 1. Структурная схема двухканального ОЭИП

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев, А. А. Электронный измерительный преобразователь для приборов фотометрического контроля / А. А. Афанасьев, В. Ф. Гоголинский, В. В. Писарик // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 26–27 апр. 2018 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – С. 339–340.

УДК 620.179.142.6

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ТОЛЩИН СТЕНОК СТАЛЬНЫХ
КОРПУСОВ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

О. В. БУЛАТОВ

Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Выбор оптимальных размеров стального корпуса магнитодинамического преобразователя позволяет повысить точность измерений толщины никелевых покрытий. Это подтверждают расчетные зависимости радиуса $R_{из}$ информативной зоны преобразователя, предназначенного для толщинометрии покрытий в диапазоне $0 \dots 700$ мкм, от толщины H вертикальной цилиндрической и толщины S горизонтальной плоской стенок корпуса, приведенные в [1, 2]. Там же показано, что для корпуса такого преобразователя толщины $H = 3,7$ мм и $S = 1,5$ мм оптимальны, поскольку при них краевой эффект минимален.

Вышеуказанный диапазон актуален только при контроле толщины никелевого покрытия, нанесенного на внутреннюю поверхность камеры жидкостного ракетного двигателя. В остальных случаях приходится иметь дело с диапазонами, верхние пределы которых не превышают 300 мкм. В связи с этим настоящая работа, продолжающая [1, 2], посвящена оптимизации толщин H и S стенок стальных корпусов преобразователей с неодимовыми магнитами меньших диаметров. В качестве объекта оптимизации выбраны два преобразователя, магниты которых имеют диаметры 3 и 5 мм. По расчетным графикам, приведенным в [3], видно, что первый из этих преобразователей имеет очень высокую чувствительность к толщине слоя никеля, почти не уменьшающуюся в диапазоне $0 \dots 200$ мкм, тогда как чувствительность второго преобразователя остается практически максимальной во вдвое большем диапазоне. На основе этого можно утверждать, что преобразователь, имеющий магнит диаметром 3 мм, подойдет для большинства случаев, в которых необходимо измерять толщину, не превышающую $100 \dots 150$ мкм, а преобразователь с 5-миллиметровым магнитом будет пригоден и в остальных случаях.

В данной работе все расчеты выполнены методом конечных элементов с использованием пакета прикладных программ FEMM [4]. Оптимизация толщины каждой стенки корпуса основана на нахождении минимума сначала у функции $R_{из} = f(S)$ при каждом из фиксированных значений толщины H , а затем у функции $R_{из} = g(H)$ при постоянных значениях толщины S . Значения радиуса $R_{из}$ сначала вычислены для преобразователя с магнитом диаметром 3 мм, а затем – 5 мм. Значения толщин S и H , соответствующие минимумам обеих функций при заданных значениях толщин H и S , приведены в табл. 1.

Видно, что значение толщины S , при котором радиус $R_{из}$ становится минимальным, сильно зависит от диаметра D и почти не зависит от толщины H , тогда как аналогичное значение H , наоборот, существенно зависит от S и очень

слабо – от D . На основе табличных данных можно утверждать, что при диаметре $D = 3$ мм оптимальной является толщина $S = 0,5$ мм, а при $D = 5$ мм – $S = 0,8$ мм. В свою очередь, эти значения позволили определить оптимальные значения толщины H , приведенные в табл. 2.

Табл. 1. Значения толщин S и H , соответствующие минимумам функций $R_{из} = f(S)$ и $R_{из} = g(H)$ при фиксированных значениях толщин H и S и выбранных значениях диаметра D магнита преобразователя

D , мм	H , мм		S , мм	
	1	5	1	5
3	0,48	0,50	4,85	5,57
5	0,84	0,80	4,80	5,46

Табл. 2. Оптимальные толщины S и H , при которых краевой эффект минимален

D , мм	S , мм	H , мм
3	0,5	4,8
5	0,8	4,7

Таким образом, можно утверждать, что у преобразователя с меньшим магнитом стальной корпус должен иметь вертикальную стенку толщиной $H = 4,8$ мм, а у другого преобразователя – толщиной $H = 4,7$ мм.

Использование магнитодинамических преобразователей с корпусами, имеющими оптимизированные по толщине стенки, позволит минимизировать краевой эффект.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов, О. В. Влияние толщины стенки стального корпуса преобразователя магнитодинамического толщиномера на краевой эффект / О. В. Булатов // Приборостроение-2020: материалы 13 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18–20 нояб. 2020 г. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 21–22.
2. Булатов, О. В. Оптимизация размеров корпуса преобразователя магнитодинамического толщиномера с целью минимизации краевого эффекта / О. В. Булатов // Приборостроение-2021: материалы 14 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 17–19 нояб. 2021 г. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 33–35.
3. Лухвич, А. А. Возможности магнитодинамического метода контроля толщины двухслойных покрытий / А. А. Лухвич, О. В. Булатов // Дефектоскопия. – 2008. – № 10. – С. 26–34.
4. Finite Element Method Magnetism [Electronic resource]: User's Manual. – Mode of access: <https://www.femm.info/wiki/Files/files.xml?action=download&file=manual.pdf>. – Date of access: 02.02.2022.

УДК 620.179.14/15

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ В ОБРАЗЦАХ СТАЛЕЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ АДДИТИВНЫМ СПОСОБОМ

В. Н. БУСЬКО

Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Исследование и оценка технологической анизотропии физико-механических свойств (ФМС) стальных материалов, в том числе полученных с помощью аддитивных технологий (АТ), в настоящее время относится к востребованным и необходимым прикладным задачам. Анизотропия ФМС оказывает существенное влияние на прочностные характеристики материалов, изделий и конструкций [1]. С развитием АТ актуальность исследования оценки анизотропии в сталях будет возрастать.

При изготовлении материалов и изделий с помощью АТ возникающая в них анизотропия, наряду с неоднородностью, остаточными напряжениями, пористостью, дефектностью, состоянием поверхности, относится к сдерживающим факторам получения высоких ФМС и более широкого внедрения в промышленность. Анизотропия, обусловленная образованием слоистых структур при использовании различных методов изготовления 3D-материалов, в отличие от полученных с помощью традиционных способов, как правило, является более ярко выраженной, поэтому ее исследование, оценка и неразрушающий контроль на стадиях изготовления и при эксплуатации материала требует повышенного внимания. Цель работы – исследование возможности выявления и оценки технологической анизотропии в стальных образцах, полученных селективным лазерным спеканием/сплавлением (СЛС), с использованием метода эффекта Баркгаузена (МЭБ), информативные параметры которого относятся к магнитоанизотропным [2, 3].

На рис. 1, *а–в* приведен внешний вид образца из конструкционной стали размером $30 \times 30 \times 7$ мм в форме квадрата и трех образцов в виде балки размером $70 \times 30 \times 15$ мм толщиной 2 мм (рис. 1, *г*) из стали 09Г2С, полученных методом СЛС (два 3D-образца) и один – литой (для сравнения), изготовленные разными производителями. Из рис. 1, *а–в* видно, что образец имеет неровную, а как бы шероховатую поверхность, на срезе трёхмерного образца (см. рис. 1, *б, в*) просматривается периодическая среднеячеистая структура, обусловленная особенностями метода СЛС; образцы в виде балки (см. рис. 1, *г*) имеют гладкую поверхность.

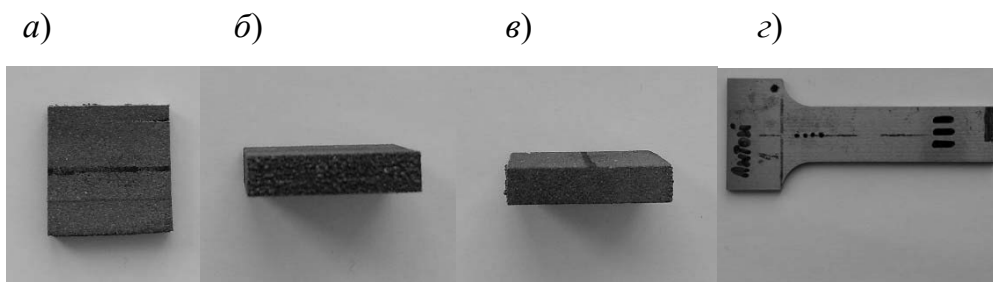


Рис. 1. Полученные с помощью СЛС образец-пластина (*а–в*) в форме квадрата (изготовитель 1) и образцы в виде балки (*г*) из стали 09Г2С

На рис. 2, а показаны круговые диаграммы (КД) зависимости уровня магнитного шума (МШ) от угла поворота φ преобразователя Баркгаузена (ПБ) вокруг оси в центре противоположных сторон образца конструкционной стали. Измерения МШ выполнялись на приборе ИМШ с ПБ с высокой локальностью измерений МШ ($S_{\text{изм.обм.}} \approx 2 \text{ мм}^2$). Анализ КД выявил наличие магнитной анизотропии в образце, четко видны угловые зоны с максимальным ($\varphi = 80^\circ \dots 90^\circ, 265^\circ \dots 270^\circ$) и минимальным ($0^\circ \dots 180^\circ$) значением МШ для обеих сторон, что связано с технологией изготовления образца (диаметра порошков, режимами спекания, параметрами лазерного оборудования и направлением печати). Похожий результат получен при исследовании ФМС ячеистой структуры образцов из сплава ХН58МБЮ: среднее значение модуля упругости при сжатии оказалось в 2 раза выше, чем у образцов, испытанных вдоль направления печати образцов [4].

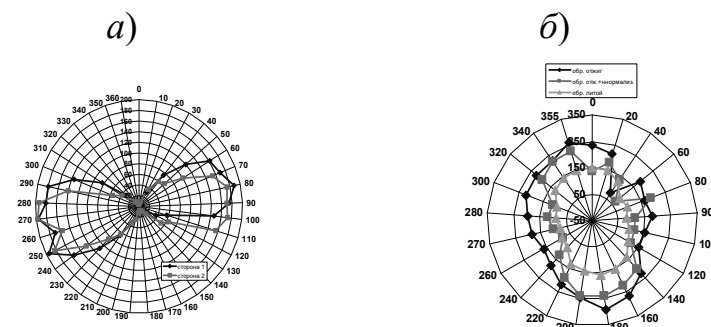


Рис. 2. Диаграммы зависимости уровня МШ от угла поворота ПБ для двух сторон АТ образца конструкционной стали (а) и образцов из стали 09Г2С (б)

Второй пример оценки анизотропии магнитошумовым методом (рис. 2, б) иллюстрирует КД, полученные на двух 3D-образцах и литом образце из стали 09Г2С до циклирования, из которых также видно наличие технологической анизотропии. Учитывая соотношение размеров и форм между образцами и ПБ, полученные зависимости характеризуют не только магнитную анизотропию ФМС, но и краевой эффект, который остаётся постоянной величиной и не является мешающим фактором.

Приведенные примеры показывают не только наличие технологической анизотропии в 3D-образцах, выявленной с помощью метода эффекта Баркгаузена, но и возможность её оценки и контроля.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке совместного проекта между БРФФИ и РФФИ (грант № Т20Р-119).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микляев, П. Г. Анизотропия механических свойств металлов / П. Г. Микляев. – Москва: Металлургия, 1986. – 224 с.
2. Горкунов, Э. С. Эффект Баркгаузена и его использование в структуроскопии ферромагнитных материалов (обзор 1) / Э. С. Горкунов, Ю. Н. Драгошанский // Дефектоскопия. – 1999. – № 6. – С. 3–33.
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. 50–56.
4. Акушевич, В. А. Исследование прочностных характеристик ячеистых образцов, изготовленных аддитивным способом / В. А. Акушевич, А. И. Зыков, И. Г. Толмачева // Изв. ТулГУ. – 2019. – Вып. 5. – С. 424–430.

УДК 681.7

АНАЛИЗ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИКО-ВОЛОКОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ РАЗМЕРНОГО КОНТРОЛЯ

В. Ф. ГОГОЛИНСКИЙ, А. А. АФАНАСЬЕВ, В. В. ИВАНОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Одним из основных конструктивных элементов оптико-волоконного измерительного преобразователя является волоконно-оптическая линейка (ВИЛ), длина торца которой определяет точность преобразования. Она зависит от качества изготовления её отдельных дискретных элементов (ДЭ). В связи с этим возникает задача определения попадания погрешности при изготовлении ВИЛ в заданную область. При заданном количестве ДЭ определяется вероятность попадания суммарной погрешности в заданное поле допуска при фиксированном значении длины L ВИЛ. В качестве исходных данных используются следующие величины: n – число ДЭ ВИЛ; $f(\delta_{из})$ – плотность распределения погрешности изготовления; $\delta_{Низ}$, $\delta_{Виз}$ – нижняя и верхняя границы поля допуска погрешности изготовления, заданные в функции L :

$$\delta_{Низ} = -\delta_{0из} - K_1 L;$$

$$\delta_{Виз} = +\delta_{0из} - K_2 L,$$

где $\delta_{0из}$, K_1 , K_2 – константы.

Принимая допуски симметричными, а их абсолютные величины постоянными, т. е. $\delta_{Низ} = -\delta_{0из}$ и $\delta_{Виз} = +\delta_{0из}$, полная длина ВИЛ

$$L = \sum_1^n h_k,$$

где h_k – толщина k -го ДЭ.

Определяя толщину k -го ДЭ $h_k = h_0 + \delta_{киз}$ (где h_0 – номинальный размер ДЭ; $\delta_{киз}$ – погрешность изготовления), полный размер ВИЛ

$$L = \sum_1^n (h_0 + \delta_{киз}) = nh_0 + \sum_1^n \delta_{киз} = L_0 + \delta_{из},$$

где L_0 – номинальный размер ВИЛ; $\delta_{из}$ – общая погрешность изготовления ВИЛ.

Результаты теоретического обоснования инструментальной погрешности ВИЛ использованы при практической реализации пневмооптоэлектронного устройства автоматического размерного контроля протяженных изделий.

УДК 620.179

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ВОЛН РЭЛЕЯ РАЗЛИЧНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

А. С. ГОРДЕЕВА, С. С. СЕРГЕЕВ, О. С. СЕРГЕЕВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В разнообразных металлических конструкциях при их эксплуатации часто возникают дефекты, которые располагаются непосредственно на поверхности или в подповерхностном слое на глубине в несколько миллиметров. Среди таких дефектов наиболее опасными являются нарушения сплошности металла в виде усталостных и стресс-коррозионных трещин. Для обнаружения и оценки таких дефектов наиболее широко используют в практике не только классические капиллярный, магнитопорошковый и вихретоковый контроль, но и ультразвуковой метод. При этом ультразвуковой контроль обладает высокой чувствительностью к выявлению поверхностных и подповерхностных несплошностей и возможностью измерения размеров дефектов, в том числе глубины распространения трещиноподобных дефектов. Для решения подобных задач могут эффективно использоваться поверхностные волны Рэлея в совокупности с подповерхностными поперечными и продольными (головными) волнами.

Для возбуждения волн Рэлея могут быть применены несколько известных способов: с использованием встречно-штыревых пьезопреобразователей (ПЭП), с использованием ПЭП с линией задержки в виде призмы, прямым ПЭП с торца объекта. В производственных условиях требуется выбрать такой способ, который обеспечил бы простое и надежное возбуждение поверхностных волн, требуемой амплитуды, в объектах из различных материалов.

В работе проведены исследования эффективности возбуждения рэлеевских волн с помощью стандартных ПЭП, которые можно приобрести на рынке у известных производителей. Для сравнительного анализа были выбраны: наклонные ПЭП с переменным углом ввода П131-2,5-0-90-512 и П131-5-0-90-512, наклонные ПЭП частотой 2,5 МГц с фиксированным углом ввода 65° и дополнительным клином, прямой ПЭП с частотой 2,5 МГц, фазированная 16-элементная решетка с частотой 4 МГц. В исследованиях использовались ультразвуковые дефектоскопы USM GO и Phasor XS. Для возбуждения поверхностных волн были изготовлены образцы с плоскими и цилиндрическими поверхностями из различных материалов: сталь 20, дюралюминий. При проведении исследований в качестве отражателей использовались боковые торцовые поверхности образцов и специальные поверхностные надпилы различной глубины.

В докладе приведены сравнительные результаты исследований и даны практические рекомендации по проведению ультразвукового контроля поверхностными волнами.

УДК 620.179.14

ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ОБРАЗЦОВ НА ВТОРИЧНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАМАГНИЧИВАНИИ В ПРОХОДНОМ ДАТЧИКЕ

З. М. КОРОТКЕВИЧ¹, В. А. БУРАК²¹Институт прикладной физики НАН Беларуси²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Повышение надежности является важной задачей неразрушающего контроля структурного состояния сталей. Одним из факторов, влияющих на достоверность импульсной магнитной структуроскопии, является выбор намагничивающего поля, приводящего контролируемое изделие в состояние технического насыщения. Форма и размеры контролируемого изделия оказывают значительное влияние на формирование вторичного магнитного поля в них, тем самым снижая итоговую намагниченность.

В ходе исследования была рассмотрена зависимость влияния длины l цилиндрических образцов быстрорежущей стали Р6М5 на петли магнитного гистерезиса. Намагничивание и измерение проводились в проходном преобразователе прибора ИМИ-И [1] несимметричным магнитным полем. Амплитуда первого намагничивающего импульса составляла 30 кА/м, а размагничивающий импульс был порядка 10 кА/м, что составляет $10 H_c$.

Петли магнитного гистерезиса для образцов различной длины l приведены на рис. 1. Как видно из вида полученных кривых, петли магнитного гистерезиса при заданном намагничивающем поле не достигают предельного значения, т. е. технического насыщения, и представляют собой пример частных петель.

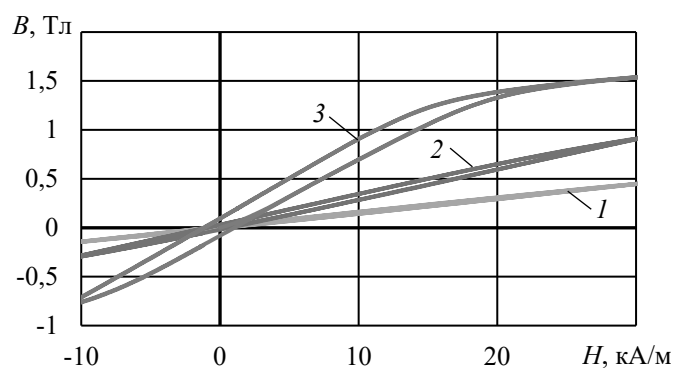


Рис. 1. Петли магнитного гистерезиса для образцов различной длины при намагничивании импульсным магнитным полем $H = 30$ кА/м: 1 — $l = 30$ мм; 2 — $l = 50$ мм; 3 — $l = 100$ мм

Различие в формах и наклоне петель магнитного гистерезиса, полученных для образцов разной длины, объясняется наличием размагничивающего фактора, который зависит от формы и размеров образцов, например, на более коротких образцах он будет иметь больший вклад в магнитную индукцию за счет возникающих на торцах токах Фуко, чем на более длинных.

Были проведены расчеты, учитывающие величину скин-слоя и ослабление напряженности магнитного поля от поверхности образца, при определении величины внешнего магнитного поля, необходимого для доведения образцов конечных размеров до состояния технического насыщения.

Из расчетов было установлено, что для образцов цилиндрической формы, изготовленных из стали Р6М5 конечных размеров, с уменьшением их относительной длины возрастает величина внешнего магнитного поля, необходимого для намагничивания до состояния технического насыщения изделий. Так, например, с уменьшением относительной длины в 3,3 раза величина магнитного поля возросла приблизительно в 3 раза.

Экспериментально получены несимметричные петли магнитного гистерезиса для образцов разной длины из стали Р6М5 при намагничивании с учетом увеличения амплитуды импульсного магнитного поля (рис. 2).

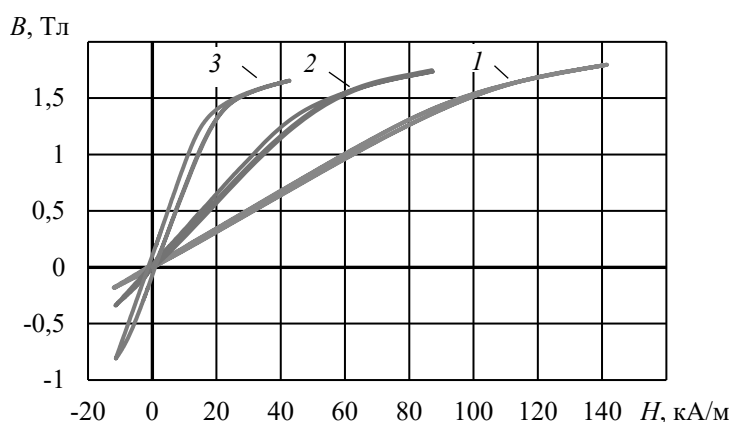


Рис. 2. Предельные петли магнитного гистерезиса для образцов различной длины при намагничивании импульсным магнитным полем с учетом длины образца: 1 – $l = 30$ мм; 2 – $l = 50$ мм; 3 – $l = 100$ мм

По полученным экспериментальным данным можно сделать вывод, что увеличение амплитуды намагничивающего импульса внешнего поля с учетом коэффициента размагничивания, зависящего от формы и размеров ферромагнитного изделия, позволяет доводить контролируемые объекты до технического насыщения и таким образом стабилизировать величины стандартных магнитных характеристик, что повышает точность магнитного неразрушающего контроля.

Исследования были выполнены при частичном финансировании БРФФИ-М № T21M-023.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прибор для измерения магнитной индукции ферромагнитных стержней в процессе импульсного намагничивания-перемагничивания / З. М. Короткевич [и др.] // Приборостроение-2013: материалы 6 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–22 нояб. 2013 г. – Минск: БНТУ, 2013. – С. 70–72.

УДК 535.5 + 621.658.011: 620.1

ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ
В ОБЪЕКТАХ МАЛЫХ РАЗМЕРОВИ. М. КУХАРЕНКО, И. С. САВИЦКИЙ, И. У. ПРИМАК, А. В. ХОМЧЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Наличие остаточных напряжений в деталях приборов и устройств, возникающих в процессе их изготовления из оптически прозрачных материалов, обычно контролируется методами поляриметрии. Однако такой подход не обеспечивает высокой точности измерения при контроле трехмерных объектов малых размеров. Более того, известно, что методы оптической поляриметрии нельзя применять для измерения малых значений механических напряжений. В работе приведены результаты исследований по разработке и созданию установки поляризационной интерферометрии для измерения напряжений в таких объектах. Схема установки, реализующей данный метод измерения, представлена на рис. 1 и отличается от классической тем, что поляризатор и анализатор установлены в высокоточном поворотном механизме, использованы система оптического увеличения и протяженный источник монохроматического излучения. Программное обеспечение позволяет проводить анализ изображений объекта в поляризованном свете и определять в соответствии с предложенным алгоритмом величину механических напряжений и их распределение в поперечном сечении образца. Величина механических напряжений оценена также независимым методом с использованием динамометрического ключа с предустановкой крутящего момента, погрешность измерений 6 %.

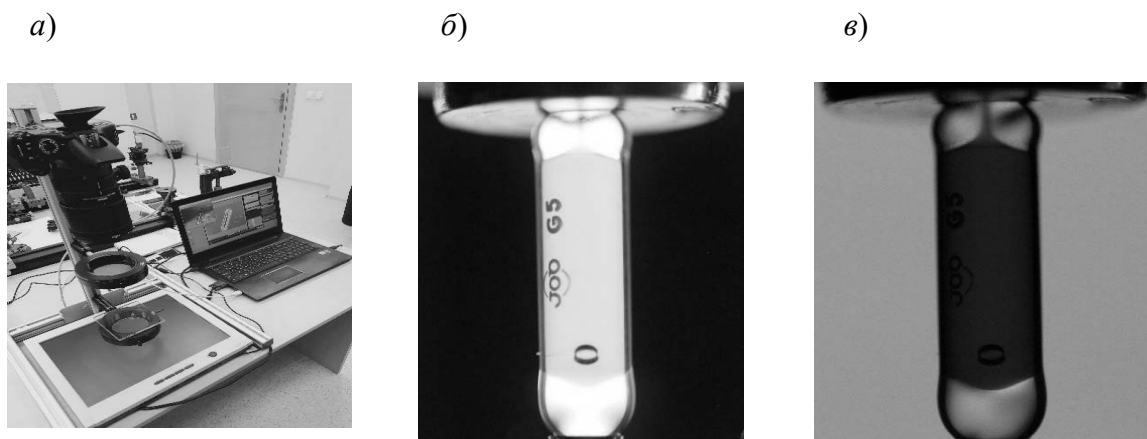


Рис. 1. Установка для контроля распределения напряжений (а) в изделии из стекла (б) и его изображение в поляризованном свете (в)

Исследованы возможности метода по определению малых значений механических напряжений в стеклянных колбах диаметром 3 мм, основанного на регистрации и обработке изображений контролируемого объекта в поляризованном свете.

УДК 620.179.14

ФОРМИРОВАНИЕ МАГНИТОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЕФЕКТА НА ПОВЕРХНОСТИ ФЕРРОМАГНИТНОГО ОБЪЕКТА С ПОКРЫТИЕМ

Я. И. МИРЕНКОВА, В. А. НОВИКОВ, А. В. КУШНЕР, А. В. ШИЛОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Чтобы увеличить срок эксплуатации деталей, механизмов и оборудования на их поверхность наносят специальные защитные покрытия. Они предохраняют объекты от действия агрессивных сред, появления коррозии, от механических повреждений, преждевременного износа, улучшают эксплуатационные свойства, увеличивают долговечность и улучшают внешний вид. Чаще всего толщина покрытия составляет от десятков микрон до нескольких миллиметров, а иногда и больше.

Обычно приборами неразрушающего контроля определяют толщину покрытия, однако в ряде случаев объекты нужно контролировать на наличие дефектов сплошности основного металла без удаления защитного покрытия, например, на стадии ремонта объекта.

Если толщина покрытия не превышает 200 мкм, то наличие дефектов в основном металле часто определяют магнитопорошковым методом. Но метод контроля является индикаторным, поэтому не позволяет определить глубину дефекта, имеет неудобство, связанное со стеканием магнитной суспензии с контролируемой криволинейной поверхности, не всегда обеспечивает высокую производительность контроля.

Наиболее приемлемым для контроля объектов с немагнитными покрытиями является магнитографический метод, который имеет высокую чувствительность при обнаружении наиболее опасных дефектов (трещин и несплавов), особенно расположенных на небольшой глубине, позволяет достичь высокой производительности и экономичности, не требует механической подготовки поверхности объекта перед контролем, кроме удаления острых кромок, которые могут повредить магнитную ленту, применим для дефектоскопии объектов толщиной от 2 до 25 мм.

Так как магнитографический метод контроля предусматривает намагничивание объекта, то расчетным и экспериментальным путем исследовали формирование магнитоэлектростатического поля дефекта на поверхности ферромагнитного объекта с покрытием. Расчет поля дефекта на поверхности покрытия разной толщины выполнен для случая цилиндрического отверстия диаметром 2 мм, выполненного в основном металле. Продольная ось отверстия ориентирована параллельно поверхности объекта и перпендикулярно вектору напряженности намагничивающего поля. Расчет выполнен по формулам, которые учитывают и не учитывают влияние границ раздела сред, чтобы оценить вклад границ раздела сред в формирование поля дефекта.

В обоих случаях показано, что тангенциальная составляющая напряженности поля дефекта на поверхности объекта с покрытием имеет вид

колоколообразной кривой, максимум которой располагается в плоскости симметрии дефекта, перпендикулярной поверхности объекта. Чем больше толщина покрытия и больше глубина залегания несплошности, тем меньше максимальное значение ее поля рассеяния (рис. 1).

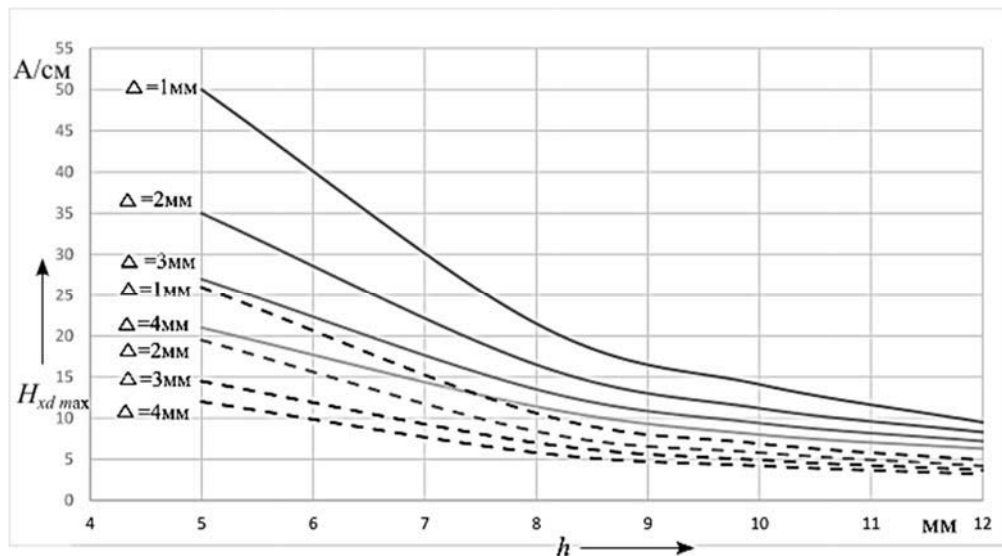


Рис. 1. Сравнение максимальных значений тангенциальных составляющих магнитостатических полей дефектов, вычисленных по формулам, которые учитывают (сплошные линии) и не учитывают (пунктирные линии) влияние границ раздела сред (h – глубина залегания дефекта; Δ – толщина покрытия)

Максимальные значения H_{xd} , вычисленные по формуле, которая учитывает влияние границ раздела сред, приблизительно в 2 раза больше H_{xd} , определенных по формуле, не учитывающей влияния границ раздела сред.

Для измерений тангенциальных составляющих полей на поверхности ферромагнитных образцов с немагнитными покрытиями использовали ленточные локальные магнитоносители (ЛЛМ), проградуированные в однородном магнитном поле, т. к. они позволяют выполнять измерения в непосредственной близости от поверхности объекта. Тангенциальную составляющую напряженности поля отверстия H_{xd} определяли как разность суперпозиции полей в зоне несплошности и напряженности поля на большом расстоянии от отверстия. Эксперименты показали, что топография поля H_{xd} на поверхности образца с покрытием качественно не отличается от ее топографии на образце без покрытия. По мере удаления от плоскости симметрии отверстия, перпендикулярной поверхности образца, H_{xd} плавно убывает, а на расстоянии 8...12 мм меняет знак. Формулы, учитывающие влияние границ раздела сред, более точно описывают формирование полей, создаваемых внутренними несплошностями на поверхности объектов с покрытиями. Вклад границ раздела сред в величину напряженности поля цилиндрической внутренней несплошности тем больше, чем меньше толщина покрытия и меньше глубина залегания дефекта.

УДК 681.7.064

К ОПТИМИЗАЦИИ АНТИБЛИКОВЫХ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

С. О. ПАРАШКОВ¹, Д. В. ПОНКРАТОВ², А. Б. СОТСКИЙ²¹Белорусско-Российский университет²Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова
Могилев, Беларусь

Для ряда приложений актуальна проблема минимизации солнечных бликов от стекол. В работе эта проблема рассматривается с позиций применения интерференционных покрытий в случае широких диапазонов длин волн $\lambda_{\min} \leq \lambda \leq \lambda_{\max}$ (где $\lambda_{\max} - \lambda_{\min} \sim 100$ нм) и углов падения света $0 \leq \theta \leq \theta_{\max}$ (где $\theta_{\max} \sim 50^\circ$).

Математическая модель предполагает минимизацию функции

$$\langle R(d_k) \rangle = (mn)^{-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R(\lambda_i, \theta_j, d_k), \quad (1)$$

где d_k ($k = 1, \dots, L$) – толщины слоев покрытия; значения λ_i и θ_j равномерно распределены по диапазонам $[\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$ и $[0, \theta_{\max}]$; $R = 0,5(R_s + R_p)$; R_s и R_p – отражательные способности структуры для волн s и p поляризации.

В табл. 1 и на рис. 1 представлены результаты отыскания минимумов (1) для различных интерференционных покрытий на пластине из поликарбоната (РС) миллиметровой толщины, полученные для диапазона $600 \text{ нм} > \lambda > 500 \text{ нм}$ при $\theta_{\max} = 50^\circ$, $m \geq 11$, $n \geq 6$.

Табл. 1. Минимумы $\langle R \rangle$ для односторонних L -слойных покрытий толщины $D = \sum_{k=1}^L d_k$ на РС-пластине

Структура	L	D , нм	$\langle R \rangle_{\min}$
air/PC/SiO ₂ /ZrO ₂ /SiO ₂ /.../air	0	0	0,105
	1	98,9	0,0777
	2	98,9	0,0775
	3	372,2	0,0604
	4	368,8	0,0604
	8	640,9	0,0583

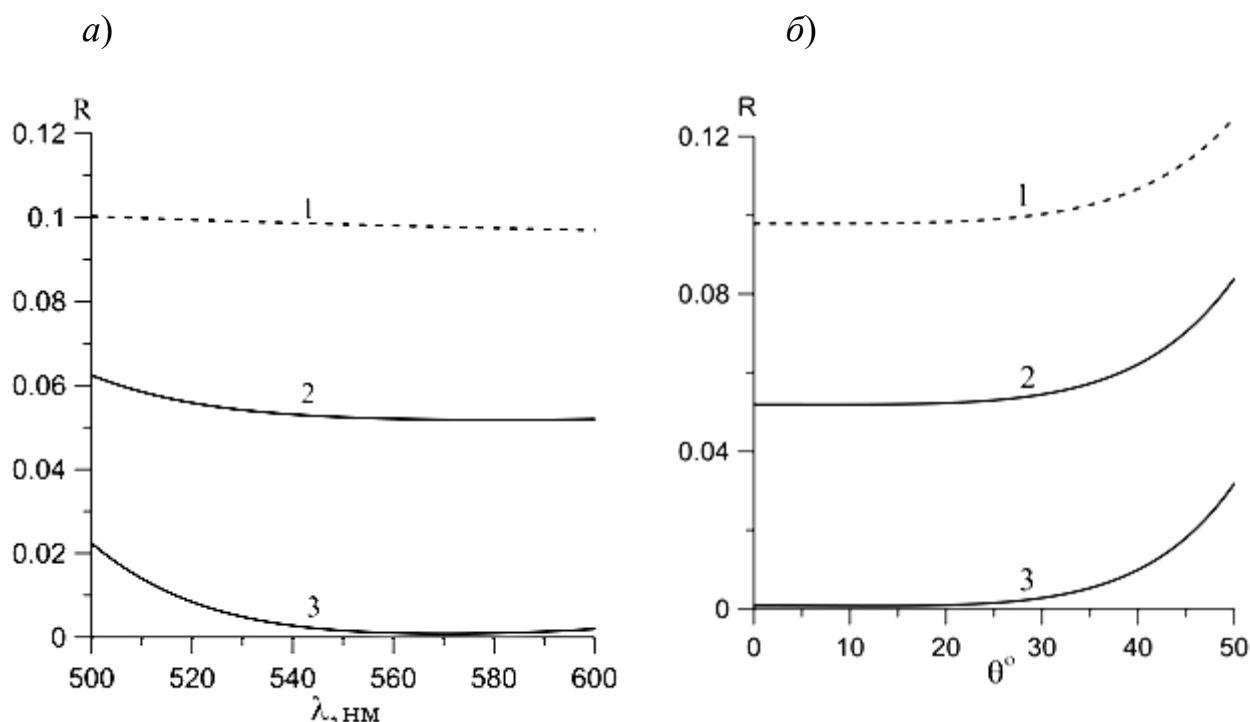


Рис. 1. Минимизация спектральной при $\theta = 0^\circ$ (а) и угловой при $\lambda = 566$ нм (б) зависимостей отражательной способности антибликового покрытия при $L = 3$: кривые 1 – РС-пластина без покрытия; 2 – оптимальное одностороннее покрытие (см. табл. 1); 3 – двухстороннее покрытие

Зависимости $R_s(\lambda, \theta, d_k)$, $R_p(\lambda, \theta, d_k)$ рассчитывались по формулам, полученным в [1]. Минимизация $\langle R(d_k) \rangle$ осуществлялась методом покоординатного спуска. Исследована структура, состоящая из нанесенных на РС-пластину чередующихся слоев SiO_2 и ZrO_2 . Дисперсионные зависимости для материалов задавались известными формулами Селлмейера.

Согласно рис. 1, применение оптимизированных антибликовых интерференционных покрытий позволяет примерно вдвое, либо более чем на порядок снизить отражение света стекла при его одностороннем либо двухстороннем покрытии соответственно.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований РБ «1.15 Фотоника и электроника для инноваций».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спектроскопия слоев на плоскопараллельных подложках / А. Б. Сотский [и др.] // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т. 128, № 8. – С. 1133–1143.

УДК 621.372.8:535

РЕФРАКТОМЕТРИЯ ИЗВЕСТКОВО-НАТРИЕВОГО СТЕКЛА

С. О. ПАРАШКОВ¹, Н. И. СТАСЬКОВ², Е. В. ТРЕТЬЯК²¹Белорусско-Российский университет²Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова

Могилев, Беларусь

Известково-натриевое стекло (SLG) миллиметровой толщины широко используется в качестве подложек для нанесения нанометровых пленок. При определении оптических характеристик пленок по измеренным спектрам отражения R и пропускания T важно знать показатели преломления n и поглощения k подложки. Трудности определения n и k стекла SLG создает тонкий (до 1 мкм) слой, в который проникает расплавленное олово [1]. Спектры T и R поляризованного света подложек измеряли на спектрометре PHOTON RT в диапазоне длин волн от 250 до 826 нм с шагом 2 нм при угле падения света $\theta = 10^\circ$. Эллипсометрический анализ (SE) проводили на эллипсометре UVISEL2. Углы ψ и Δ измеряли при $\theta = 55^\circ$ в диапазоне λ от 206 до 826 нм с шагом 1 нм. Схемы измерения спектров T (1, 3), R (2, 4), ψ и Δ (2, 4) показаны на рис. 1, а.

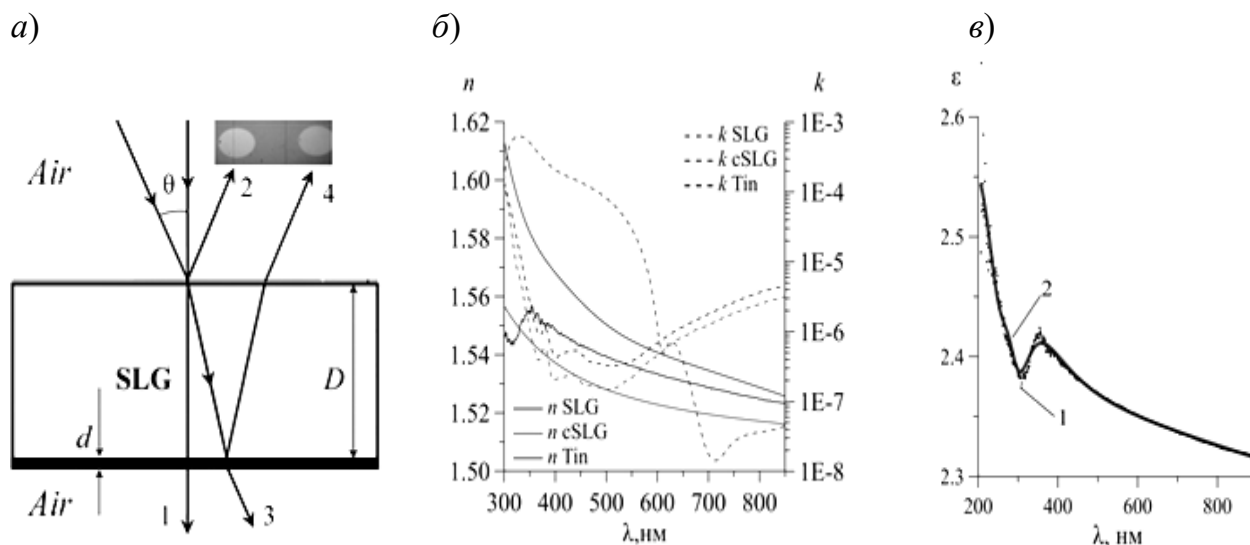


Рис. 1. Схемы измерения спектров T , R , ψ и Δ (а), рассчитанные n и k объема SLG, «оловянного» слоя и стекла cSLG (б), функции ϵ стекла SLG (в); 1 – эксперимент; 2 – теория

При малых углах θ широкие пучки лучей 2 и 4 миллиметровой плоскопараллельной пластиной не разделяются. Разделение узких пучков 2 и 4 достигается при использовании метода SE при углах $\theta > 55^\circ$ (фото над лучами). Для некогерентной ($D \gg \lambda$) стеклянной пластины сантиметровой толщины D [2] коэффициент поглощения α , см^{-1} , рассчитывают по следующим формулам:

$$\alpha = -D^{-1} \ln \left\{ \left(\left[(1 - R_{01})^4 + 4R_{01}^2 T^2 \right]^{0.5} - [1 - R_{01}]^2 \right) 0,5 R_{01}^{-2} T^{-1} \right\}; \quad (1)$$

$$\alpha = 4\pi k (\lambda 10^{-7})^{-1}, \quad (2)$$

где R_{01} – отражательная способность на границе «воздух – стекло».

В этом методе проблематично измерить R_{01} . После определения α спектр k пластины определяют по формуле (2). По спектрам Te и Re пластины SLG ($D = 0,12$ см), измеренным при $\theta = 10^\circ$, аналитически [3] рассчитали (см. рис. 1, б) ее n и k .

По спектрам ψ и Δ (см. схему 4 на рис. 1, а; $\theta = 55^\circ$) рассчитали d и спектры $n\text{Tin}$ и $k\text{Tin}$ «оловянного» слоя. Затем эти спектры уточнялись для минимизации отклонения рассчитанных T_i , R_i и измеренных Te , Re . Спектры $n\text{Tin}$ и $k\text{Tin}$ «оловянного» слоя ($d = 86$ нм) приведены на рис. 1, б. Кривые $nc\text{SLG}$, $kc\text{SLG}$ на этом рисунке соответствуют оптическим характеристикам стекла Clear SLG из [4]. Спектр k пластины SLG ($D = 0,16$ см) из [1] расположен между кривыми $kc\text{SLG}$ и $k\text{SLG}$. Спектр показателя преломления «оловянного» слоя из [1] ($d = 982,8$ нм) расположен рядом с кривой $n\text{Tin}$. На рис. 1, в представлена интерполяция классической дисперсионной функцией (2) диэлектрической проницаемости ϵ спектра $n^2 - k^2$ (1) стекла SLG.

Эллипсометрический анализ пленок на известной подложке упрощается при выборе измерений по схеме 2 (см. рис. 1, а). В этом случае подложка рассматривается как неограниченная среда без «оловянного» слоя. Удовлетворительная корреляция спектров n и k , полученных в разных работах (см. рис. 1, б), свидетельствует о малом влиянии параметров «оловянного» слоя на спектры R и T .

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «1.15 Фотоника и электроника для инноваций».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Synowicki, R. A.** Optical properties of soda-lime float glass from spectroscopic ellipsometry / R. A. Synowicki, B. D. Johs, A. C. Martin // *Thin Solid Films*. – 2011. – Т. 519, № 9. – С. 2907–2913.
2. **Schroder, D. K.** Semiconductor material and device characterization / D. K. Schroder // John Wiley & Sons. – 2015.
3. Spectrophotometry of Layers on Plane Parallel Substrates / A. B. Sotsky [et al.] // *Optics and Spectroscopy*. – 2020. – Т. 128, № 8. – С. 1155–1166.
4. **Rubin, M.** Optical properties of soda lime silica glasses / M. Rubin // *Solar energy materials*. – 1985. – Т. 12, № 4. – С. 275–288.

УДК 620.179

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СКАНЕР ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ TOFD-МЕТОДОМ

М. Е. ПЛОТНИКОВ, С. С. СЕРГЕЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В последнее время достаточно широкое распространение получили современные технологии ультразвукового контроля промышленных объектов, которые по информативности не уступают радиографическому контролю. Одной из таких технологий является реализация TOFD-метода для контроля сварных соединений. Эффективное применение данной технологии невозможно без использования специализированных механических или автоматизированных сканирующих устройств. При этом к сканерам предъявляются некоторые функциональные требования, а именно: сканер должен обеспечивать установку преобразователей на определенном расстоянии встречно друг от друга в зависимости от толщины объекта; перемещение акустического блока по требуемой траектории со скоростью, при которой осуществляется прозвучивание объекта с постоянным заданным шагом; передачу сигналов для формирования развертки с отображением внутренней структуры контролируемого объекта. Важным преимуществом сканеров является повышение достоверности и производительности контроля.

В данной работе предлагается новая конструкция автоматизированного сканирующего устройства для ультразвукового контроля кольцевых сварных соединений труб TOFD-методом. Структурная схема автоматизированного сканера показана на рис. 1.

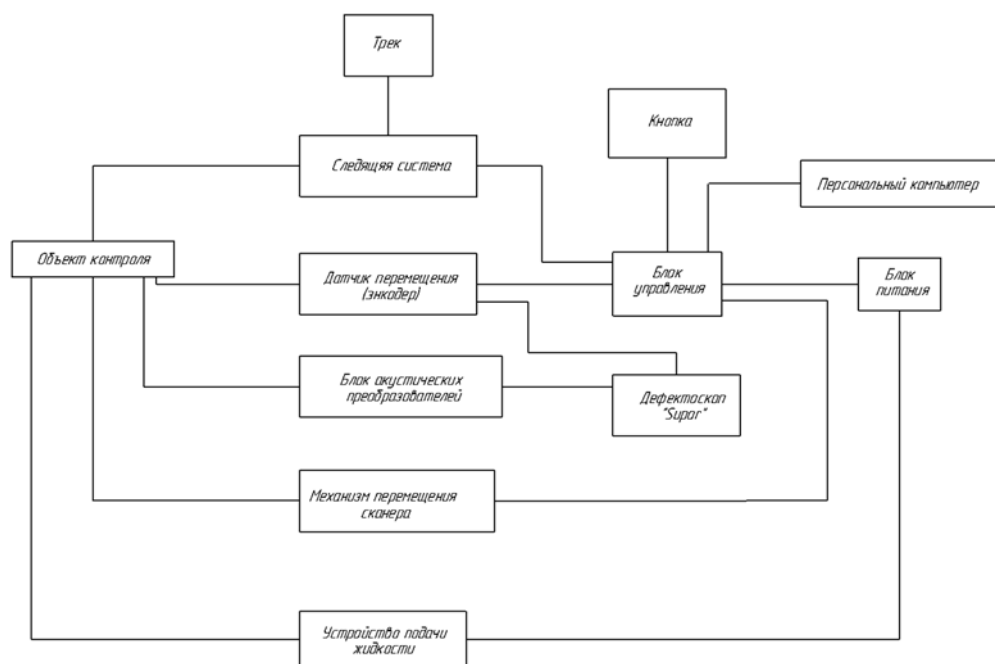


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного сканера

В сканере (рис. 2) предусмотрена возможность регулировки расстояния между преобразователями и их точное позиционирование, удерживание акустического блока и самого сканера в вертикальных плоскостях, подачу и нанесение равномерного слоя смазки на объект контроля.

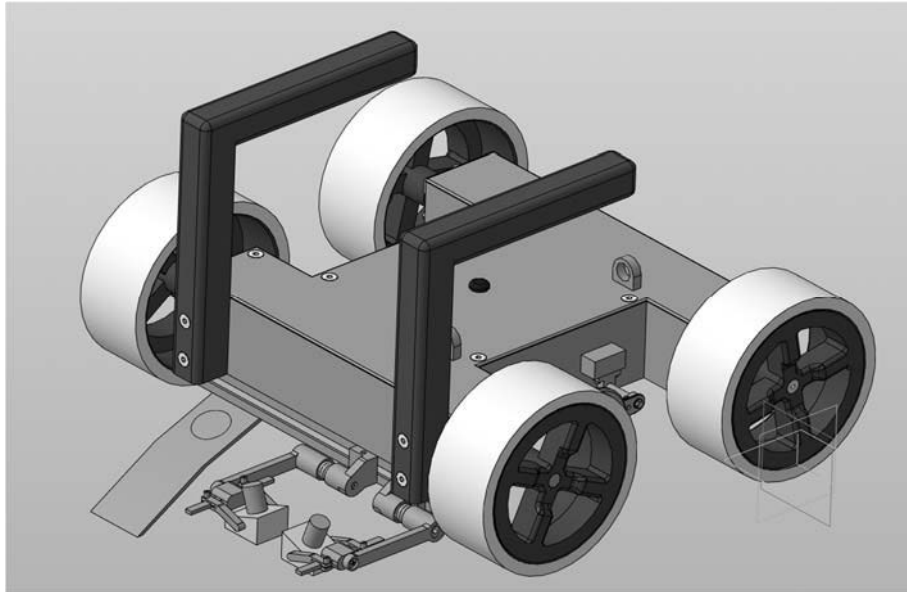


Рис. 2. Общий вид автоматизированного ультразвукового сканера

В состав автоматизированного сканирующего устройства входит блок управления, предназначенный для управления сканером. Основой блока управления является микроконтроллер. Блок управления также взаимодействует с датчиком перемещения, в качестве которого используется энкодер. Минимальный регистрируемый шаг перемещения менее 1 мм.

Механизм перемещения сканера состоит из прорезиненных магнитных роликов, которые приводятся в движение шаговыми электродвигателями. Шаговые двигатели осуществляют точное позиционирование и регулировку скорости.

Сканер оснащен двумя TOFD-преобразователями частотой 5 МГц с углом ввода 60°. Преобразователи зажимаются в механизме, конструкция которого обеспечивает плотное прижатие ПЭП к поверхности объекта, т. е. стабильный акустический контакт. Специальная крепежная рейка позволяет изменять расстояние между ПЭП и фиксировать его с помощью винтов. Устройство подачи контактной смазки реализовано с помощью силиконовых трубок с разветвителями. Для подачи смазки используется циркуляционный насос.

Чтобы подготовить сканер к контролю, нужно установить расстояние между преобразователями для оптимального прозвучивания контролируемой области. Основные параметры контроля и настройка сканера так же, как и расстояние между преобразователями выбираются в соответствии с СТБ EN 583–6.

При проведении контроля на трубном объекте фиксируется специальный трек в виде металлического кольца. Трек служит направляющей, по которой перемещается сканер. Сканер имеет возможность реверсивного движения для проверки результатов в местах обнаружения дефектов.

В работе рассмотрены функциональные и информационные возможности разработанного автоматизированного сканера и области его применения.

УДК 791.7

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОНТАКТИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЩУПА С ОБЪЕКТОМ КОНТРОЛЯ НА ВЕЛИЧИНУ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

В. Ф. ПОЗДНЯКОВ, Е. В. ПОЗДНЯКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время для восприятия первичной информации в автоматизированных координатно-измерительных системах наибольшее распространение получили контактные методы. Для их реализации используются контактные первичные преобразователи, снабженные щупом, контактирующим в процессе измерения с поверхностью контролируемого объекта. Погрешность позиционирования щупа измерительной головки является одной из основных составляющих погрешностей всей измерительной системы. Поэтому выбор способа съема информации в момент контакта измерительного щупа с исследуемым объектом является важным фактором, влияющим на погрешность измерения.

Для выбора оптимального способа контактирования были проведены исследования колебательного процесса измерительного щупа в момент касания с поверхностью измеряемого объекта. Исследованы разные способы съема измерительной информации при внешнем контактировании с объектом в момент замыкания или размыкания измерительной цепи «щуп – объект» и при внутреннем замыкании или размыкании контактов, находящихся внутри измерительной контактной головки.

Исследования показали, что в процессе контактирования происходит упругий удар и, как следствие, последующие механические негармонические колебания подвижных элементов контактного преобразователя. Анализ результатов процесса контактирования показал, что амплитуда и декремент затухания механических колебаний зависят от массы подвижных частей контактного измерительного преобразователя, жесткости упругих элементов, геометрических размеров, материала изделия и контактного наконечника, коэффициента восстановления и скорости арретирования. Построены зависимости времени переходного процесса и погрешности от скорости арретирования и различных материалов контролируемого объекта.

Анализ полученных зависимостей показал, что если отсчет производить в момент установившегося контакта, погрешность измерения системы будет определяться временем переходного процесса. При этом величина погрешности будет составлять сотые доли миллиметра, что недопустимо в высокоточных измерительных системах. Такой метод можно рекомендовать только в системах с небольшими скоростями арретирования и погрешностью более 0,01 мм.

В измерительных системах с большими скоростями измерения рациональней снимать измерительную информацию в момент первого касания измерительного щупа с объектом. При этом скорость арретирования на величину погрешности влиять не будет.

Кроме того, при внешнем контактировании при работе измерительного голо как на замыкание, так и на размыкание, надежность электрического контакта будет зависеть от состояния поверхности контролируемого объекта и наконечника щупа из-за влияния окисных пленок, жировых пятен, препятствующих электрическому контакту, что может привести к существенным погрешностям.

Таким образом, применение контактных измерительных головок с внешним контактированием может привести к существенным погрешностям, вызванных колебательными процессами, происходящими в момент арретирования, изменением состояния поверхности контролируемого объекта и контактного наконечника щупа, а также изменением физико-механических свойств материала контролируемого объекта.

В высокоточных системах рациональней использовать измерительные головки с внешним контактированием, работающие на размыкание.

Были проведены исследования зависимости времени неустановившегося размыкания контакта от скорости арретирования для разной жесткости упругих элементов преобразователя. По результатам эксперимента построена зависимость погрешности преобразователя от скорости отрыва контакта. Показано, что погрешность резко возрастает и имеет экстремумы при двух значениях скорости: при скорости равной нулю, когда сильное влияние оказывают вибрации, и при некоторой критической скорости. Наличие экстремума при критической скорости обусловлено совпадением скорости арретирования и скорости перемещения упругих элементов щупа контактной головки. При этом под воздействием вибраций происходит некоторое изменение скорости щупа преобразователя относительно объекта, что приводит к периодическому замыканию и размыканию электрической цепи и, как следствие, к увеличению времени неустановившегося контакта.

Значение критической скорости определяется жесткостью упругих элементов измерительной головки. Чем больше жесткость, тем больше критическая скорость. При выборе рабочего диапазона скоростей арретирования необходимо учитывать критические скорости, при которых появляется достаточно длительный неустановившийся контакт, и таким образом исключить грубые погрешности при измерениях.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что наилучшими характеристиками, с точки зрения погрешности, обеспечивает первичный контактный преобразователь с внутренними контактами, работающими на размыкание.

УДК 620.179.17

ОЦЕНКА ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ
МАГНИТНЫХ ШУМОВ БАРКГАУЗЕНА

А. Н. ПРУДНИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Магнитные методы оценки напряженно-деформированного состояния имеют приемлемую достоверность результатов, что позволило им найти применение при технической диагностике реальных промышленных объектов.

В проведенных исследованиях опробовалась методика измерения напряженно-деформированного состояния методом магнитных шумов Баркгаузена на вскрытом участке нефтепровода без выведения его из эксплуатации. Использование калибровочных кривых зависимости интенсивности магнитного шума от механических напряжений на эталонных образцах с использованием одноосной схемы нагружения образца может привести к неточностям измерения двухосного напряженно-деформированного состояния на объекте контроля, т. к. для корректного построения калибровочной характеристики необходимо принимать во внимание ненулевые значения величин, возникающих вдоль второго главного направления напряжений в образце. Поэтому построение двумерной калибровочной зависимости «напряжение – магнитный шум» осуществлялось с использованием крестообразного образца, нагружаемого силами растяжения, и цилиндрического образца под внутренним давлением с последующим решением обратной задачи восстановления достаточного количества данных. При анализе калибровочных зависимостей получено отклонение значений, не превышающее 7 %, что в практических целях делает допустимым к реализации второй вариант калибровки.

При измерении напряжений на поверхности трубопровода предварительно производится круговое сканирование для определения направления действия главных напряжений. Направление главного наибольшего напряжения совпадает с направлением, в котором интенсивность магнитного шума максимальна, а направление главного наименьшего напряжения – с направлением минимального значения интенсивности магнитного шума. Последующие измерения интенсивности магнитного шума выполняются в установленных двух взаимно перпендикулярных направлениях. Следует отметить, что найти соотношение нормальной и касательной составляющей напряжений не осуществимо. Разность главных напряжений определяется разностью значений сигнала магнитного шума в обоих главных направлениях, а значения напряжений возможно найти, располагая априорной информацией о соотношении напряжений в кольцевом и продольном направлениях трубопровода.

УДК 620.179.14

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ОБРАЗЦОВ ХОЛОДНОКАТАНОЙ СТАЛИ 35 ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ

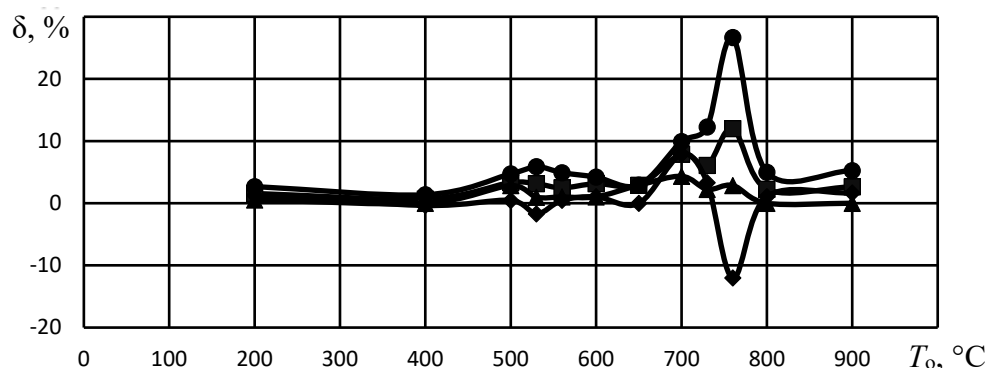
К. А. РУСАКЕВИЧ, В. Н. КУЛАГИН, А. А. ОСИПОВ

Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Надежность неразрушающего контроля металлопродукции зависит от ряда факторов: от технологических особенностей конкретного производства, характеристик приборов контроля и т. д. Импульсный магнитный метод, как и другие аналогичные решения, получил на производстве распространение для контроля изделий, обладающих ферромагнитными свойствами [1]. Тем не менее, исследование надежности использования магнитных методов остается одной из важных задач при применении неразрушающего контроля на промышленных предприятиях.

В экспериментах использовался импульсный магнитный анализатор ИМА-5Б [2], имеющий круглую намагничивающую катушку (внешний диаметр датчика – 56 мм). Исследования проводились на прямоугольных холоднокатаных образцах стали 35 размерами 200×200 мм и толщиной 1,5 мм с различной температурой отжига T_0 . Измерения на каждом из образцов выполнялись в четырех эквивалентных областях (в углах прямоугольника), для которых в идеальном случае результаты должны быть одинаковы и зависеть только от точности используемых приборов. На практике, как показано в [3], такой экспериментальный подход может обеспечить надежность результатов исследований и проведение отбраковки образцов и изделий по величине неоднородности их свойств.

Измерения выполнялись с двух сторон образцов (верхней и нижней), а отклонение градиентов δ вычислялось, как разница между градиентом на верхней и нижней поверхностях, деленное на их среднее значение. Результаты отклонений градиентов δ представлены на рис. 1.



Значения δ : ● – максимальные; ■ – усредненные абсолютные; ◆ – усредненные с учетом знака; ▲ – минимальные

Рис. 1. Варианты вычисленных отклонений градиентов δ напряженностей магнитных полей в зависимости от температуры отжига T_0 образца

Использование значений градиентов для задач неразрушающего контроля зависит от решаемых проблем, требований заказчика и многих других причин. Так, образец с температурой отжига 750 °С может быть признан в большинстве случаев непригодным, как имеющий большую неоднородность структуры.

Кроме того, проводились также измерения в четырёх симметричных областях для образца на углах последовательно. Результаты измерений градиентов напряженностей полей представлены на рис. 2.

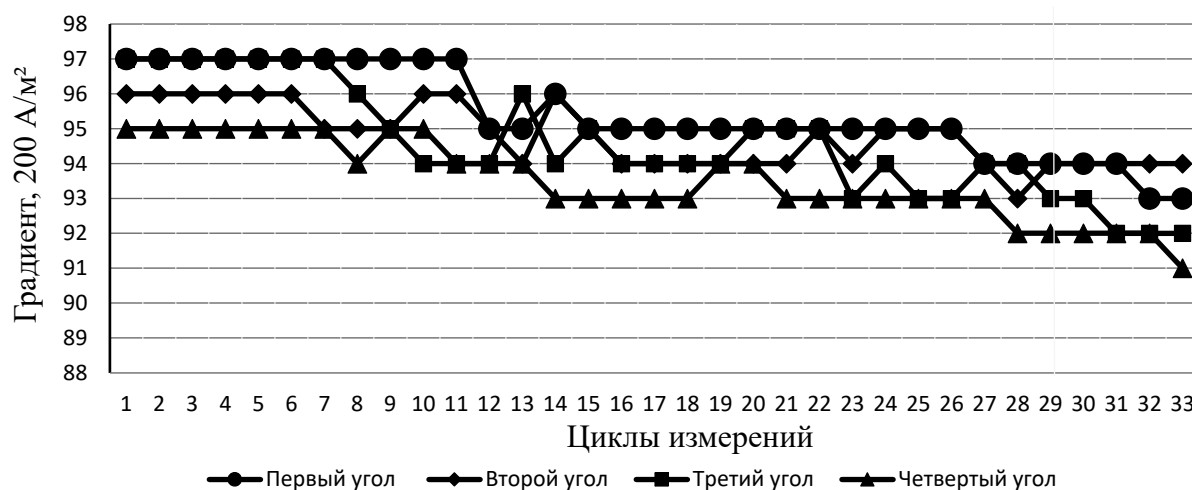


Рис. 2. Проверка повторяемости экспериментальных исследований импульсным магнитным анализатором ИМА-5Б

Из рис. 2 следует, что повторяемость измеряемых значений градиента остаточной индукции находится на уровне процента и менее. То есть повторяемость измерений на углах образца может быть обеспечена, поэтому полученные при этом значения градиента поля являются параметрами, которые объективно характеризуют уровень неоднородности конкретного образца.

Тем не менее наблюдается тенденция к спаду измеряемых значений градиента напряженности поля, которую можно объяснить нагревом намагничивающих обмоток датчика из-за прохождения через них импульсов тока, что следует учитывать при выборе интенсивности измерений для обеспечения большей их точности.

Следовательно, рассмотренный подход обеспечивает увеличение надежности выпускаемой продукции, но предполагает проведение дополнительных и более тщательных исследований при контроле на производстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Михеев, М. Н.** Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов. – Москва: Наука, 1993. – 252 с.
2. Импульсный магнитный анализатор ИМА-5Б / М. А. Мельгуй [и др.] // Научно-технические достижения. – 1990. – № 4. – С. 41–44.
3. **Счастный, А. С.** Исследование возможности контроля анизотропии листового проката / А. С. Счастный, А. А. Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2014. – № 3. – С. 20–33.

УДК 620.179.14

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА «ТОЧЕЧНОГО ПОЛЮСА» ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТАЦИИ ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

С. Г. САНДОМИРСКИЙ, А. Л. ВАЛЬКО, С. П. РУДЕНКО

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Для обеспечения требуемого ресурса зубчатых колес регламентируют поверхностную твердость и эффективную толщину $h_{\text{эфф}}$ цементованного слоя [1]. Эти величины определяют прочность и технологию термообработки цементируемых зубчатых колес. Прямые методы определения механических свойств и структуры являются разрушающими. Их не используют для контроля качества изделий, предназначенных для эксплуатации. Разработке достоверной и надежной методики неразрушающего контроля $h_{\text{эфф}}$ посвящен настоящий доклад.

Известны акустические и магнитные методики определения толщины упрочненного слоя [2]. В [2], например, показано, что изменение ее величины в наибольшей степени влияет на напряженность тангенциальной составляющей поля на поверхности объекта в межполюсном пространстве постоянного магнита, а изменение физико-механических свойств слоя – на величину магнитного потока в цепи «преобразователь – объект». Это различие магнитных параметров предложено использовать для селективного контроля качества поверхностного упрочнения.

Но для цементованного слоя важен лишь один параметр – его эффективная толщина $h_{\text{эфф}}$, за которую принимают металлографически определяемое расстояние от поверхности до области с содержанием 0,35 % С, а после закалки – расстояние от поверхности до зоны, имеющей твердость 50 HRC [1]. Поэтому возможна разработка более простого неразрушающего метода контроля качества цементации, основанного на использовании метода «точечного полюса».

В [3] исследовано влияние продолжительности цементации образцов из стали 18ХГТ, используемой для изготовления зубчатых колес трансмиссий мобильных машин, на $h_{\text{эфф}}$ диффузионного слоя. Установлено совпадение $h_{\text{эфф}}$ до и после закалки. С применением прибора «Сортировщик магнитный МС-1», измеряющего градиент $\nabla H_{\perp}$ нормальной составляющей поля остаточной намагниченности над местом контакта полюса постоянного магнита с поверхностью металла, установлена (рис. 1) зависимость между $h_{\text{эфф}}$ исследованных образцов и $\nabla H_{\perp}$.

Статистическая обработка результатов исследований проведена в программе Microsoft-XL. Полученные результаты показали, что между $h_{\text{эфф}}$ исследованных образцов и $\nabla H_{\perp}$ имеется тесная корреляционная зависимость, которая имеет более выраженный характер (увеличение $h_{\text{эфф}}$ вызывает большее увеличение $\nabla H_{\perp}$) при использовании прибора МС-1 до закалки изделий (см. рис. 1).

Это объясняется увеличением коэрцитивной силы стали при закалке снижением глубины ее намагничивания постоянным магнитом преобразователя прибора МС-1.

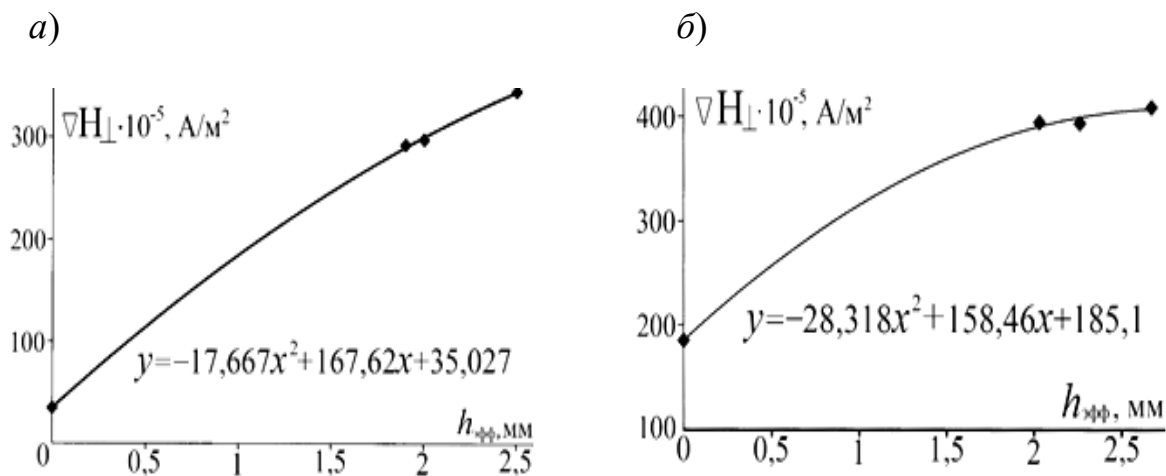


Рис. 1. Линии тренда (полиномы 2-й степени) зависимостей показаний ($\nabla H_{\perp}, 10^{-5} \text{ A/m}^2$) прибора МС-1 от $h_{\text{эфф}}$ цементованного слоя после цементации (а) и после цементации и закалки (б) образцов из стали 18ХГТ

Глубина и локальность промагничивания изделия может быть увеличена использованием разработанного преобразователя [4], в котором стержневой постоянный магнит помещен в жестко с ним скрепленный полузамкнутый магнитомягкий экран, плоскость расположения торцевой поверхности которого совпадает с плоскостью рабочей поверхности магнита, а толщина экрана обеспечивает концентрацию в нем практически всего магнитного потока от постоянного магнита.

Полученные результаты являются предпосылкой разработки методики неразрушающего контроля процесса цементации зубчатых колес трансмиссий мобильных машин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СТБ 2307–2013.** Поверхностно-упрочненные слои металлических деталей. Методы измерения толщины. – Минск: Госстандарт, 2013. – 16 с.
2. Селективный магнитный контроль толщины и степени упрочнения поверхностных слоев на стальных объектах / А. В. Бызов [и др.] // Дефектоскопия. – 2021. – № 12. – С. 39–45.
3. **Сандомирский, С. Г.** Анализ влияния продолжительности цементации на эффективную толщину цементованного слоя и магнитный параметр стали 18ХГТ после закалки / С. Г. Сандомирский, А. Л. Валько, С. П. Руденко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2020. – № 3. – С. 71–77.
4. Устройство для локального намагничивания изделия из ферромагнитного материала: пат. ВУ 25573 / С. Г. Сандомирский. – Опубл. 30.12.2021.

УДК 530.18:535

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

А. В. ХОМЧЕНКО, И. У. ПРИМАК
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При эксплуатации элементов оптики и электроники в условиях переменных или больших термических нагрузок необходимы данные о теплофизических постоянных оптических материалов. В работе рассмотрена возможность определения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности оптических материалов методом поляризационной интерферометрии. В рамках решения термоупругой задачи для случая пластины из стекла получены асимптотические разложения компонент тензора напряжений, которые позволили установить динамическую зависимость распределения коэффициента пропускания света и величины механических напряжений от температуры исследуемого объекта (рис. 1). На основе установленной зависимости выполнено численное моделирование пропускания света с длиной волны 0,63 мкм при изменении температуры от $T_0 = 600$ К до $T_c = 273$ К. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что наибольшие различия между напряжениями регистрируются вблизи края листа стекла.

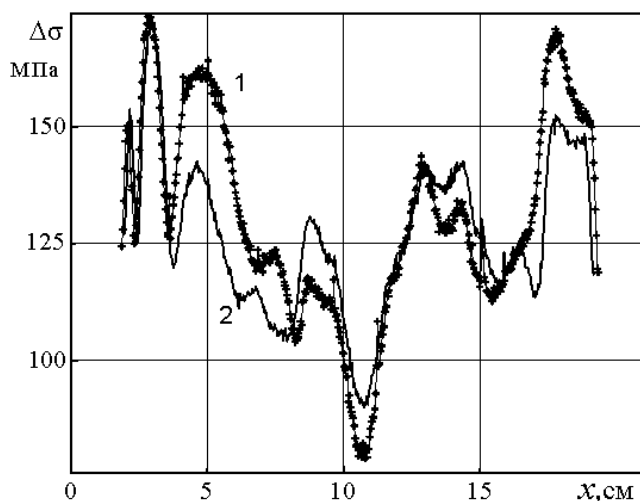


Рис. 1. Зависимость распределения механических напряжений в плоскости закаленного стекла при его нагреве: кривая 1 – 25 °C; кривая 2 – 45 °C

Предложена методика определения коэффициента температуропроводности и коэффициента теплопроводности на основе обработки распределения коэффициента пропускания стекла с использованием метода наименьших квадратов. Обработка распределений пропускания света продемонстрировала возможность определения температурных постоянных с погрешностью ~ 10 %.

УДК 535.5 + 621.658.011: 620.1

ИЗМЕРЕНИЕ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ В ЖК-ПЛЕНКАХ

А. В. ХОМЧЕНКО, И. У. ПРИМАК, Е. В. ПИВОВАРОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Измерение двулучепреломления анизотропных сред представляет определенный интерес в случае использования неоднородных анизотропных материалов, примерами которых могут служить пленки полимеризованных жидких кристаллов (рис. 1, а).

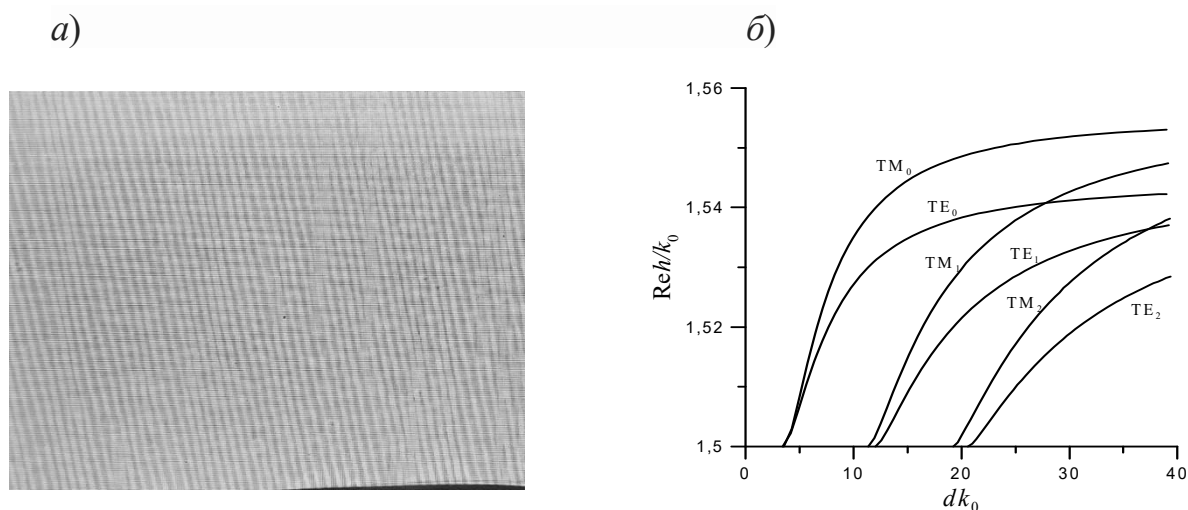


Рис. 1. Зависимости постоянной распространения моды (б) от толщины слоя жидких кристаллов и его изображение в поляризованном свете (а)

С этой точки зрения методы волноводной спектроскопии могут оказаться эффективными для исследования свойств таких структур. В работе представлены результаты развития данного подхода для случая анизотропного слоя на изотропной подложке. Ориентация оптической оси в слое задается вектором $\mathbf{c} = (\sin \theta_c \sin \alpha_c, \cos \theta_c, \sin \theta_c \cos \alpha_c)$. Плоскость падения и отражения света можно расположить так, чтобы по отношению к ней $\alpha_c = 0$. Если систему координат связать с этой плоскостью (тогда плоскость падения и отражения света совпадет с плоскостью YOZ), то компоненты тензора диэлектрической проницаемости можно записать в виде

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \varepsilon_o; \quad \varepsilon_{yy} = \varepsilon_o + \Delta \varepsilon \cos^2 \theta_c; \quad \varepsilon_{zz} = \varepsilon_o + \Delta \varepsilon \sin^2 \theta_c; \quad \varepsilon_{xz} = \varepsilon_{zx} = 0; \\ \varepsilon_{yz} &= \varepsilon_{zy} = \Delta \varepsilon \sin \theta_c \cos \theta_c; \quad \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = 0; \quad \Delta \varepsilon = \varepsilon_l - \varepsilon_o. \end{aligned}$$

Тогда анализ отражения света от верхней и нижней границ слоя позволяет сформулировать дисперсионные уравнения:

– для ТЕ-мод

$$dk_0 k_{yw}^o = \arctg \frac{k_{yg}}{k_{yw}^o} + \arctg \frac{k_{ys}}{k_{yw}^o} + m\pi, \quad m = 0, 1, \dots;$$

– для ТМ-мод

$$dk_0 k_{yw}^e = \arctg \frac{\varepsilon_o \varepsilon_e}{\varepsilon_g \varepsilon_{yy}} \frac{k_{yg}}{k_{yw}^e} + \arctg \frac{\varepsilon_o \varepsilon_e}{\varepsilon_s \varepsilon_{yy}} \frac{k_{ys}}{k_{yw}^e} + m\pi, \quad m=0,1,\dots,$$

где

$$k_{yw}^o = \sqrt{\varepsilon_{xx} - (\text{Re } h / k_0)^2}; \quad k_{yw}^e = \sqrt{\frac{\varepsilon_o \varepsilon_e}{(\varepsilon_{yy})^2} (\varepsilon_{xx} - (\text{Re } h / k_0)^2)};$$

$$k_{yg} = \sqrt{(\text{Re } h / k_0)^2 - \varepsilon_g}; \quad k_{ys} = \sqrt{(\text{Re } h / k_0)^2 - \varepsilon_s};$$

ε_s – диэлектрическая проницаемость подложки; ε_g – диэлектрическая проницаемость среды над слоем (как правило, воздух); d – толщина слоя; $k_0 = 2\pi / \lambda$; λ – длина волны.

На рис. 1, б представлены результаты решения таких дисперсионных уравнений для различных мод анизотропного слоя жидких кристаллов на ТАЦ-подложке при $\theta_c = 0^\circ$.

Как видно, анизотропия существенно влияет на постоянную распространения мод (особенно мод ТМ-поляризации). Это позволяет определить параметры анизотропного слоя на основе измерения призмным методом действительных постоянных распространения мод ТЕ- и ТМ-поляризации на основе минимизации функционала

$$I(\varepsilon_o, \Delta\varepsilon, d) = \sum_{\rho=0}^1 \sum_{m=0}^n \left(\text{Re } h_{\rho,m}^e - \text{Re } h_{\rho,m}^t(\varepsilon_o, \Delta\varepsilon, d) \right)^2,$$

где $\text{Re } h_{\rho,m}^e$ – измеренные действительные части постоянной распространения при заданных номере m и поляризации моды ρ ($\rho = 1, 2$); $\text{Re } h_{\rho,m}^t(\varepsilon_o, \Delta\varepsilon, d)$ – рассчитанные значения постоянных распространения мод на основе дисперсионных уравнений для заданных параметров анизотропии.

Исследованы возможности метода определения двулучепреломления в анизотропном слое, основанного на регистрации и обработке пространственного распределения интенсивности светового пучка, отраженного от призмного устройства связи при возбуждении волноводных мод в тонкопленочной структуре. Величина двулучепреломления измерена также методом поляризационной интерферометрии [1]. Получена удовлетворительная корреляция результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хомченко, А. В. Поляризационная интерферометрия неоднородных анизотропных сред / А. В. Хомченко, И. У. Примак, А. Н. Василенко // Изв. ГГУ им. Ф. Скорины. – 2017. – № 6. – С. 152–157.

УДК 620.179.14

ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПЛАСТИЧЕСКИ
ДЕФОРМИРОВАННОЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т

А. В. ЧЕРНЫШЁВ, В. И. ШАРАНДО, Н. В. КРЕМЕНЬКОВА

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Высоколегированные нержавеющие аустенитные стали в исходном состоянии имеют преимущественно парамагнитную γ -структуру. Их механическая обработка может приводить к формированию ферромагнитной α' -фазы – мартенсита деформации, что приводит к изменению эксплуатационных характеристик выполненных из этих материалов изделий. В [1] нами рассмотрена возможность изучения процессов пластической деформации стали 12Х18Н10Т с помощью вихретокового метода на образцах, изготовленных из листа толщиной 10 мм. В настоящей работе приведены результаты аналогичных исследований для более тонких образцов, вырезанных из поверхностного и глубинного слоев прежнего листа.

Проводились измерения амплитуды U_{am} выходного напряжения накладного вихретокового преобразователя, состоящего из трех расположенных соосно катушек – поля возбуждения, измерительной и компенсационной. Две последние располагались у торцов катушки поля возбуждения и были включены дифференциально между собой. Наружный диаметр всех катушек – 10 мм. По катушке поля возбуждения пропусклся синусоидальный ток частотой 2,5 кГц.

Образцы были изготовлены следующим образом. Из наружного и срединного слоев листа из стали 12Х18Н10Т толщиной 10 мм в состоянии поставки вырезались пластинки размером 20 × 20 мм и толщиной около 2 мм. После этого они были шлифованы до толщин 1,4...1,5 мм. Затем их прокатывали при комнатной температуре во взаимно перпендикулярных направлениях с обеспечением последовательного ряда степеней пластической деформации. Степень пластической деформации ε определена нами как изменение (в процентах) толщины образца после деформирования относительно начальной. Приборные измерения проводились на пластинках из заданного слоя (т. е. поверхностного или внутреннего) с одинаковой степенью деформации, сложенных в образцы суммарной толщиной 3...4 мм. Образцы составлялись из нескольких пластинок для устранения влияния на измеряемый сигнал толщины стали в случаях, когда она меньше глубины информативной зоны преобразователя.

На рис. 1 приведены зависимости величины U_{am} (в условных единицах) от ε для образцов, вырезанных из внешнего и внутреннего слоев стального листа.

Амплитуда U_{am} зависит от начальной магнитной восприимчивости χ_{in} контролируемого образца. Рост U_{am} на начальном этапе увеличения ε объясняется возрастанием χ_{in} за счёт роста процентного содержания в образцах

ферромагнитной α' -фазы [2]. Уменьшение чувствительности U_{am} к изменениям ε во второй части её диапазона объясняется уменьшением χ_{in} с возрастанием плотности дислокаций [3]. Указанные процессы протекают более значимо во внутренних слоях стального листа в силу их менее интенсивной исходной заковки.



Рис. 1. Зависимость амплитуды выходного напряжения от степени деформации внешних (1) и внутренних (2) слоёв стального листа

Таким образом, по измерениям U_{am} возможен контроль в широком диапазоне степени деформации образцов из стали 12X18H10T, однако следует учитывать, что структуры, расположенные внутри изделий, могут иметь электромагнитные характеристики, отличные от наружных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышёв, А. В. Использование вихретокового метода контроля при изучении процесса пластического деформирования стали 12X18H10T / А. В. Чернышёв, В. И. Шарандо, Н. В. Кременькова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 22–23 апр. 2021 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 304–305.
2. 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.
3. Jiles, D. Magnetism and Magnetic Materials / D. Jiles. – London; New York: CRC Press, 2016. – 576 p.

УДК 535.42; 004.94

РАСЧЕТ ОПТИЧЕСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ КАРТИН В ПРОЦЕССЕ РОСТА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

П. Я. ЧУДАКОВСКИЙ, Н. С. МАНКЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В данной работе представлены результаты компьютерного моделирования дифракции оптического излучения в процессе роста одиночных прозрачных кристаллических частиц (микрористаллов) в жидкой среде. В рамках проведенного моделирования в качестве кристаллов рассматривался фазовый объект в виде двумерной фазовой ступеньки прямоугольного типа. Взаимодействие светового излучения с таким фазовым объектом описывалось дифракционным интегралом Френеля – Кирхгофа [1].

В качестве жидкой среды рассматривалась вода с показателем преломления $n_0 = 1,33$. Предполагалось, что кристалл обладал кубической формой, а его показатель преломления принимался равным $n = 1,5$. Во всех представленных ниже численных эксперимента виртуальный экран, на котором регистрировалась дифракционная картина, располагался на расстоянии $z = 1$ м от кристалла. Для плоской монохроматической волны, падающей нормально к грани кристалла и испытывающей дифракцию на кристалле, длина волны составляла $\lambda = 0,6328$ мкм.

Так, на рис. 1 представлены результаты визуализации двумерного распределения интенсивности оптического излучения в дифракционной картине, возникающей в процессе равномерного роста кристалла.

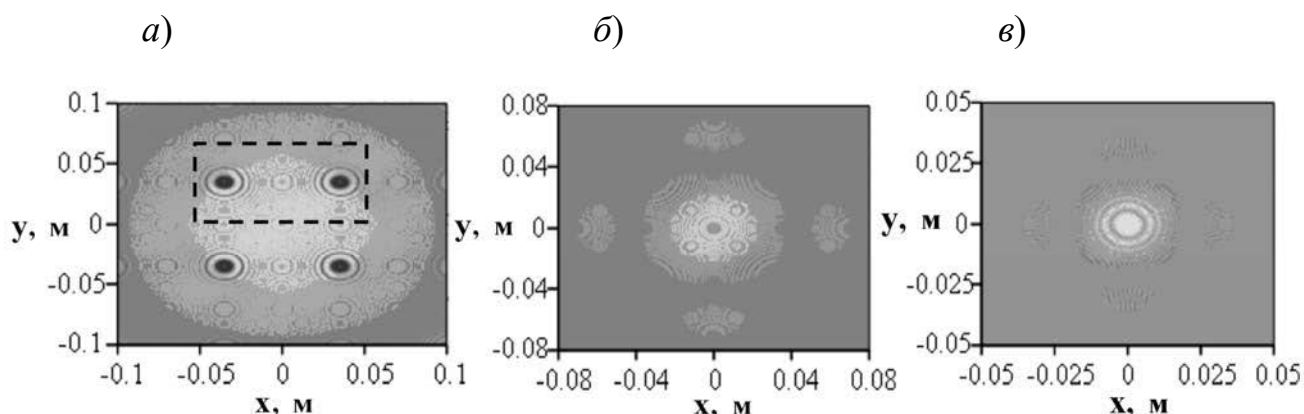


Рис. 1. Компьютерное моделирование двумерного пространственного распределения интенсивности светового излучения, возникающего вследствие его дифракции на прозрачном микрористалле кубической формы с ребром длиной L : а – для кристалла длиной $L = 5$ мкм; б – для кристалла длиной $L = 15$ мкм; в – для кристалла длиной $L = 30$ мкм

Как видно из рис. 1, а, для кристалла с ребром $L = 5$ мкм дифракционная картина характеризуется семейством кольцевых интерференционных полос симметрично расположенных относительно центра картины. По мере роста

кристалла в центре дифракционной картины формируются интерференционные кольца. Для кристалла с ребром $L=15$ мкм в центре картины наблюдается темное пятно, заключенное в светлое кольцо, в то время как для кристалла с ребром $L=30$ мкм в центре возникает светлое пятно, ограниченное темным кольцом. Такое поведение интенсивности в центре картины связано с изменением фазы волны.

Одномерные распределения интенсивностей оптического излучения, относящиеся к модельным дифракционным картинам на рис. 1, представлены на рис. 2.

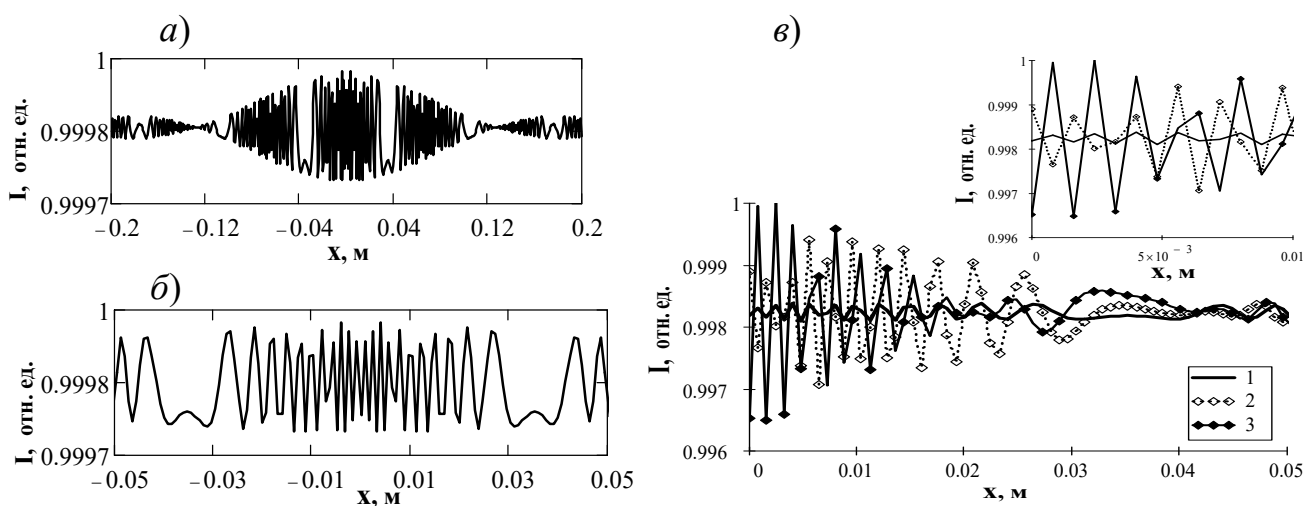


Рис. 2. Одномерные распределения интенсивностей оптического излучения, соответствующие дифракционным картинам на рис. 1: *a* – усредненная интенсивность света для дифракционной картины на рис. 1, *a* в пределах области, выделенной штриховой линией; *б* – её увеличенный масштаб; *в* – сравнение интенсивностей; 1 – кристалл с ребром $L=5$ мкм; 2 – кристалл с ребром $L=15$ мкм; 3 – кристалл с ребром $L=30$ мкм; на вставке – увеличенная область для $0 \leq x \leq 0,01$ м

Рис. 2, *a*, *б* характеризуют усредненную интенсивность света в дифракционной картине для области, выделенной штриховой замкнутой линией на рис. 1, *a*. На этих рисунках видны участки подавления интенсивности света. Зависимости, приведенные на рис. 2, *в*, соответствуют распределениям интенсивностей вдоль линии $y=0$ на виртуальном экране с дифракционными картинами (см. рис. 1). Как видно, значения интенсивностей имеют существенные различия.

В заключение отметим, что в рамках предложенного подхода можно попытаться произвести расчет оптических дифракционных полей при повороте и смещении кристалла, учесть его поглощающие свойства, что является предметом дальнейших исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Amiri, M.** Fresnel diffraction from 1D and 2D phase steps in reflection and transmission modes / M. Amiri, M. Tavassoly // Optics Communications. – 2007. – Vol. 272, № 2. – P. 349–361.

УДК 620.179.14 +537.322.11

МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИЙ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ
ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННОЙ СТАЛИ 12X18H10T

В. И. ШАРАНДО, А. В. ЧЕРНЫШЁВ,
Н. В. КРЕМЕНЬКОВА, А. А. ПОЛОНЕВИЧ
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

При механико-термической обработке аустенитных сталей в них может формироваться отличающаяся по физическим свойствам от исходной структуры ферромагнитная α -фаза. В [1] рассмотрена возможность применения магнитодинамических толщиномеров и приборов для измерения термоЭДС для контроля структурных изменений в стали 12X18H10T. Показано, что указанные средства неразрушающего контроля позволяют определять степень её пластической деформации. При этом они характеризуют состояние её поверхностного слоя. Целью настоящей работы является получение таких зависимостей для структур, расположенных как на поверхности, так и в глубине изделий из стали 12X18H10T.

Из наружного и срединного слоёв стального листа толщиной 10 мм в состоянии поставки вырезаны пластинки размером 20×20 мм, толщиной около 2 мм и прошлифованы до толщин 1,4...1,5 мм. Затем их прокатывали при комнатной температуре во взаимно перпендикулярных направлениях с обеспечением последовательного ряда степеней пластической деформации. Приборные измерения проводились на образцах, сложенных из пластинок заданного слоя с одинаковой степенью деформации, суммарной толщиной 3...4 мм. Применение более тонких образцов может приводить к существенным ошибкам измерений, обусловленным достаточно глубокой информативной зоной магнитодинамического толщиномера.

Для выполнения работы использовался магнитодинамический толщиномер МТЦ-3-2 [2], обеспечивающий регистрацию изменения магнитного потока в индукционной катушке, охватывающей стержневой магнит, при его контакте и затем удалении от ферромагнетика. Энергия магнита, изготовленного из высококоэрцитивного материала NdFeB, составляла 45 мДж. ТермоЭДС измерялась прибором ПИТ-2 [3] 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-3-2 и термоэлектрического прибора ПИТ-2 от степени деформации образцов, вырезанных из внешнего и внутреннего слоёв стального листа 12X18H10T.

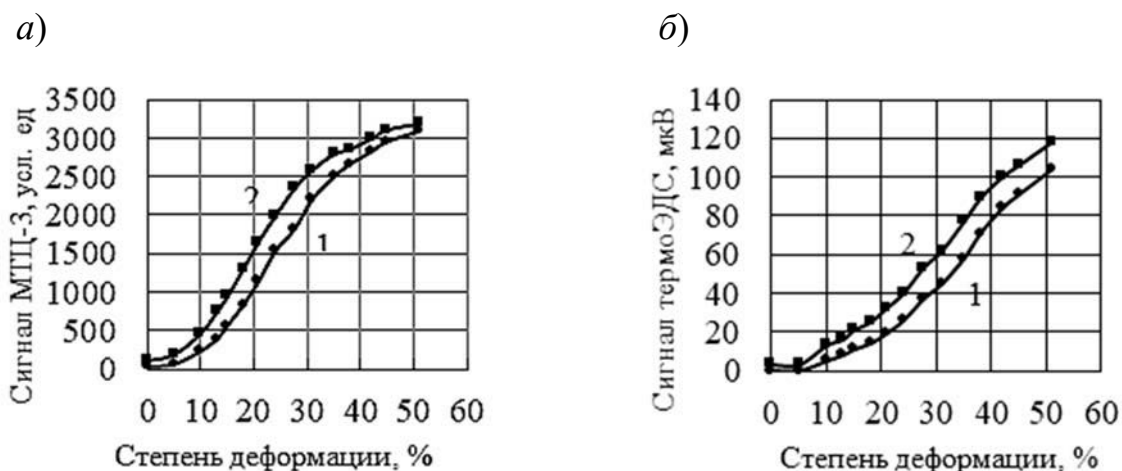


Рис. 1. Зависимость сигналов магнитодинамического прибора МТЦ-3-2 (а) и термоэлектрического прибора ПИТ-2 (б) от степени деформации образцов из внешних (1) и внутренних (2) слоёв стального листа

Рост показаний магнитодинамического прибора с увеличением степени деформации образцов связан с активным образованием в них при этом магнитной фазы. Изменение термоэлектрического сигнала также указывает на появление и возрастание количества новой фазы. Изменения более сильны во внутренних слоях изделия в силу их менее интенсивной исходной закалки и, возможно, уже наличия в них зачатков новых структур.

Использование полученных результатов позволяет создавать необходимые методики контроля аустенитных сталей с помощью магнитодинамических и термоэлектрических приборов. При этом следует учитывать, что структуры глубинных и внешних слоёв могут отличаться по магнитным и иным физическим свойствам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарандо, В. И. Использование магнитодинамического и термоэлектрического методов контроля при изучении процесса пластического деформирования стали 12Х18Н10Т / В. И. Шарандо, А. В. Чернышёв, Н. В. Кременькова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 22–23 апр. 2021 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 310–311.
2. Лухвич, А. А. Магнитные толщиномеры нового поколения / А. А. Лухвич // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2010. – № 4. – С. 3–15.
3. Шарандо, В. И. Перспективы термоэлектрического метода в исследовании свойств металлов и поверхностных слоев / В. И. Шарандо // Достижения физики неразрушающего контроля: сб. науч. тр., посвящ. 40-летию ИПФ НАН Беларуси. – Минск, 2003. – С. 99–118.

УДК 621.372.8:535

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОК ТИТАНАТА БАРИЯ С ЭРБИЕМ

А. В. ШУЛЬГА¹, Е. А. ЧУДАКОВ², Н. И. СТАСЬКОВ²¹Белорусско-Российский университет²Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова
Могилев, Беларусь

В последнее время большое внимание уделяется золь-гель-технологии получения пленок из материалов перовскитной структуры и исследованию их оптических свойств. В данной работе представлены результаты определения ширины запрещенной зоны E_g , энергии Урбаха E_u , коэффициента поглощения α , показателей преломления n и экстинкции k пленок чистого титаната бария BaTiO_3 и пленок BaTiO_3 , легированных эрбием $\text{BaTiO}_3;\text{Er}$. Пленки наносились при одинаковых условиях на миллиметровую подложку из плавленого кварца КУ1, прозрачного в УФ и видимой области спектра. Спектры отражения и пропускания (SRT) двух образцов измеряли на спектрометре PHOTON RT (EssentOptics). Углы ψ и Δ измеряли на эллипсометре UVISEL2 (HORIBA, Франция). Оптические характеристики пленок рассчитаны по параметрам дисперсионной функции новых аморфных материалов (NAM) [1]:

$$\begin{aligned} n_f(E) &= n_\infty + [B(E - E_j) + C] \left[(E - E_j)^2 + \Gamma_j^2 \right]^{-1}; \\ k_f(E) &= \begin{cases} f_j(E - E_g)^2 \left[(E - E_j)^2 + \Gamma_j^2 \right]^{-1}; & E > E_g; \\ 0 & E < E_g, \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

где $B = f_j \Gamma_j^{-1} [\Gamma_j^2 - (E_j - E_g)^2]$; $C = 2f_j \Gamma_j (E_j - E_g)$; n_∞ – показатель преломления, соответствующий нулевой энергии фотона; E_j – энергия фотона, на которую приходится максимум полосы поглощения; f_j – упругая постоянная осциллятора; Γ_j – полуширина полосы поглощения; E_g – энергия фотона, на которую приходится край полосы поглощения.

Параметры функции NAM и толщины пленок приведены в табл. 1. Ширину запрещенной зоны E_{ga} исследуемых пленок определяли графически (рис.1) на основании функции Тауца с коэффициентом поглощения α , см^{-1} (λ , мм).

$$(\alpha E)^m = A_0(E - E_{ga}); \alpha = 4\pi k(\lambda 10^{-7})^{-1}. \quad (2)$$

Линейный участок $(\alpha E)^m$ был достигнут в двух случаях: $m = 0,5$ (а) и $m = 2$ (б) (см. табл. 1). Оказалось, что наибольшая разность энергий ΔE линейной функции $(\alpha E)^m$ соответствует $m = 0,5$ (см. рис. 1). Это указывает на

преобладание непрямых межзонных переходов над прямыми межзонными переходами электронов. Можно предположить, что надмолекулярная структура пленок является аморфно-кристаллической с малым содержанием кристаллической части. Для всех пленок $E_g < E_{g\alpha}$. Разность $E_u = (E_{g\alpha} - E_g)$ является энергии Урбаха. Ее величина указывает на наличие дефектов в структуре пленок. Энергия E_u при легировании пленок BaTiO₃ уменьшается от 0,24 до 0,2 эВ.

Табл. 1. Оптические характеристики и толщины пленок

sample	n_∞	E_g , эВ	f_j	E_j , эВ	Γ_j , эВ	d_f	E_{ga} , эВ		n
BaTiO ₃	$1,854 \pm 0,002$	$3,614 \pm 0,005$	$0,188 \pm 0,001$	$4,669 \pm 0,004$	$0,797 \pm 0,003$	$96,2 \pm 0,1$	a	$(3,85 \pm 0,01)$	1,932
							b	$(4,49 \pm 0,01)$	
BaTiO ₃ ; Er	$1,757 \pm 0,004$	$3,711 \pm 0,3009$	$0,255 \pm 0,004$	$4,802 \pm 0,01$	$1,059 \pm 0,008$	$35,9 \pm 0,1$	a	$(3,91 \pm 0,01)$	1,826
							b	$(4,73 \pm 0,01)$	

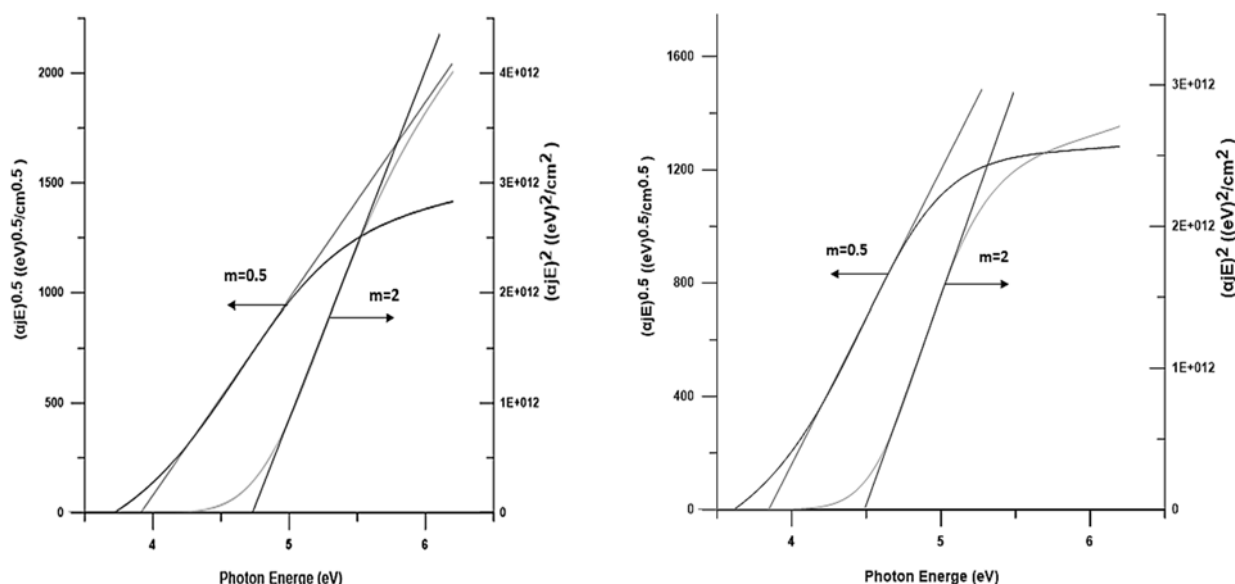


Рис. 1. Зависимость функции Тауца от энергии фотонов

Пленки BaTiO₃; Er характеризуются большей шириной запрещенной зоны и меньшими показателями преломления, чем соответствующие характеристики пленок BaTiO₃.

Работа выполнена в рамках ГПНИ РБ 1.15 «Фотоника и электроника для инноваций».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Horiba UVISEL PLUS Spectroscopic Ellipsometer [Electronic resource] // HORIBA. – Mode of access: www.horiba.com/scientifi. – Date of access: 22.01.2022.

УДК 621.3:658.34

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ МАРКИРОВКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ СРЕД

В. Н. АБАБУРКО¹, П. Ф. НИКИТИН¹, Е. М. КАЗАК²¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Департамент по надзору за безопасным ведением работ в промышленности

(Госпромнадзор)

Минск, Беларусь

При проектировании, монтаже и эксплуатации оборудования взрывоопасных производств одной из главных задач является обеспечение требований промышленной безопасности. Одно из основных требований промышленной безопасности – это требование к наличию маркировки взрывозащиты на оборудовании, предназначенного для применения во взрывоопасных средах, которая должна соответствовать Техническому регламенту ТР ТС 012/2011. Такая маркировка включает символьное обозначение уровня и видов взрывозащиты, а также категории, группы (подгруппы) и температурного класса оборудования. Она применяется более 40 лет и по сути является классической.

Современные компьютерные системы обработки данных позволяют автоматизировать процесс сканирования и идентификации классической маркировки взрывозащиты при условии достаточного качества и полноты ее изображения, а также достаточного уровня освещенности. Однако большинство взрывозащищенного оборудования располагается на промышленных площадках и в составе технологических установок химических, нефтеперерабатывающих и иных производств. Поэтому таблички с маркировкой могут подвергаться действиям химически агрессивных сред, грязи, пыли или быть покрыты защитной пленкой. Это сильно затрудняет не только автоматическую идентификацию параметров взрывозащиты, но визуальное ее восприятие. Кроме того, в процессе эксплуатации часть символов маркировки может быть повреждена из-за внешних воздействий. Указанные факторы могут привести к достаточно продолжительной по времени или неправильной идентификации параметров взрывозащиты при ремонте или техническом обслуживании действующих установок.

Для устранения проблем с идентификацией маркировки взрывозащиты и повышению уровня автоматизации идентификации параметров взрывозащиты оборудования и контроля их соответствия взрывоопасным средам, в которых применяется оборудование взрывоопасных производств с газовоздушными средами, научно-исследовательская лаборатория «Взрывозащищенное электрооборудование» (НИЛ «ВЗЭО») Белорусско-Российского университета при взаимодействии с представителями Департамента по надзору за безопасным

ведением работ в промышленности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госпромнадзор) предлагают наносить дополнительную маркировку. Указанная дополнительная маркировка выполняется на основе свободного матричного штрихового кода QR-кода (Quick Response code). Следует использовать 40-й вариант размера QR-кода с кодированием алфавитно-цифровой информации в соответствии с ISO/IEC 8859-1 с 30-процентной избыточностью (для восстановления частично нечитаемых данных). Это позволяет сохранять до 2 кБ данных по безопасной эксплуатации, в которых содержится:

- 1) символная классическая маркировка взрывозащиты, выполненная в соответствии с требованиями ТР ТС 012/2011;
- 2) наименование модели оборудования;
- 3) номер сертификата на соответствие определенным стандартам ТР ТС 012/2011;
- 4) серийный номер оборудования;
- 5) дата ввода в эксплуатацию – для контроля ресурса оборудования (наиболее важно для элементов измерительных систем);
- 6) диапазон допустимой температуры эксплуатации;
- 7) степень защиты оболочки оборудования от проникновения твердых тел и воды (код IP);
- 8) климатическое исполнение и код размещения;
- 9) дополнительная информация (например, уровень функциональной безопасности SIL).

Дополнительная маркировка наносится с помощью гравировочного станочного оборудования на металлическую табличку, расположенную открыто, или выполняется на пластиковых самоклеящихся печатных материалах для оборудования, малоподверженного воздействию грязи и агрессивных сред, или расположенную в закрытых корпусах (например, внутри вводных устройств). При ремонте оборудования можно использовать вариант исполнения QR-кода на обычной офисной бумаге, которая прикрепляется на части восстанавливаемого оборудования для исключения ошибок при его сборке.

Для чтения дополнительной маркировки вне взрывоопасных зон или при отсутствии взрывоопасной среды можно использовать невзрывозащищенные мобильные компьютерные и сканирующие устройства (смартфоны, планшетные компьютеры и т. п.).

При наличии взрывоопасной среды следует использовать сканирующие устройства с маркировкой взрывозащиты, допускающей их использование в конкретной взрывоопасной среде, имеющие сертификат соответствия Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 012/2011 «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах».

УДК 621.3:658.34

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ СРЕД

В. Н. АБАБУРКО¹, Л. Г. ЧЕРНАЯ¹, А. Е. САЗОНКО²¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Департамент по надзору за безопасным ведением работ в промышленности

(Госпромнадзор)

Минск, Беларусь

При эксплуатации взрывозащищенного оборудования во взрывоопасных зонах важной проблемой является контроль требований промышленной безопасности. В процессе эксплуатации взрывозащищенное электрооборудование должно периодически проходить техническое обслуживание, по результатам которого выполняется текущий его ремонт или выполняется вывод оборудования из эксплуатации для передачи его в капитальный ремонт или на утилизацию. Эти операции должны включать некоторые обязательные процедуры контроля параметров взрывозащиты в соответствии с требованиями Технического регламента ТР ТС 012/2011. Результаты указанного контроля фиксируются в ряде обязательных документов: паспортах эксплуатации, журналах проведения осмотров, приема и выдачи в ремонт.

Для достаточно больших производств с разветвленной структурой технологического оборудования указанные выше мероприятия должны быть автоматизированы с использованием корпоративной компьютерной сети предприятия. Это объясняется большим количеством и разнообразной номенклатурой оборудования для взрывоопасных сред таких предприятий, эксплуатирующихся в различных подразделениях. Требуется координация и согласование внутренних документов при передаче оборудования (например, резервного) между различными подразделениями предприятия. Указанная проблема требует выделения отдельных высококвалифицированных специалистов, которые осуществляют централизованный контроль за соответствием процесса эксплуатации и ремонтов требованиям ТР ТС 012/2011 и координацию действий различных подразделений. В случае болезни или перехода на другую работу таких специалистов возникают проблемные ситуации, которые могут привести к нарушениям требований промышленной безопасности.

Научно-исследовательская лаборатория «Взрывозащищенное электрооборудование» (НИЛ «ВЗЭО») Белорусско-Российского университета в сотрудничестве с Департаментом по надзору за безопасным ведением работ в

промышленности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госпромнадзор) разработала требования и структуру автоматизированной системы контроля процесса эксплуатации взрывозащищенного оборудования (АСКЭВО). Проектируемая АСКЭВО должна выполнять следующие функции:

- 1) формировать и вести электронные паспорта индивидуальной эксплуатации на каждую единицу взрывозащищенного электрооборудования согласно требованиям ТР ТС 012/2011;
- 2) составлять графики и контролировать сроки выполнения визуального, непосредственного и детального осмотров взрывозащищенного электрооборудования;
- 3) фиксировать текущее состояние параметров взрывозащиты, выполненного при осмотре оборудования и контролировать необходимость их восстановления путем проведения внепланового ремонта;
- 4) составлять графики и журналы текущего ремонта оборудования с целью поддержания работоспособности и автоматически формировать запросы на требуемые комплектующие и материалы для текущего ремонта, что позволит оптимизировать их складские запасы;
- 5) для конкретной модели взрывозащищенного оборудования фиксировать наличие ремонтной документации или формировать заявку на ее приобретение или изготовление (при наличии специализированного подразделения);
- 6) формировать акты передачи в капитальный ремонт в структурное подразделение или внешнюю организацию, имеющую право на выполнение ремонта данного типа взрывозащищенного оборудования;
- 7) фиксировать восстановленные параметры взрывозащиты после приемки взрывозащищенного оборудования из капитального ремонта;
- 8) для контрольно-измерительного взрывозащищенного оборудования – контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) – учитывать график его поверки в ходе эксплуатации;
- 9) принимать решение о выводе взрывозащищенного оборудования из эксплуатации и последующей его передаче на утилизацию или на эксплуатацию в другие подразделения в качестве невзрывозащищенного;
- 10) вести реестр резервного оборудования.

Указанная автоматизированная система может быть реализована в среде современной системы управления базами данных (СУБД), функционирующей в сети предприятия. Специалисты Белорусско-Российского университета готовы оказать содействие в вопросах разработки и сертификации описанной АСКЭВО.

УДК 621.3: 621.791

РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И КОРПУСА РЕГИСТРАТОРА СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

С. В. БОЛОТОВ, Н. К. БОБКОВ, Е. Л. БОЛОТОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Разработаны и изготовлены печатные платы блоков регистратора сварочных процессов РСП-БРУ-01: основного блока, пульта сварщика и блока датчиков. Все платы проектировались в среде Autodesk Eagle. Изготовление плат производилось по технологии фоторезиста с использованием фотошаблонов с последующим покрытием защитной паяльной маской.

Плата блока датчиков является промежуточным звеном между датчиками тока, напряжения и основным блоком регистратора. Главным элементом платы является датчик напряжения LV 25-P/SP5. Для ограничения входного тока датчика использован резистор МЛТ-1 20 кОм 5 %. Для оперативной коммутации устройств применены клеммные разъёмы. Плата пульта сварщика является расширителем, на который устанавливается основное управляющее устройство – Arduino Uno. От неё разведены дорожки на отдельные сменные функциональные блоки, которые установлены на плату: усилитель сигнала термопары, плата интерфейса RS485. Через разъёмы выведены провода на дисплей, датчик влажности, светозвуковой извещатель. Плата основного блока сделана по принципу «шилд». На ней разведена функциональная часть преобразования данных с датчиков для обработки их на АЦП одноплатного компьютера SBC 1788. На плате в качестве шилдов используются: плата интерфейса RS485, GSM-модуль, стабилизатор напряжения для GSM-модуля, RFID-модуль, GPS-модуль, LCD-дисплей. Установлены клеммные разъёмы к пульту сварщика, блоку датчиков, блоку питания и аккумулятору.

Разработаны сборочные чертежи и 3D-модели корпусов основного блока, пульта сварщика и блока датчиков. Все сборочные чертежи и 3D-модели были выполнены в программном пакете Autodesk Fusion 360. При проектировании корпусов принималось во внимание их изготовление посредством гибки металла на специализированном оборудовании, для этого использовался отдельный функциональный раздел программы Sheet metal.

Проведенные производственные испытания регистратора сварочных процессов РСП-БРУ-01 в ПУ «Нефтеспецстрой» при сварке магистральных трубопроводов показали, что корпуса блоков регистратора имеют достаточную степень защиты, а разработанные печатные платы сохраняют свою работоспособность в процессе эксплуатации, в том числе при отрицательных температурах ниже -15°C .

УДК 621.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ПОСТОЯННОГО ТОКА И ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Г. В. БОЧКАРЕВ, В. А. ЛАПИЦКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время имитационное моделирование используется во многих областях науки и техники. При подготовке студентов по (дисциплинам) курсам «Силовая электроника», «Силовая преобразовательная техника», «Теория электропривода» широко используются методы моделирования в программной среде MATLAB и прикладного пакета Simulink.

Имитационное моделирование позволяет значительно сократить время при выполнении анализа работы и синтеза параметров различных электронных устройств и систем. Однако указанные преимущества имитационного моделирования являются эффективными в том случае, если пользователь способен оценить полученные результаты по отношению к реальному объекту. Таким образом, повышение эффективности изучения и применения имитационного моделирования при параллельном использовании с физическим объектом, либо физической моделью.

В качестве апробации данной методики обучения студентов кафедры «Электропривод и АПУ» Белорусско-Российского университета разработан комбинированный стенд для выполнения лабораторных работ и исследования импульсных преобразователей постоянного тока и электроприводов, построенных на их основе. Характерными особенностями стенда являются: возможность изменения параметров звеньев силовой цепи и системы управления физической модели; регистрация временных диаграмм электромагнитных процессов, протекающих в звеньях силового канала диаграмм управляющих воздействий в системе управления, выполняется с помощью цифрового осциллографа.

Такая конструкция позволяет выполнить практически любые настройки физической модели и регистрацию полученных результатов с возможностью длительного хранения и сопоставления с результатами имитационного моделирования.

Последующие исследования объекта могут выполняться осознанно, путем имитационного моделирования.

УДК 621.3

АНАЛИЗ РАБОТЫ ГРУППЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С МАТРИЧНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ

О. А. КАПИТОНОВ, А. С. ТРЕТЬЯКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Развитие производства современных силовых полупроводниковых приборов ведет к возрастающему количеству приборов, управляемых импульсными преобразователями, в частности преобразователями частоты со звеном постоянного тока. Такие преобразователи имеют выпрямитель в качестве входного звена. Выпрямитель является нелинейной нагрузкой, потребляемый им ток от сети содержит гармонические составляющие, кратные частоте питающей сети. В спектре потребляемого таким преобразователем тока выделяются 3, 5, 7 и 9-я гармоники, которые имеют сравнительно низкую частоту, и поэтому не могут достаточно эффективно подавляться простым входным фильтром – сетевым дросселем.

В ходе проведенных исследований установлено, что спектр потребляемого преобразователем тока питающей сети практически не содержит низких гармонических составляющих, кратных частоте 50 Гц, что характерно для традиционных преобразователей частоты со звеном постоянного тока. Отсутствие таких составляющих обусловлено принципом работы матричного преобразователя частоты, который заключается в непосредственном преобразовании входного трехфазного напряжения в выходное другой частоты, без выпрямления трехфазным выпрямителем. При этом искажения формы тока питающей сети обусловлены только импульсным характером работы преобразователя, и имеют гармонические составляющие с частотами, кратными частоте широтно-импульсной модуляции.

В ходе компьютерного моделирования и экспериментальных исследований установлено, что силовая часть матричного преобразователя потребляет импульсный ток, т. е. значение потребляемого тока в каждой из трех фаз входа преобразователя периодически становится равным нулю с частотой ШИМ. Это приводит к наличию большой доли высших гармонических составляющих в спектре входных токов преобразователя с частотами, кратными частоте ШИМ. Для обеспечения электромагнитной совместимости преобразователя с питающей сетью обязательно применение входного фильтра, которым комплектуются все промышленно выпускаемые матричные преобразователи частоты. Поскольку высшие гармонические составляющие имеют относительно высокие частоты, они достаточно эффективно фильтруются простым LC-фильтром, содержащим конденсатор и дроссель в каждой фазе входа преобразователя.

В ходе выполнения работ было проведено исследование гармонического состава токов и напряжений питающей сети при работе группы электроприводов, включающих матричные преобразователи частоты от одной питающей сети. Установлено, что высшие гармонические составляющие

входных токов матричного преобразователя имеют частоты, кратные частоте ШИМ, и начальные фазы, связанные с величиной начальной фазы несущей частоты ШИМ. При этом начальная фаза несущей частоты ШИМ не синхронизирована и не связана с начальной фазой как первой гармоники напряжения питающей сети, так и первой гармоники выходного напряжения преобразователя. Этот факт дает техническую возможность осуществить управление начальной фазой несущей частоты ШИМ у каждого матричного преобразователя в группе электроприводов, питающихся от одной сети, с целью оптимизации и уменьшения величины суммарных для группы высших гармонических составляющих тока питающей сети. Было проведено исследование влияния разницы начальных фаз несущей частоты ШИМ у разных матричных преобразователей, работающих в группе от одной питающей сети на суммарную величину высших гармонических составляющих в спектре тока питающей сети. Методами компьютерного моделирования был проведен ряд вычислительных экспериментов при различном числе электроприводов в группе – два, три, четыре, различной разнице начальных фаз несущей частоты ШИМ, различных режимах работы электроприводов. В ходе проведенных исследований установлено, что при работе двух электроприводов на одну питающую сеть минимальная величина высших гармонических составляющих суммарного тока питающей сети наблюдается при разнице начальных фаз несущей частоты ШИМ, равной 180 эл. град, и скважности ШИМ, равной 50 %, у обоих матричных преобразователей, а максимальная – при разнице 0 эл. град. При иных сочетаниях скважности ШИМ у обоих преобразователей наблюдаются более сложные зависимости величины высших гармонических составляющих суммарного тока сети от разницы начальных фаз несущей частоты ШИМ. Установлено, что для каждой пары значений выходных напряжений преобразователей может быть найдена оптимальная разница начальных фаз, приводящая к минимальной величине высших гармонических составляющих спектра суммарного тока.

Был предложен ряд методик текущей оптимизации величины высших гармонических составляющих суммарного тока группы приводов путем модификации алгоритмов работы системы управления преобразователями, такие как автоматический выбор случайного варианта из ряда заранее заданных значений начальной фазы несущей частоты ШИМ в системе управления каждого матричного преобразователя в группе, согласование значений начальных фаз несущей частоты ШИМ на основе обмена данными между системами управления преобразователей в группе по сетевому интерфейсу, поисковая оптимизация коэффициента гармонических искажений напряжений на входе каждого матричного преобразователя в группе.

Были проведены экспериментальные исследования формы и спектрального состава токов фаз питающей сети при работе электропривода с матричным преобразователем частоты, а также спектрального состава выходных токов и напряжений преобразователя. В результате исследований была подтверждена адекватность разработанных компьютерных моделей матричного преобразователя частоты.

УДК 621.3

ОБЗОР ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ МАТРИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

О. А. КАПИТОНОВ, А. С. ТРЕТЬЯКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Сегодня преобразователи частоты занимают львиную долю рынка электроприводов переменного тока во всем мире. Матричные преобразователи частоты (МПЧ) – одно из современных направлений развития преобразователей частоты [1].

На кафедре «Электропривод и АПУ» в настоящее время выполняется госбюджетная работа, связанная с МПЧ. В рамках данной работы была проведена попытка каталогизировать разновидности МПЧ [2].

1. Matrix Chopper (MCh) – МПЧ на базе ШИП переменного тока.
2. Matrix-Reactance Chopper (MRC) – МПЧ с наличием индуктивного сопротивления.
3. Buck converter – понижающий преобразователь.
4. Buck-boost converter – преобразователь, позволяющий переключение из повышающего (boost) в понижающий режим (buck) и наоборот.
5. Sepic converter – преобразователь, обеспечивающий нужное соотношение между входным и выходным напряжением.
6. Cuk converter – разновидность buck-boost converter с инвертированным выходным напряжением.
7. Zeta converter – разновидность buck-boost converter с прямым выходным напряжением.
8. Direct Matrix Converter – прямой МПЧ (с преобразованием АС-АС).
9. Indirect Matrix Converter – непрямой МПЧ (с преобразованием АС-DC-АС).
10. Sparse Matrix Converter – МПЧ с уменьшенным количеством силовых ключей.
11. Very Sparse MC (VSMC) – МПЧ с уменьшенным количеством силовых ключей в большей степени.
12. Ultra Sparse MC (USMC) – МПЧ с максимальным количеством убранных силовых ключей.
13. Voltage Source Matrix Converter (VSMC or MC) – прямой МПЧ как источник напряжения.
14. Current Source Matrix Converter (CSMC) – прямой МПЧ как источник тока.
15. Multi-Level Direct Matrix Converter (MLDMC) – многоуровневый прямой МПЧ.
16. Multi-Level Indirect Matrix Converter (MLIMC) – многоуровневый непрямой МПЧ.

17. Matrix-Reactance Frequency Converter (MRFC) – не прямой МПЧ с наличием индуктивного сопротивления.

18. Cascaded connected (MRFC) – каскадные МПЧ и т. д.

Как видно из вышеперечисленного, в настоящее время МПЧ являются бурно развивающимся направлением, и могут иметь несколько под-классификаций.

Для выполнения работ, связанных с МПЧ, на кафедре «Электропривод и АПУ» были созданы или закуплены:

- МПЧ Yaskawa U1000 Standart;
- устройство плавного пуска с импульсным регулированием напряжения и компенсацией реактивной мощности.

Yaskawa U1000 Standart представляет собой классический Direct Matrix Converter – прямой МПЧ (с преобразованием АС-АС). Оснащенный всеми современными защитами, совместимый с целым спектром оборудования, данный МПЧ предлагает точное управление асинхронным электродвигателем.

Вторая позиция – это собственная разработка [3], выполненная в рамках госбюджетной работы, представляет собой устройство плавного пуска с импульсным регулированием напряжения и компенсацией реактивной мощности. Особенность данного устройства в том, что оно обладает и свойствами ШИП переменного тока (Matrix Chopper), и свойствами устройства плавного пуска, поэтому может классифицироваться как матричный преобразователь частоты, так и устройство плавного пуска.

Полученные результаты являются основой для дальнейшей работы над созданием:

- методик проектирования матричных преобразователей частоты в децентрализованном исполнении;
- оптимальных алгоритмов управления и защиты электропривода по системе «Матричный преобразователь – асинхронный электродвигатель в децентрализованном исполнении» для повышения энергетических и эксплуатационных характеристик.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Третьяков, А. С.** Разработка лабораторного комплекса для исследования матричного преобразователя частоты / А. С. Третьяков, К. Н. Романенко // Современные проблемы машиноведения: материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 22–23 нояб. 2018 г. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – С. 260–262.
2. **Szczes'niak, P.** Development and calibration of a model for the dynamic imulation of fans with induction motors / P. Szczes'niak, J. Kaniewski, M. Jarnut // Energy Conversion and Management. – 2014. – Vol. 92. – P. 483–497.
3. **Третьяков, А. С.** Устройство плавного пуска с импульсным регулированием напряжения и компенсацией реактивной мощности / А. С. Третьяков, О. А. Капитонов, Г. С. Ленеvский // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2018. – № 4. – С. 39–48.

УДК 004.02:621:628.9

ПРОБЛЕМЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ОЦЕНКИ ДОПУСТИМОСТИ ФЛИКЕРА

В. М. КОВАЛЬЧУК

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Известно, что электроприемники с резко переменной нагрузкой вызывают в электрических сетях колебания напряжения (КН) и фликер (мерцание) светового потока электрических источников света, что вызывает отрицательную реакцию работающих в условиях электрического освещения.

На стадии проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий для решения задач обеспечения электромагнитной совместимости по фликеру приходится использовать методы аналитических расчетов на основе математической модели фликерметра [1], состоявшей из трех последовательно соединённых блоков:

- 1) взвешивающего фильтра с передаточной функцией $W_f(p)$;
- 2) квадратора;
- 3) инерционного звена первого порядка с постоянной времени 0,3 с.

Нахождение аналитического решения для такой математической модели фликерметра даже для периодических колебаний напряжения не синусоидальной формы приводят к громоздким выражениям. Например, при использовании метода парциальных реакций [2], процесс на выходе фликерметра представляется суммой более 70 слагаемых. Более громоздкие выражения получаются при использовании частотных методов, если разложить процесс на входе фликерметра в ряд Фурье.

Поскольку фликерметр [1] оценивает допустимость фликера по порогу его заметности, автор предлагает для аналитических расчетов использовать модифицированную модель фликерметра [3], в котором допустимость фликера оценивается по степени превышения единичного значения размахов сигнала на выходе взвешивающего фильтра фликерметра. В этом случае аналитическое решение сводится к нахождению размахов колебаний сигнала на выходе линейного фильтра с передаточной функцией $W_f(p)$.

Проведенные исследования показали, что и для модифицированной модели фликерметра частотные методы аналитического решения не преодолевают трудности с выбором числа учитываемых гармоник ряда Фурье и воспроизведения ступенчатого входного процесса (явление Гиббса).

Наилучший результат достигается при использовании метода парциальных реакций. Суть этого метода состоит в замене передаточной функции фильтра $W_f(p)$, представленной в виде отношений многочленов порядка m и n :

$$W_f(p) = k \frac{R(p^m)}{M(p^n)},$$

где k – коэффициент передачи фильтра; p – оператор дифференцирования при $m < n$,

суммой передаточных функций $W_i(p)$ звеньев первого порядка

$$W_i(p) = k \frac{c_i}{\frac{p}{-\alpha_i} + 1},$$

где α_i – полюса знаменателя $W_f(p)$; c_i – коэффициент передачи, $c_i = (p - \alpha_i)W_f(p) \Big|_{p=\alpha_i}$.

Например, передаточная функция взвешивающего фильтра фликерметра [1] представляется как четыре параллельно соединенных инерционных звена с коэффициентами передачи $c_1 = 4,73 + j7,71$; $c_2 = 4,73 - j7,71$; $c_3 = -2,04$; $c_4 = -7,42$ и $\alpha_1 = 25,51 + j51,56$; $\alpha_2 = 25,51 - j51,56$; $\alpha_3 = 7,70$; $\alpha_4 = 137,61$, реакции которых суммируются.

Наиболее простое аналитическое решение таким методом достигается при периодических колебаниях напряжения типа меандр с частотой f , Гц (т. е. периодом цикла $t_{\text{ц}} = 1/f$) и длительностью импульса $t_{\text{и}} = 0,5t_{\text{ц}}$. В этом случае стационарное решение в пределах $t_{\text{ц}}$ находится методами припасывания сразу без вычисления всего переходного процесса. С этой целью через систему уравнений переходных процессов каждого звена первого порядка за периоды $t_{\text{и}}$ и $t_{\text{ц}} - t_{\text{и}}$ находятся ординаты переходного процесса на границах участков y_{i0} и y_{i1} , разность суммы которых определяет степень восприятия фликера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 51317.4.15–2012 (МЭК 61000.4.15:2010). Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Функциональные и конструктивные требования. – Москва: Стандартинформ, 2014.
2. Куренный, Э. Г. Метод парциальных реакций для анализа на выходе линейных фильтров в модели электромагнитной совместимости / Э. Г. Куренный, А. П. Лютый, Л. В. Черникова // Электричество. – 2006. – № 10. – С. 11–18.
3. Ковальчук, В. М. Оценка электромагнитной совместимости по дозе фликера / В. М. Ковальчук // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2021. – № 2 (71). – С. 50–56.

УДК 535.31 + 621.658.011

К ВОПРОСУ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗНОСТИ ФАЗ В АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛАХ

А. Г. СТАРОВОЙТОВ, И. А. ЧЕРКАСОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Присутствие натяжений в анизотропных материалах (химических волокнах, пленках, стекле и т. д.) в процессе их производства легче всего обнаруживается при помощи исследования их в поляризованном свете, т. к. натяжения делают их двоякопреломляющими [1, 2]. Двойное лучепреломление обусловлено зависимостью показателя преломления от направления электрического вектора.

Измерение двулучепреломления обычно используется для наблюдения за вытяжкой волокон и пленок, и его величина определяет меру ориентационного упорядочения аморфных и кристаллических макромолекул. Когда подающий поляризованный свет проводят через полимерный материал, возникающие оптические волны обыкновенные и необыкновенные [3] запаздывают в двух взаимноортогональных направлениях в ориентированном образце толщиной d .

$$\delta = \frac{2\pi d}{\lambda} \cdot (n_o - n_e), \quad (1)$$

где n_o , n_e – показатели преломления обыкновенных и необыкновенных лучей, распространенных перпендикулярно главным направлениям деформации образца; λ – длина волны.

При применении поляриметра с компенсатором Сенармона [4] разность фаз, введенная измеряемым образцом, равна удвоенному углу 2Θ поворота анализатора угла гашения света.

При прохождении наклонных лучей через двоякопреломляющий образец (стекло, химические волокна, пленка и т. д.) [5] при расчете разности фаз необходимо учитывать увеличение толщины и изменение показателя преломления необыкновенного луча, составляющий угол φ с главным направлением образца [5]:

$$n'_e = \sqrt{n_o^2 \cos^2 \varphi + n_e^2 \sin^2 \varphi}, \quad (2)$$

после преобразований приближенно

$$n'_e - n_o = (n_o - n_e) \cdot \sin^2 \varphi. \quad (3)$$

Абсолютная погрешность измерения текущего значения разности фаз δ с использованием компенсатора Сенармона составит $\tau = \delta - 2\theta$, следовательно,

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{\operatorname{tg}(\delta \cdot \sin \varphi) - \operatorname{tg} \delta}{1 + \operatorname{tg}(\delta \cdot \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \delta}. \quad (4)$$

Анализ уравнения (4) и исследование наклонных лучей, проходящих через двоякопреломляющий образец, приводит к уменьшению угла гашения анализатором наклонных лучей (рис. 1).

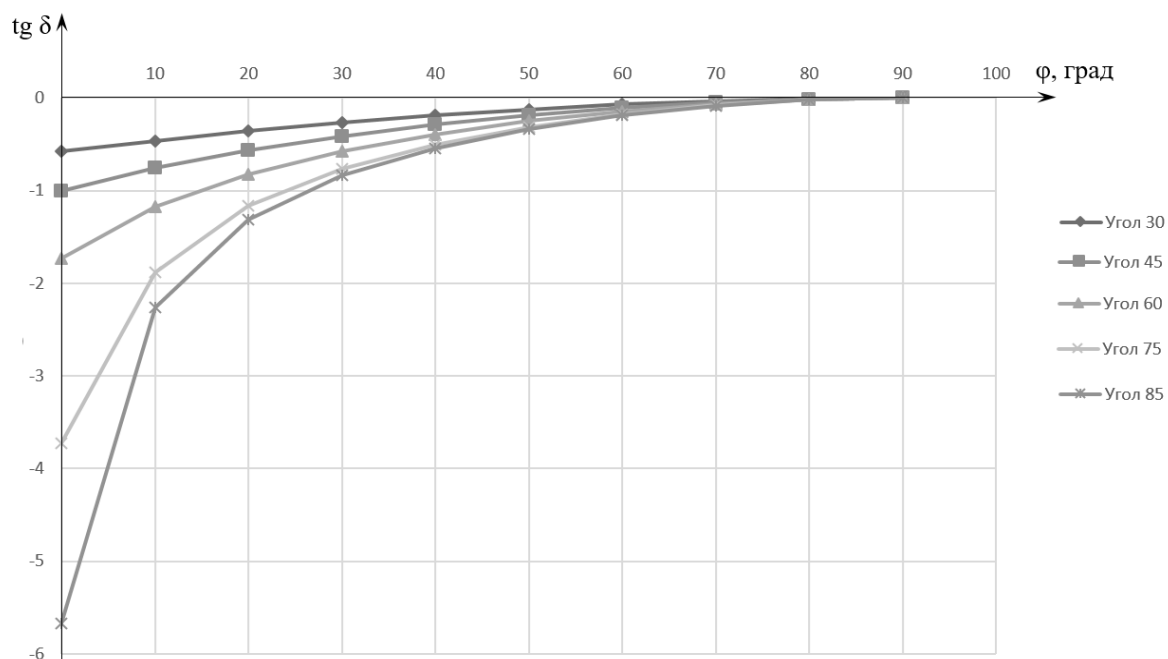


Рис. 1. Зависимость абсолютной погрешности от угла наклона лучей при различных значениях δ

Для уменьшения этой погрешности следует применять образцы малой толщины (несколько микрон) при угле наклона не более 70° , что очень важно при проектировании измерителей двулучепреломления в анизотропных материалах малой толщины (химические волокна, пленки, стекло и т. д.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Василенко, А. Н.** Измерение двулучепреломления в анизотропных материалах малой толщины / А. Н. Василенко, А. Г. Старовойтов, А. В. Хомченко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2017. – № 4. – С. 137–142.
2. **Хомченко, А. В.** Измерение распределения разности фаз при линейном двулучепреломлении в твердых телах с внутренними напряжениями / А. В. Хомченко, И. У. Примак, А. Н. Василенко // Изв. ГГУ им. Ф. Скорины. – 2016. – № 3 (96). – С. 124–131.
3. Оценка погрешности измерения двулучепреломления методом оптической поляриметрии / А. Г. Старовойтов [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2016. – № 3. – С. 146–151.
4. **ГОСТ 3519–91.** Материалы оптические. Методы определения двулучепреломления. – Москва: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 17 с.
5. **Джеррард, А.** Введение в матричную оптику / А. Джеррард, Дж. М. Бёрч. – Москва: Мир, 1978. – 336 с.

УДК 621.3:658.34

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПАСПОРТ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Л. Г. ЧЕРНАЯ¹, А. Е. САЗОНКО², А. В. КОХАН²

¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Департамент по надзору за безопасным ведением работ в промышленности
(Госпромнадзор)

Минск, Беларусь

Современное развитие информационных технологий в промышленности требует формирования электронного документооборота, который будет постепенно вытеснять печатные бумажные формы, особенно в автоматизированных системах обработки данных, которые позволяют исключить большую часть ошибок, вызванных человеческим фактором: некомпетентностью, невнимательностью, состоянием здоровья и т. п. Особенно это важно в системах контроля параметров промышленной безопасности, связанных с применением оборудования во взрывоопасных средах, сертифицировано в соответствии с требованиями ТР ТС 012/2011.

При эксплуатации взрывозащищенного оборудования обязательным является паспорт индивидуальной эксплуатации, который ведется ответственным лицом в подразделении, где используется по назначению указанное оборудование. Часть данных, содержащихся в паспортах индивидуальной эксплуатации, используется другими подразделениями предприятия (отделом снабжения, ремонтными службами, контролирующими органами и др.). При построении автоматизированных систем обработки данных взрывозащищенного оборудования возникает проблема в разработке универсальной формы для электронного паспорта индивидуальной эксплуатации вследствие большого разнообразия как видов и типов электрооборудования, так и различного сочетания параметров взрывозащиты и паспортных данных.

В научно-исследовательской лаборатории «Взрывозащищенное электрооборудование» Белорусско-Российского университета при содействии Департамента по надзору за безопасным ведением работ в промышленности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госпромнадзор) сформированы основные положения к построению электронного варианта паспорта индивидуальной эксплуатации взрывозащищенного оборудования, создаваемого на основе реляционных баз данных. База данных электронного паспорта индивидуальной эксплуатации должна включать следующие таблицы:

1) основные данные, включающие: тип оборудования, наименование модели, маркировку взрывозащиты, заводской номер, номер сертификата, дату ввода в эксплуатацию, технологическую позицию, ответственное за эксплуатацию лицо, ссылки на эксплуатационную и ремонтную документацию, информацию о производителе (поставщике);

2) паспортные данные, состав которых зависит от вида оборудования, в общем случае содержащие следующую информацию: напряжение питания и потребляемый ток (мощность), номинальную скорость и момент (для электродвигателей), код IP, климатическое исполнение и категория размещения, монтажное исполнение, дату окончания гарантийного срока производителя или ремонтного предприятия;

3) отдельные таблицы параметров взрывозащиты по каждому используемому виду взрывозащиты, формируемые на основе требований IEC 60079;

4) данные о технологической позиции: класс взрывоопасной зоны, наиболее опасная категория, наиболее опасная температурная группа или значение температуры самовоспламенения;

5) данные периодических осмотров оборудования: дата осмотра, вид осмотра, информация о исполнителе, результаты осмотра;

6) данные о текущем ремонте оборудования: дата и продолжительность ремонта, вид работ, информация об ответственном исполнителе, список замененных комплектующих и использованных материалов, результаты контроля параметров взрывозащиты;

7) данные о капитальном ремонте оборудования: дата и продолжительность ремонта, выполненные виды работ по восстановлению, информация об ответственном исполнителе, результаты контроля параметров взрывозащиты и испытаний, стоимость работ;

8) для контрольно-измерительной аппаратуры метрологические данные и результаты поверок;

9) сведения об авариях и отказах оборудования: дата и причины отказа.

Предложенная структура электронного документа позволяет оперативно заинтересованными подразделениями предприятия получать информацию о состоянии взрывозащищенного оборудования на электродвигатели, контрольно-измерительные приборы, насосы, конвейеры. Стартовые шаблоны электронных вариантов паспортов индивидуальной эксплуатации сформированы в среде Microsoft Access и проходят тестирование в Белорусско-Российском университете при проведении курсов повышения квалификации специалистов, а также при организации учебного процесса со студентами.

УДК 004.77

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИБЛИОТЕКИ REACT ПРИ РАЗРАБОТКЕ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ

И. А. БЕККЕР, К. С. ЛАЛОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Приложение «Zdorovo!» разрабатывается в сфере экологии человека студентами 4 курса группы АСОИР-181 с привлечением талантливых студентов 3 курса. Изначально было задумано вести в приложении контроль потребляемых калорий и микронутриентов с учетом цели, заявленной пользователем, но функционал со временем разросся, несколько изменился, изменился и набор средств программирования.

На данный момент приложение «Zdorovo!» представляет собой web-сайт по поддержанию здорового образа жизни с серверной и клиентской частью. Серверная часть реализует на языке Python следующий функционал: организацию доступа пользователя к личной учетной записи, хранение личных данных пользователя.

Для разработки клиентской (внешней) части web-приложения было решено в итоге использовать JavaScript-библиотеку React.js. Основные причины, по которым разработчики остановились на этом инструменте программирования: проект «Zdorovo!» содержит большое число динамических страниц и повторяющегося кода, что позволило использовать все плюсы библиотеки React.js. Именно фрагменты повторяющегося кода, соответствующие одному из элементов приложения, являются особенностью этой библиотеки. Они называются компоненты, а их различный внешний вид описывается в React.js таким понятием, как состояния компонентов. Состояние State – это информация об изменяемом отображении компонента React. Для простого тиражирования компонента React используется другой тип данных Props.

За счет такой структуры программы получилось меньше кода, написанного «руками». Сократило время и размер кода и то, что использовались вложенные компоненты.

Проект «Zdorovo!» получился сравнительно небольшой и не потребовал специальных инструментов для работы с состояниями, что не дало проявиться такому минусу библиотеки React, как сложность взаимодействия между компонентами разных уровней вложения.

Выбор компонентов был осуществлен исходя из степени повторяемости фрагмента кода, соответствующего описанию объекта, в качестве компонентов взяты карточка продукта питания, параметры настроек исходных данных пользователя, компоненты выбора цели.

Для написания HTML-верстки в .js-файлах React использует препроцессор JSX со специальным синтаксисом, что позволяет библиотеке создавать компоненты, содержащие внутри себя и HTML-разметку, и логику.

На языке JSX сначала было создано окно входа с предусмотренными компонентами: название приложения и другие надписи, поля ввода логина и пароля, кнопка отправки данных на сервер (рис. 1).

```

1  import React from "react";
2
3  export default function Registration() {
4    return (
5      <section className="login">
6        <h1 className="login_title">Food For Pleasure</h1>
7        <form className="login_form" action="#">
8          <label className="form_label" htmlFor="user-login">
9            Enter your login
10          </label>
11          <input className="form_input" id="user-login" type="text" />
12          <label className="form_label" htmlFor="user-password">
13            Enter your password
14          </label>
15          <input
16            className="form_input form_input_last"
17            id="user-password"
18            type="password"
19          />
20          <input className="form_submit" value="Login" type="submit" />
21        </form>
22      </section>
23    );
24  }

```

Рис. 1. Функция, описывающая компонент Registration на JSX

В результате первого этапа работы с компонентами в окне входа в приложение «Zdorovo!» появились все необходимые элементы. На этом этапе разработки у них еще отсутствовала стилизация (рис. 2).

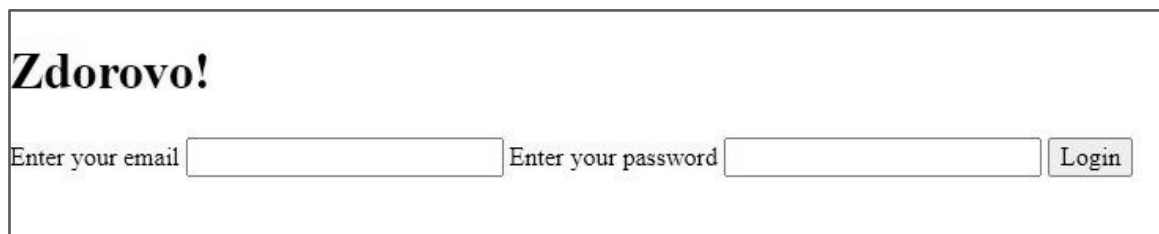


Рис. 2. Результат создания окна входа

Стилизация элементов (размеры, формат фона и границ) является следующим этапом написания программного кода (рис. 3).

```

1  .login {
2      display: flex;
3      flex-direction: column;
4
5      padding: 180px 30px 120px 30px;
6      box-sizing: border-box;
7  }
8
9  .login__title {
10     margin: 0 0 40px 0;
11
12     font-size: 2.2em;
13     text-align: center;
14 }

```

Рис. 3. Фрагмент описания стилей

По завершении этого этапа стилизованные элементы стали отображаться в браузере уже не как компоненты библиотеки React.js, а именно как html-элементы (рис. 4).



ZDOROVO!

ENTER YOUR EMAIL

ENTER YOUR PASSWORD

LOGIN

Рис. 4. Результат применения стилей к HTML-элементам

Использование React.js при программировании web-приложения «Zdorovo!» позволило в гибком, структурированном виде представить код приложения, легко описывать, изменять состояния компонентов, а также выявлять и исправлять ошибки по тем компонентам, которые некорректно работали. С помощью компонентного подхода достигнута заметно более высокая производительность за счет не полного, как в JavaScript и HTML, а частичного перестраивания дерева элементов.

УДК 004.04

СПОСОБ КОЛЛЕКТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССАА. Ю. ВЛАДОВА¹, Е. М. БОРЧИК², Т. Л. ШЕБАН²¹Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Москва, Россия²Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В текстильном производстве для решения оптимизационных задач используют имитационное моделирование [1]. Одним из факторов при выборе оборудования / настроек оборудования в производственном процессе является фактор времени, затраченного на выполнение технологических операций отделки, необходимых для изготовления готовой ткани.

Производственные процессы в текстильной промышленности отличаются многостадийностью, обусловленной последовательностью выполнения определенных технологических операций. На каждой из стадий имеется возможность выбора оборудования и соответствующих настроек для обеспечения оптимального хода технологических процессов при выпуске готовой продукции заданного артикула. На практике в технологических картах указывается диапазон изменения параметров настройки оборудования. Точные значения определяются с учетом накопленного опыта.

В технологических картах выпуска готовой ткани для каждой настройки оборудования указывается допустимый диапазон изменения расчётной скорости v_{ob} , для дальнейших расчётов задается некоторое усреднённое значение $\overline{v_{ob}}$. Аналогично по алгоритмам, полученным опытным путем, определяется стоимость обработки 1000 п. м ткани при выполнении технологических операций с заданными настройками оборудования.

Задача определения оптимального сочетания настроек оборудования для карты процессов по производству определенного вида ткани в разрезе временных затрат, необходимых для выпуска 1000 п. м может быть решена как задача определения кратчайшего пути, или минимальных затрат времени и стоимости обработки ткани (рис. 1). При этом на некоторых стадиях требуется производить выбор настроек и, соответственно, технологического оборудования.

Математическая модель производственного процесса изготовления готовой ткани представлена в виде ориентированного графа (см. рис. 1), вершинами которого являются настройки технологического оборудования из соответствующей карты процесса. Нагрузки на дуги графа представляют собой

время / стоимость обработки ткани в результате выполнения соответствующих технологических операций.

Для оптимизации выбора технологического оборудования используется обобщенная имитационная модель (см. рис. 1), доступная для специалистов. При этом исследован способ [2], в котором используется серверный компьютер с программным обеспечением администратора, графическое устройство ввода-вывода, модуль задания на моделирование, клиентские компьютеры. В процессе совместной работы операторов с клиентских компьютеров и администратора с серверного компьютера выполняется задание на моделирование. В случае поступления ошибочного воздействия с клиентского компьютера осуществляют его коррекцию на клиентском компьютере с помощью серверного программного приложения, отображают ход и результат выполнения задания на устройстве ввода-вывода. Результатом моделирования является структура технологического процесса для выбранного артикула ткани (рис. 2), используемая для организации производственного процесса.

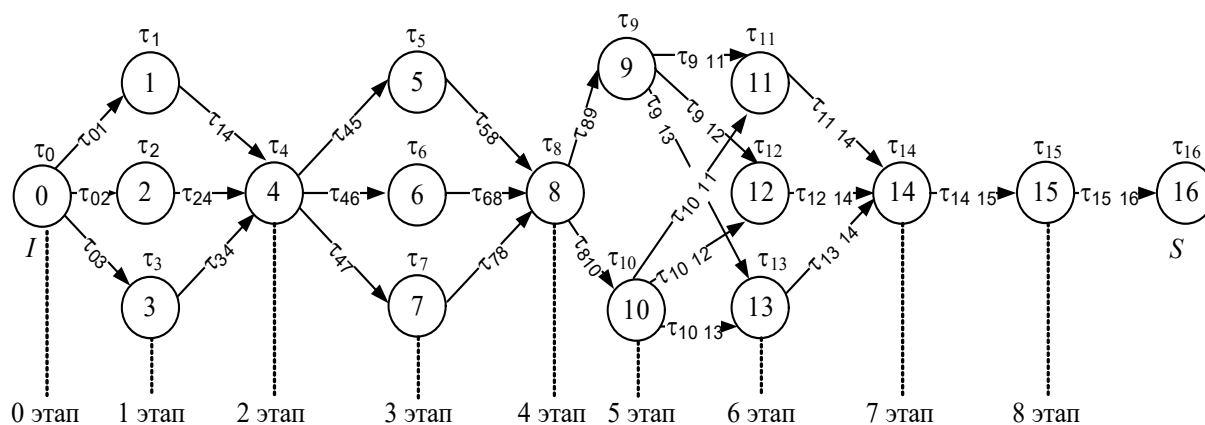


Рис. 1. Ориентированный граф с настройками оборудования



Рис. 2. Граф технологического процесса для артикула 08С6

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lototsky, V. A. Simulation-Based Multi-Criterion Approach to Production Processes Control / V. A. Lototsky, A. I. Yakimov // IFAC-PapersOnLine, – 2017. – Vol. 50, iss. 1. – P. 15580–15585.
2. Способ и система автоматизированного коллективного моделирования объекта: пат. RU 2450334 / Ю. А. Панебратцев [и др.]. – Оpubл. 10.05.2012.

УДК 004.42

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАМЯТИ ОЗУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ю. Д. СТОЛЯРОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При изучении работы ЭВМ желательно, чтобы обучающийся мог зрительно шаг за шагом просмотреть процесс обработки информации внутри самого компьютера. Этого можно достичь, моделируя эти процессы, используя виртуальные технологии, в которых реальная обработка информации заменена набором программного обеспечения. Вся необходимая информация будет находиться на сервере учебного заведения и, используя сеть Интернет, можно получить доступ к ней из любого места. В качестве примера рассмотрим способ рационального использования оперативной памяти (ОЗУ).

В процессе работы ОЗУ в ней постоянно используется информация, принадлежащая различным прикладным программам и приложениям. Во время работы потребность различных программ в памяти постоянно меняется. Часть программ за ненадобностью вообще удаляется. Таким образом, ОЗУ будет состоять из используемых и свободных участков (0000), разбросанных по всей памяти (рис. 1).

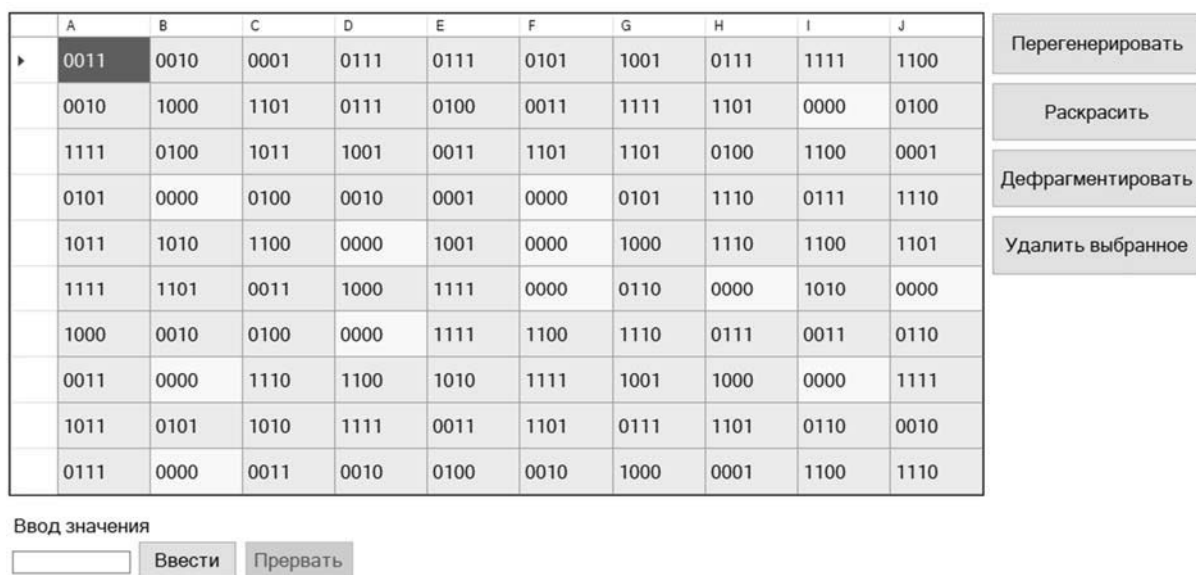


Рис. 1. Распределение памяти ОЗУ в произвольный момент времени

Операционной системе надо постоянно отслеживать состояние ОЗУ и хранить информацию о свободных областях, занимая память, необходимую для основной работы, а это приводит к потере производительности, поэтому в процессе работы ОЗУ происходит перераспределение памяти на используемую и свободную области. Эти области памяти выделены различным цветом. Операционная система объединяет используемые области так, чтобы они составляли непрерывное пространство. Свободная область памяти представляет

собой тоже непрерывную область, куда мы можем записывать информацию, обычно состоящую из массивов последовательных ячеек (рис. 2).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
►	0011	0010	1111	0101	1011	1111	1000	0011	1011	0111
	0010	1000	0100	1110	1010	1101	0010	0010	0101	1111
	0001	1101	1011	0100	1100	0011	0100	1110	1010	0011
	0111	0111	1001	0010	0110	1000	1101	1100	1111	0010
	0111	0100	0011	0001	1001	1111	1111	1010	0011	0100
	0101	0011	1101	1110	0001	0100	1100	1111	1101	0010
	1001	1111	1101	0101	1000	0110	1110	1001	0111	1000
	0111	1101	0100	1110	1110	1100	0111	1000	1101	0001
	1111	1100	1100	0111	1100	1010	0011	0110	0000	0000
	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000

Рис. 2. Дефрагментация ОЗУ

Демонстрация работы происходит с помощью кнопок, указанных на рис. 1.

Для наглядности мы указали, что в свободной области нет никакой информации. На самом деле там находится использованная информация, операционная система знает об этом, и мы можем записывать туда то, что нам необходимо. Такой процесс записи показан на рис. 3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
►	4	0010	1111	0101	1011	1111	1000	0011	1011	0111
	0010	1000	0100	1110	1010	1101	0010	0010	0101	1111
	0001	1101	1011	0100	1100	0011	0100	1110	1010	0011
	0111	0111	1001	0010	0110	1000	1101	1100	1111	0010
	0111	0100	0011	0001	1001	1111	1111	1010	0011	0100
	0101	0011	1101	1110	0001	0100	1100	1111	1101	0010
	1001	1111	1101	0101	1000	0110	1110	1001	0111	1000
	0111	1101	0100	1110	1110	1100	0111	1000	1101	0001
	1111	1100	1100	0111	1100	1010	0011	0110	0000	0000
	0010	0110	0101	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000

Рис. 3. Запись новой информации в ОЗУ

Добавив новую информацию в несколько ячеек, увидим, что процесс записи начался с первой свободной ячейки. В будущем можно вывести численную информацию об объеме свободной и занятой памяти и указать номер ячейки, в которую начнется запись. При полном использовании свободной памяти выводится сообщение.

В работе наглядно представлен процесс динамического распределения памяти, облегчающий понимание принципа работы ОЗУ. Программа написана на языке Си #.

УДК 681.518

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕРМОПРОФИЛЕЙ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ WINDOWS FORMS

Ф. С. ХВИСЮК

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

Термопрофиль является основной характеристикой процесса индукционной пайки и его контроль является основной задачей при настройке технологических систем пайки. Для оперативного контроля процесса необходимо получать текущие значения температуры и форму термопрофиля в реальном времени.

Разработана программа для ПК под управлением ОС Windows для визуализации и сохранения термопрофиля при процессе индукционной пайки на основе данных, полученных с системы контроля на основе промышленного модуля Data Taker. Программа написана на языке C# с применением библиотеки Windows Forms, отвечающей за графический интерфейс пользователя и являющийся частью Microsoft .NET Framework. Данный интерфейс упрощает доступ к элементам интерфейса Microsoft Windows за счет создания обёртки для существующего Win32 API в управляемом коде. Управляемый код – классы, реализующие API для Windows Forms, не зависят от языка разработки. То есть программист одинаково может использовать Windows Forms как при написании ПО на C#, C++, так и на VB.Net, J# и др. Приложение Windows Forms представляет собой событийно-ориентированное приложение, поддерживаемое Microsoft .NET Framework.

Основой для отображения является предлагаемый библиотекой компонент Chart, он предназначен для отображения графиков различных видов. Библиотека предоставляет весь необходимый интерфейс для взаимодействия и реализации графиков. Компонент позволяет создавать различные графики с высокой вариативностью отображения (рис. 1).

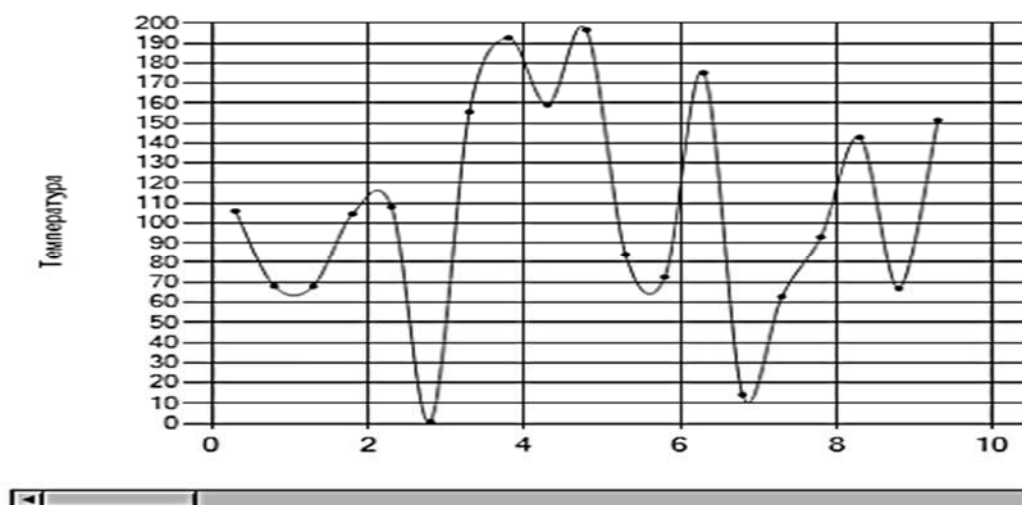


Рис. 1. Отображение компонента Chart

Данные, подлежащие визуализации, поступают на ПК по COM-порту, программа взаимодействует с COM-портом с помощью класса SerialPort, который является компонентом .NET Framework. Данные, поступающие на COM-порт, вызывают генерацию события DataReceived, в котором данные собираются в буфер, где предварительно обрабатываются, а затем выводятся на график. На основании полученных данных в компонент Chart передаются данные о точках, необходимых для визуализации, а также данные для масштабирования графика.

В программе реализовано сохранение графика в виде изображения, а также необработанных данных в формате CSV. С помощью этой программы получены реальные термопрофили процесса индукционной пайки (рис. 2).

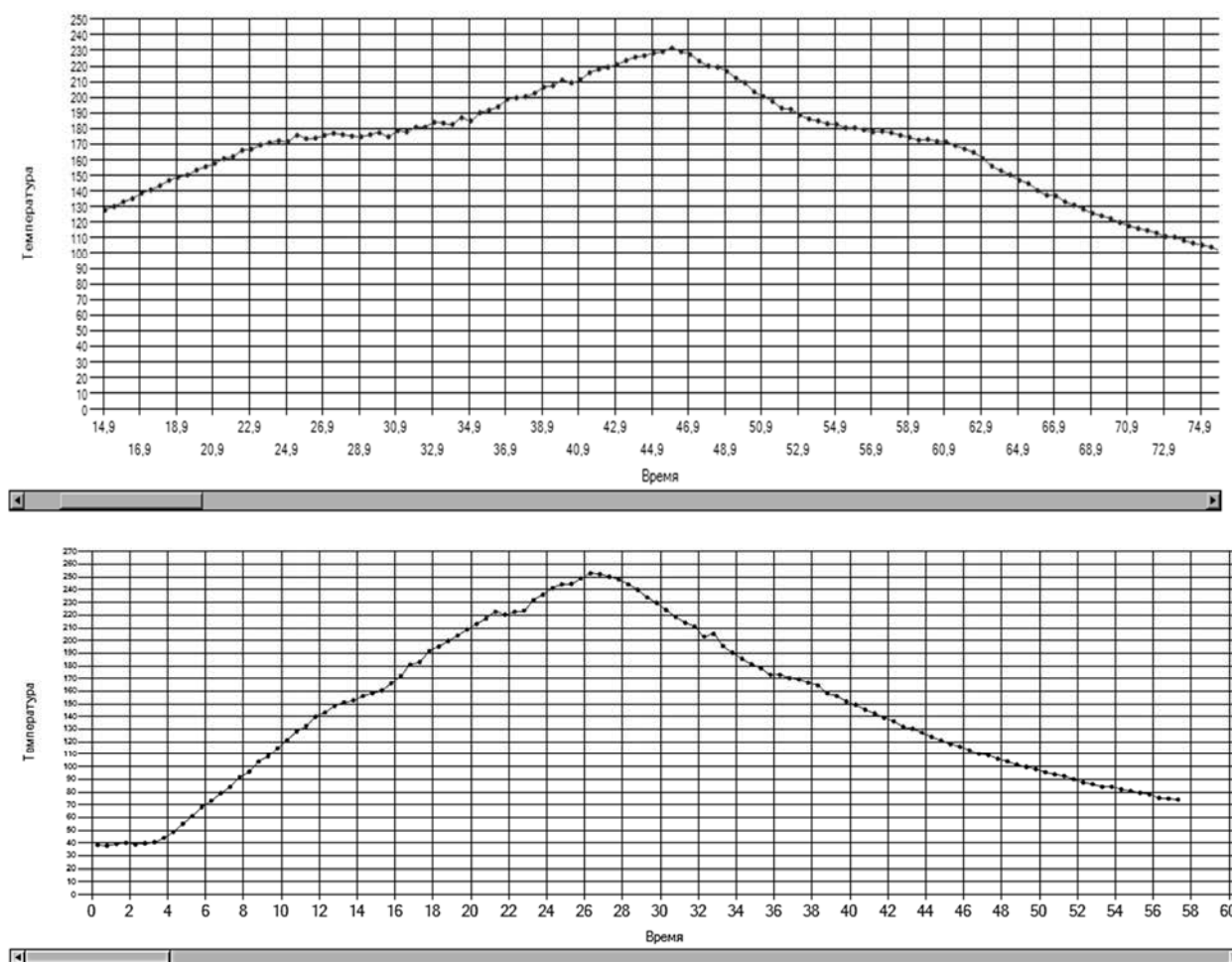


Рис. 2. Термопрофили индукционной пайки

Применение библиотеки Windows Forms позволяет повысить быстродействие программы за счет использования системных компонентов, что ведет к снижению времени отрисовки термопрофилей. Для процесса индукционной пайки скорость получения и обработки данных является крайне важной, т. к. процесс протекает быстро, а использование быстродействующих программ позволяет получать более точную информацию о протекании процессов, что позволяет точнее управлять процессом.

УДК 004:946

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПОВЕДЕНИЮ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

А. В. ШИЛОВ, С. О. ШАМПАНОВ, С. А. ЯМЩИКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В основе обучения с применением виртуальной реальности лежат иммерсивные технологии, позволяющие погрузиться в событийную среду. Иммерсивные технологии подразумевают трансформацию роли преподавателя, выставляя акцент на проектировании многомодальной виртуальной среды, создания сценариев погружения. В сфере образования такой вид обучения был признан одним из самых эффективных [1].

Преимуществ иммерсивного подхода несколько.

Наглядность. Виртуальное пространство позволяет детально рассмотреть объекты и процессы, которые дорого воспроизвести или сложно отследить в реальном мире. Например, анатомические особенности человеческого тела, работу различных механизмов и технологических процессов, полеты в космос и погружение на сотни метров под воду, путешествие по человеческому телу и химические реакции.

Сосредоточенность – погружение в виртуальную реальность (VR) позволяет отстроиться от внешних раздражителей. Обучающийся может всецело погрузиться в изучение материала и получение необходимых навыков.

Вовлечение. Сценарий процесса обучения программируется и контролируется. Если допускается ошибка, то возможно повторение материала для закрепления знаний. В виртуальной реальности обучающиеся могут проводить химические эксперименты, схематически увидеть выдающиеся исторические события и решать сложные задачи в увлекательной и понятной игровой форме.

Безопасность. В виртуальной реальности можно без каких-либо рисков проводить сложные операции, оттачивать навыки управления транспортом, сложными технологическими объектами и процессами. Независимо от сложности сценария обучающийся не нанесет вреда себе и другим.

В разработке данного контента заинтересованы как учреждения образования, так и надзорные органы, осуществляющие контролирующие функции и образовательную функции при проведении профилактики.

В рамках реализации мероприятий по профилактике энерготравматизма филиалом Госэнергонадзора по Могилевской области создана и принята в промышленную эксплуатацию игра «На отдыхе», разработанная коллективом авторов.

Игра предназначена для детей школьного возраста и применяется при проведении профилактической работы по предупреждению электротравматизма в общеобразовательных школах и других учебных заведениях. Игра позволяет привить детям в игровой форме базовые навыки и элементарные знания,

позволяющие предотвратить электротравматизм в повседневной жизни, указать на наличие опасных факторов, связанных с эксплуатацией электрического оборудования и электрических сетей.

Игра разработана для платформы Android, что позволяет получить большой охват у аудитории школьного возраста и проводить инспекторам профилактическую работу в игровой форме. Для удобства скачивания и установки представители предприятия разместили игру в Google Play Market. После прохождения теста по электробезопасности реализована аркадная мини-игра, которая позволяет соревноваться в количестве пойманной рыбы, а также поделиться своими результатами с друзьями в социальных сетях [2]. Таким образом, появляется заинтересованность в многократном прохождении тестовой части, связанной с электробезопасностью, и закрепляются навыки правильного поведения при обнаружении электрически опасных ситуаций в быту.

Для взрослой аудитории была разработана игра «Безопасный дом», которая позволяет предотвратить электротравматизм и получить навыки безопасного использования газовых приборов в быту и газового оборудования. Были разработаны 3D-модели героя, помещения (рис. 1), электрического и газового оборудования.

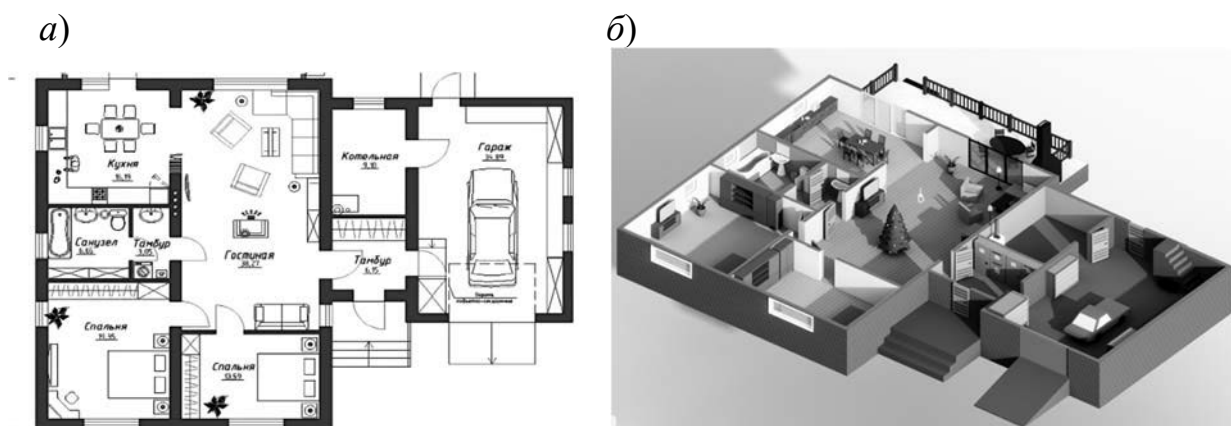


Рис. 1. План помещения (а) и реализация игрового пространства (б)

Данные технологии позволяют обучать поведению в экстремальных ситуациях, создать полную картину происходящего, в которой человеку придется принимать быстрые решения во избежание травм. Это позволит снизить количество травм и летальных исходов как в быту, так и на производстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Корнилов, Ю. В.** Иммерсивный подход в образовании / Ю. В. Корнилов // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2019. – Т. 8, вып. 1 (26). – С. 174–178.
2. «На отдыхе» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.CyberKashaCompany.ToRest>. – Дата доступа: 18.02.2022.

УДК 620.179.14

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ

А. В. ШИЛОВ, С. А. ЯМЩИКОВ, С. О. ШАМПАНОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

С развитием высокоскоростных сетей передачи данных в промышленности всё чаще находят применение компьютерное зрение (computer vision / CV) и машинное обучение (machine learning / ML). Начиная от задач распознавания объектов и заканчивая управлением беспилотным транспортом используются нейронные сети, позволяющие детектировать и классифицировать объекты разных категорий.

Ранее был разработан метод неразрушающего контроля с визуализацией дефектов на магнитной пленке [1]. Суть метода заключается в намагничивании контролируемого объекта с уложенной на его поверхность пленкой. При наличии дефектов в ферромагнитном объекте возникают поля рассеяния, которые фиксируются в виде индикаторных рисунков на пленке. При помощи цифровой камеры получают изображение пленки с индикаторными рисунками, которое затем обрабатывается.

Компьютерное зрение в данном случае применимо как при контроле на монтаже, так и для определения наличия дефектов при непрерывном контроле, отстроившись от поверхностных неровностей режимом намагничивания. При этом, применив глубокое обучение при обработке массивов изображений индикаторных рисунков дефектов различного типа, можно выделить признаки недопустимых и обращать внимание оператора именно на наличие таких дефектов.

Применение сверточной нейронной сети позволит автоматически получить набор признаков из изображений индикаторных рисунков для классификации дефектов, чтобы при анализе получаемого изображения обнаруживать соответствие с шаблонами. Используя алгоритм Виолы-Джонса и каскад классификаторов, можно определить основные типы дефектов и отличить допустимые от недопустимых.

Для оценки допустимости обнаруженных дефектов необходимо знать их тип и размеры. Определив информационные параметры распределения интенсивности в зоне индикаторных рисунков дефектов, можно установить их размеры. Применение компьютерного зрения и глубокого обучения позволит осуществлять эту процедуру в автоматическом режиме, что открывает новые перспективы применения метода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилов, А. В. Дефектоскопия ферромагнитных объектов с визуализацией магнитных полей на пленке: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / А. В. Шилов; Белорус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2015.

УДК 519.6

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ НАСЕЛЕНИЯ

В. А. ШИРОЧЕНКО, Д. Ю. ДРЯГИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При современном развитии информационных технологий трудно обходиться без гаджетов, обеспечивающих помощь в навигации. Водители постоянно используют программы-навигаторы при поездках по незнакомым и даже по хорошо известным маршрутам. При этом навигаторы позволяют выбрать наиболее выгодные маршруты с точки зрения затрат времени или пройденного пути, объехать пробки на дорогах, платные участки или грунтовые дороги, а также обладают и другими полезными функциями. Навигаторы могут указывать места расположения кафе и точек отдыха при длительных переездах, места расположения заправок, прокладывать маршруты не только для легковых автомобилей, но и для пеших прогулок, поездок на велосипеде и для грузовых автомобилей, учитывая их особенности эксплуатации.

Программ-навигаторов сегодня достаточно много. Наиболее популярные из них Яндекс Навигатор, Google Карты, 2ГИС, Maps и др. Среди них есть платные и бесплатные, требующие постоянного подключения к интернету или работающие по скаченным картам, управляемые голосом или только с клавиатуры, имеющие дополнительный сервис или нет. Однако все эти программы предназначены для построения маршрута в конечном итоге между двумя точками: точкой отправления и точкой назначения.

Кроме таких достаточно тривиальных задач по построению маршрута, существует ряд задач, которые по постановке отличаются от упомянутых тем, что требуется построить оптимальный маршрут обхода нескольких объектов и вернуться в начальную точку с контролем времени завершения или без него. Такая постановка задачи представляет интерес для организаций, обслуживающих население при выполнении ими определенных услуг. Эти организации принимают заявки от населения и затем высылают специалиста по зарегистрированным адресам для удовлетворения этих заявок. Например, это доставка товаров потребителям, когда курьер берет несколько различных заказов и развозит их по адресам заказчиков. Чем больше точек будет обслужено за одну поездку, тем дешевле обойдется доставка. Другой пример – обслуживание газовой аппаратуры населения со стороны некой организации «горгаз». Жители города обращаются в эту организацию, заказывают ту или иную услугу, например, подключение или отключение газового оборудования, устранение неисправностей, установка газовых счетчиков и др. Затем организация высылает своих специалистов, которые должны объехать все эти адреса и выполнить соответствующую работу.

Во всех этих случаях даже при хорошем знании дорожной сети города может быть построено достаточно много маршрутов, обеспечивающих обход всех потребителей услуг. Использование обычного навигатора в этом случае неэффективно, т. к. даже при выборе кратчайшего пути между всеми объектами по отдельности суммарный маршрут может быть далеко не оптимальным.

Подобная задача в математике сформулирована достаточно давно и носит название задачи коммивояжёра, в которой необходимо построить кратчайший маршрут обхода нескольких объектов и вернуться в исходную точку, не проходя по любому из путей дважды. Сегодня эта задача с точки зрения математики не вызывает никаких проблем, но ни одна из известных программ-навигаторов не позволяет составить кратчайший замкнутый маршрут, который будет позволять сократить затраты и увеличить количество обслуживаемых заявок.

Для решения сформулированной задачи разработано специальное программное обеспечение, состоящее из серверной и клиентской частей. Серверная часть содержит базу данных заказов и обеспечивает работу по построению искомого маршрута. Клиентская часть предназначена для сопровождения движения по соответствующему участку кольцевого маршрута.

Подавая заявку, клиент обращается к диспетчеру, который выясняет личные данные заказчика, его конкретный адрес, суть работы, которую необходимо будет выполнить специалистам организации, и день, в который заказчик желает получить услугу. Полученные данные заносятся в базу данных. При этом, исходя из особенности требуемой работы, определяется примерное время на ее выполнение. Далее сервер обращается к Яндекс-сервису и по заданным адресам находит значения кратчайших путей, соединяющих между собой каждую из точек заказа со всеми остальными на определенный рабочий день и примерное время, которое будет затрачено на перемещение по нему.

Далее с применением теории графов данная задача приводится к задаче линейного программирования и решается симплекс-методом. В качестве решения получается кольцевой маршрут, исходящий из точки расположения организации, проходящий через адреса всех заказчиков и заканчивающийся в исходной точке. При этом определяется длина этого маршрута и примерное время на выполнение дневного задания для специалистов организации. Если полученное время не укладывается в длительность рабочего дня, то маршрут должен быть перестроен с исключением из него одного из заказчиков и перенесением его заявки на другой день. Полученное решение фиксируется в базе данных путем указания последовательности обслуживания клиентов в конкретный день.

Клиентское приложение построено на основе веб-технологий и устанавливается на смартфон или планшет, который находится у специалистов организации, выполняющих конкретные задания. Это приложение связывается с серверной частью программы и по полученным данным с учетом своего места расположения интерпретирует и отслеживает соответствующий участок маршрута.

УДК 519.6:004

АВТОМАТИЗАЦИЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ВУЗЕ

В. А. ШИРОЧЕНКО, Р. В. КОЛЕСНЕВ, Е. Д. МАСАНИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Организация и проведение образовательного процесса требует целенаправленных совместных усилий руководящих структур вуза, профессорско-преподавательского состава и обслуживающего персонала. От того насколько адекватно и динамично вуз реагирует на запрос специалистов со стороны производства зависит в значительной степени развитие промышленного потенциала региона, для которого ведется подготовка кадров. С другой стороны, от своевременности и качества открываемых специальностей зависит спрос на специалистов и, следовательно, на экономические показатели вуза.

Основным документом, регламентирующим образовательный процесс, является учебный план специальности, который разрабатывается в вузе на основе соответствующего образовательного стандарта. Для его разработки целесообразно применять современный математический аппарат с использованием информационных технологий. Необходимость такого подхода очевидна, т. к. их применение позволило бы вузам более оперативно и качественно создавать собственные учебные планы и повысить обоснованность их параметров.

На следующем этапе осуществляется подготовка учебно-методической документации, необходимой для проведения образовательного процесса. Автоматизация такой работы сегодня в полном объеме видится весьма затруднительной. Однако в силу наличия в учебном плане множества дисциплин, дополняющих и развивающих знания в однотипных областях знаний, и участия в создании учебных программ большого количества специалистов целесообразно обеспечить их согласованную работу. Это возможно на основе создания многопользовательской среды разработки, которая обеспечивала бы совместную работу специалистов над единым проектом с централизованным управлением. Такой подход обеспечит возможность объединения специалистов в единую команду, повысит уровень управления проектом и обеспечит оперативность и более высокое качество создаваемой документации.

После разработки и утверждения всей необходимой учебно-методической документации приступают к реализации образовательной программы. Рассчитывается объем учебной нагрузки, осуществляется ее распределение между

преподавателями, формируется информация к составлению расписания занятий и разрабатывается расписание занятий для всего вуза. Данная работа носит хорошо формализованный характер и может быть в значительном объеме автоматизирована. Следует только отметить, что работу по расчету нагрузки профессорско-преподавательского состава целесообразно осуществлять из методического центра на основе единых подходов с учетом специфики работы различных кафедр. Работа же по распределению нагрузки между преподавателями должна выполняться непосредственно на кафедре с использованием специального программного обеспечения.

В ходе проведения образовательного процесса преподаватель ежемесячно предоставляет отчет о количестве проведенных занятий различного вида и других учебных мероприятий в соответствии с запланированной ему учебной нагрузкой заведующим кафедрой. Для этих целей используется индивидуальный план преподавателя, который он ведет в течение учебного года. Его заполнение осуществляется на основе специального преподавательского журнала, в котором предусмотрено формирование по каждой учебной дисциплине контрольной информации на основе списков студентов соответствующих учебных групп.

Контроль процесса проведения учебных занятий и отслеживание его результативности целесообразно автоматизировать с помощью специального программного обеспечения. Такую программу целесообразно строить на основе веб-технологий для функционирования на смартфоне или планшете преподавателя. С ее помощью по информации о закрепленных за преподавателем дисциплинах и с использованием вузовского расписания занятий должно быть построено индивидуальное расписание преподавателя и определен круг студентов, с которыми он должен работать на занятиях.

Интерфейс программы по своему виду может соответствовать рабочему журналу преподавателя, иметь несколько страниц, соответствующих закрепленным за ним видам занятий, иметь возможность регистрировать присутствие студентов на занятиях и результативность их обучения на каждом завершенном этапе. Вся занесенная информация должна храниться на сервере, на ее основе должен формироваться отчет преподавателя о выполнении им ежемесячной нагрузки и подводиться семестровые и годовые итоги. На основе информации о результатах выполнения учебного плана деканаты могут осуществлять допуск студентов к итоговым испытаниям и формировать соответствующие ведомости.

Выполненный анализ может быть использован при создании стратегии цифровизации образовательного процесса в вузе, на основе которой необходимо создавать соответствующую программную систему. На сегодняшний день некоторые из необходимых модулей такой системы созданы и проходят апробацию, а другие находятся на стадии разработки и макетного моделирования.

УДК 004.04

МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКАЯ СИСТЕМА ПОСТРОЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

А. И. ЯКИМОВ, Д. В. СИТА, В. А. АНДРЮЩЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Разработка многопользовательской системы имитации является последующим шагом развития программно-технологического комплекса имитационного моделирования производственных систем BelSim после его многолетнего опыта эксплуатации. Перед тем как начать проектирование любой системы, необходимо собрать и проанализировать требования к ней. В результате были составлены следующие требования.

1. Система, с точки зрения пользователя, должна представлять собой веб-приложение, что снимает ограничения по требуемой операционной системе и необходимость разворачивания на каждом отдельном рабочем месте. Для работы пользователю должны быть необходимы только одна из последних версий браузера и интернет-соединение.

2. Система должна быть многопользовательской в рамках одного предприятия, т. е. внутри одного предприятия несколько пользователей должны иметь возможность работать с общими данными, запускать эксперименты и видеть результаты работы друг друга.

3. Система должна быть сервисом, который развернут и настроен централизованно и предоставляется различным предприятиям. Соответственно, каждому отдельному предприятию не требуется разворачивать у себя систему – ему достаточно получить права доступа к развернутому в интернете приложению от владельца системы.

4. Должно существовать разграничение прав доступа между предприятиями: пользователи, относящиеся к разным предприятиям, не должны иметь какой-либо доступ к данным пользователей соседних предприятий, но должны быть способны видеть данные других пользователей внутри своего предприятия.

5. Система должна реализовывать функции администрирования для владельца системы, позволяющие создавать и управлять пользовательскими профилями различных предприятий.

6. Система должна базироваться на максимально открытых технологиях для снижения стоимости ее разворачивания.

7. Так как вычислительный модуль является самым затратным по компьютерным ресурсам, должна быть возможность масштабировать этот модуль, т. е. запускать его одновременно на нескольких компьютерах при наличии одного централизованного сервера.

8. Редактор входных параметров модели должен объединять эти параметры в логические группы (например, параметры, относящиеся к производству, запасам, реализации).

9. Результаты анализа параметров производства должны быть представлены через графическое представление.

10. Система должна поддерживать расширение через доработку путем использования других типов вычислительных модулей.

Для соответствия требованиям, установленным в ходе анализа, система с точки зрения развертывания была разбита на четыре компонента, представленных на рис. 1.

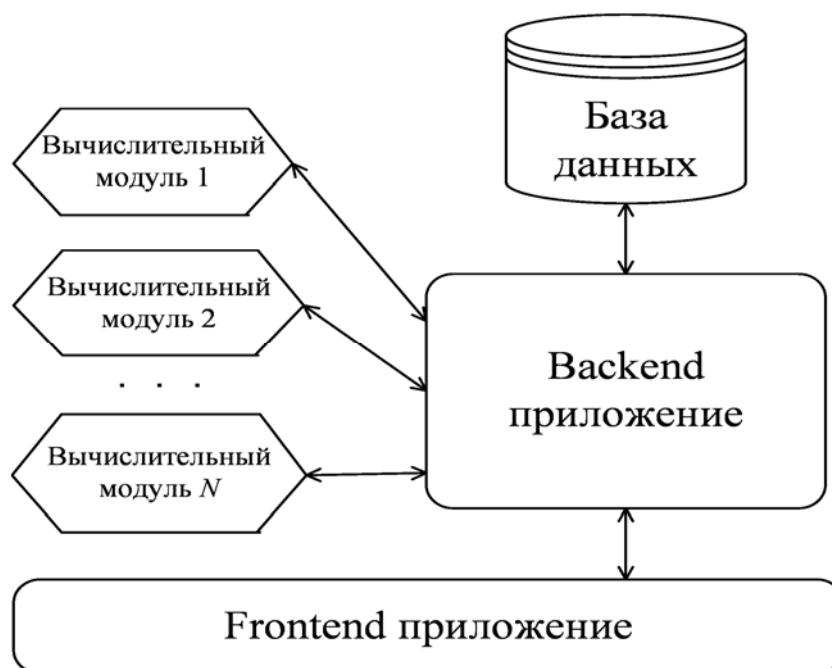


Рис. 1. Схема развертывания многопользовательской системы

Первым компонентом является Frontend-приложение – та часть, с которой непосредственно взаимодействует пользователь в браузере. Этот компонент представляет собой SPA-приложение (Single Page Application), разработанное на следующем стеке технологий:

- 1) ReactJS – JavaScript-фреймворк для создания веб-приложений;
- 2) React Bootstrap – набор UI-компонентов;
- 3) MobX – библиотека управления состоянием приложения;
- 4) TypeScript – язык программирования, добавляющий строгую типизацию и расширяющий JavaScript.

Приложение написано с использованием компонентного подхода, что уменьшает сложность разработки и последующей доработки, а также расширения за счет изоляции связанных групп кода, выполняющих общую функциональность в пределах контекста. Эти компоненты в дальнейшем можно переиспользовать для добавления новых входных параметров модели.

УДК 004.04

ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

А. И. ЯКИМОВ, Л. А. ТИМАШКОВА, Е. Н. МЕЛЬНИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Концепция цифровой экономики предъявляет повышенные требования к подготовке специалистов по информационным технологиям. Это в свою очередь предполагает активное применение инновационных подходов в образовательном процессе.

При осуществлении инновационной деятельности в системе предлагается рассматривать процессы управления на трёх уровнях принятия решений: стратегическом, тактическом и оперативном [1]. В общем случае решения, принятые на стратегическом уровне, носят долгосрочный характер и определяют пути развития проектной деятельности образовательной организации. На стратегическом уровне происходит утверждение и планирование портфеля инновационных проектов, основанных на аналитических данных, разрабатываются приоритеты проектной деятельности. На тактическом уровне принимаются решения о том, как достичь цели, поставленной на стратегическом уровне, какие инструменты необходимо использовать, и какие ресурсы привлечь в среднесрочной перспективе. Решения, принятые на оперативном уровне, носят краткосрочный, ежедневный характер исполнения различных задач.

В ведущих зарубежных вузах предлагаются инновационные подходы к системе образования. Например, в Чехии при поступлении в государственные вузы на многие популярные специальности абитуриенты не сдают экзамены по школьной программе. Вместо традиционных экзаменов по предметам выполняется тест OSP на общие предпосылки к обучению. Тест состоит из четырех частей – вербальной, логической, аргументационной и количественной. При этом на выполнение заданий каждой части отведено строго определенное время. Нужно сразу же записывать ответы, т. к. по истечении времени, отведенного на выполнение одной части, выполняется переход к следующей части и вернуться к заданиям первой части уже нельзя.

Отдельно следует отметить, что тест OSP – сравнительный. То есть результат теста – это не баллы за правильные ответы, а так называемый процентиль, который рассчитывают отдельно для каждой части теста, а потом выводится среднее арифметическое. Например, процентиль 96 означает, что только 4 % от числа всех абитуриентов, сдававших тест, имеют такой же результат, или лучше, а 96 % имеют худший результат.

Известен способ автоматизированного обучения с использованием программного и аппаратного комплексов, предусматривающий предварительную оценку

уровня подготовки обучающихся и предварительное формирование для них образовательной программы в зависимости от уровня подготовки, после чего формируют учебный план, включающий пакет заданий и информационных материалов по решению поставленных задач [2].

Способ обучения в образовательной системе с разделением учащихся на уровни исследован на имитационных моделях (рис. 1).

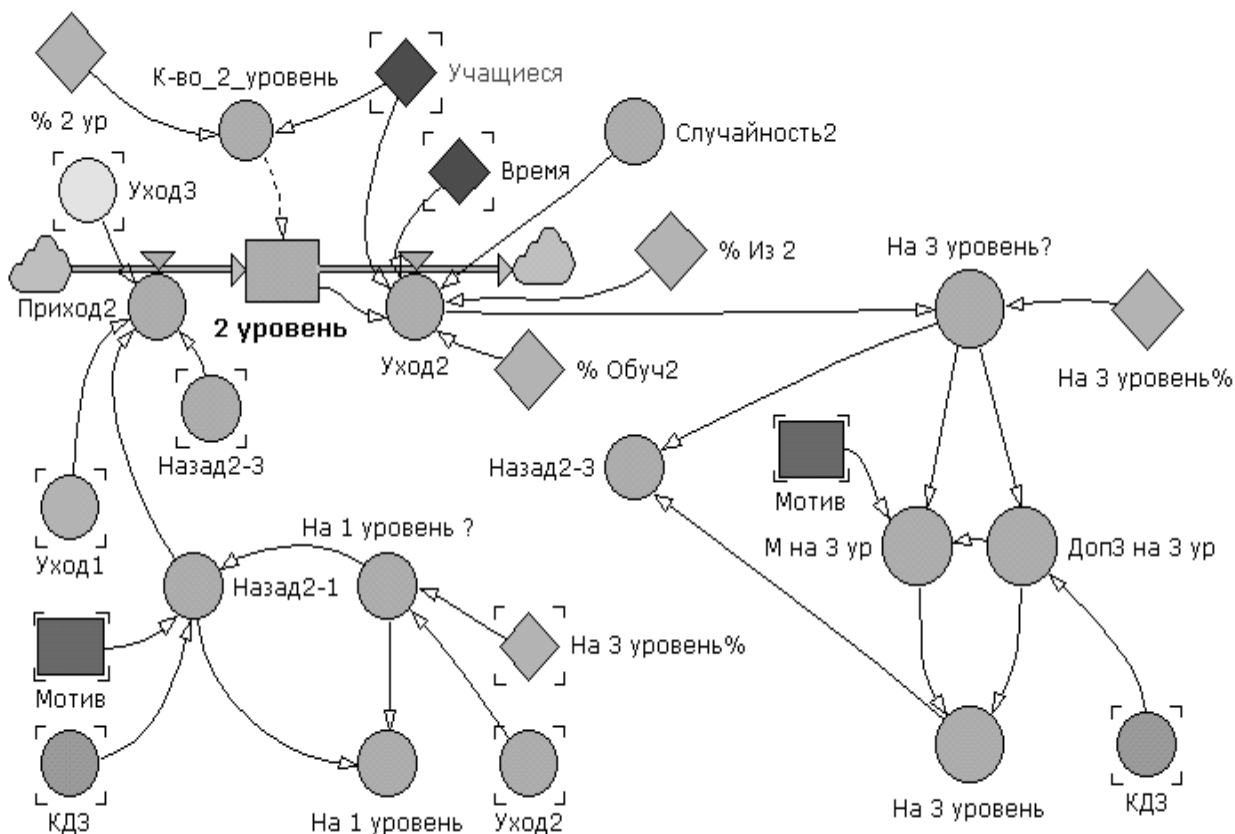


Рис. 1. Фрагмент имитационной модели многоуровневого обучения

По результатам моделирования входное тестирование учащихся и разделение на уровни показали свою эффективность по сравнению с традиционными формами обучения. Для успешной реализации инновационного способа обучения необходимо системно принимать стратегические, тактические и оперативные решения в образовательном процессе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dubitskaya, E. Analysis of the influence of external environmental factors on the development of high-tech enterprises [Electronic resource] / E. Dubitskaya, O. Tcukanova // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Mode of access: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201817001027>.

2. Способ автоматизированного обучения: заявка RU 2018118783 / Л. Г. Гребельская, Г. М. Луппа. – Оpubл. 22.11.2019.

УДК 004

АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

В. А. ЛИВИНСКАЯ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Интеллектуальный анализ данных предполагает извлечение знаний из информации, хранящейся в структурированном виде. Однако получить доступ к такому представлению информации не всегда представляется возможным. Основной целью исследования явилась автоматизация сбора информации о вакансиях в IT-области, размещенной на сайте jobs.dev.by.

Для получения всего массива вакансий с целью выявления наиболее востребованных компетенций, уровня предлагаемой заработной платы в аналогичных позициях в разных компаниях возможно либо ручное переписывание данных с веб-страницы, либо разработка программы (так называемого парсера) для автоматизации данного процесса.

На сайте jobs.dev.by отсутствуют официальный открытый API, возможность организации XHR-запросов, а также JSON-а в конце HTML-файла. Поэтому единственным доступным способом получения информации явилось написание парсера этого HTML-кода.

Для осуществления этого процесса был использован свободно распространяемый язык программирования Python, т. к. он предоставляет огромное количество открытых библиотек, в том числе и для парсинга. В качестве фреймворка был выбран Scrapy. С помощью данного приложения был извлечен и структурирован массив данных, представленный в виде датасета со следующими полями:

- название компании;
- название вакансии;
- количество вакансий компании на текущий момент;
- специализация, уровень и все остальные ключевые моменты, описанные в блоке информации;
- основные тэги, находящиеся под блоком информации;
- информация о компании;
- информация о рекрутере данной вакансии.

Непосредственное извлечение знаний из этого массива осуществлялось с помощью библиотек языка анализа данных R, позволяющих анализировать как количественные, так и качественные признаки единиц совокупности и визуализировать результаты анализа.

УДК 004.7:61

РЕЧЕВОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ МЕДИЦИНСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Е. Д. МАСАНИН, Н. В. ВЫГОВСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Ввод лечебно-диагностических назначений в комплексных медицинских информационных системах (МИС) требует немалых временных затрат от врачей – пользователей МИС. МИС, используемые в настоящее время в медучреждениях, состоят из модулей. Это позволяет разработчикам систем собрать и настроить МИС в нужной конфигурации для учреждений разного типа и обеспечить необходимый функционал с возможностью дальнейшего добавления и удаления модулей для адаптации систем к конкретным условиям использования и удобства эксплуатации. В существующих системах, которые используются в Могилевской области, применяется только ручной ввод информации о пациентах, что создает проблемы для медработников.

Не нарушая структуры и целостности существующих систем МИС, предлагается для сокращения времени ввода информации о пациенте дополнить систему новым функциональным компонентом речевого ввода, например, в режиме ведения амбулаторной карты или иной информации. В этом случае в информационной системе появляется новая ветвь, в соответствии с которой врач выбирает либо ручной ввод данных (традиционный) либо речевой по разработанному нами алгоритму. При этом будут использоваться те же самые формы, которые использовались при ручном вводе.

Структура медицинской информационной системы состоит из отдельных компонент, связанных между собой, которые можно объединить в несколько больших групп. Одной из групп являются «Медицинские компоненты». Это модули, связанные с регистрацией пациентов, ведением реестра электронных медицинских карт, учётом больничных листов, ведением протоколов лечения и многое др.

Для распознавания голоса в новом компоненте речевого ввода используется Web Speech API, который является интерфейсом контроллера для сервиса распознавания голоса, предоставляемого браузером Google Chrome. Для удобной работы с Web Speech API разработан класс Recognition на языке TypeScript.

Процесс разработки речевого компонента начинаем с того, что запишем Web Speech API в новую константу MySpeechRecognition, т. к. доступ к нему может быть осуществлён одним из двух способов в зависимости от доступности в браузере:

```
export const MySpeechRecognition =
window.SpeechRecognition || window.webkitSpeechRecognition
```

Далее создаем класс `Recognition` и объявляем три приватных поля: `isRecognize` – флаг для определения состояния распознавания голоса; `sentences` – для хранения распознанного текста в виде предложений; `recognition` – для хранения экземпляра `MySpeechRecognition`.

```
class Recognition {
  private isRecognize = false
  private sentences: string[] = []
  private recognition = new MySpeechRecognition()
```

В конструктор передаём три параметра: язык распознавания, тип распознавания (во время разговора или при остановке) и функцию `callback`, которая будет принимать распознанный текст.

```
constructor(
  lang: Lang,
  recognizeType,
  private listener: (text: string) => void
)
```

В теле конструктора конфигурируем объект `recognition`. На следующем этапе создаём функцию `onresult`, которая будет вызываться, когда будет распознана речь. Из объекта события `event`, которое возникает в момент распознавания речи, получаем распознанный текст и добавляем его в массив `sentences`, а затем передаём слушателю распознанный текст путём вызова функции `callback` с параметром `sentences`. Создаём функцию `onend` и в её теле вызываем метод `start` у объекта `recognize`, если флаг `isRecognize` равен `true`. Это делается для того, чтобы мы сами могли контролировать процесс распознавания речи. Также реализованы два метода `startRecognition` для начала записи и `stopRecognition` для остановки распознавания.

Разработанный новый компонент МИС позволит сократить затраты времени медперсонала на ведение и заполнение медицинских документов, связанных с пациентами, что в итоге даст возможность увеличить число обслуживаемых пациентов.

УДК 004.891

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОНЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ ПРИ КАЛЕНДАРНОМ ПЛАНИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА

А. Е. МИСНИК, С. К. КРУТОЛЕВИЧ, С. А. ПРОКОПЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Использование нейронечетких сетей Петри при календарном планировании производства позволяет улучшить качество планирования по сравнению с традиционными методами, например диаграммами Ганта [1]. Использование сетей Петри обусловлено возросшей инвариантностью технологических процессов производства. Типичным является случай, когда предприятие имеет выбор заказать изделия от внешних поставщиков или организовать собственное производство по нескольким технологическим процессам.

Производство изделий можно представить как множество технологических операций. В свою очередь технологическая операция требует наличия достаточного количества ресурсов. Ведь любой из видов ресурсов выступает в качестве ограничения при планировании. Количество необходимых для проведения операций ресурсов может изменяться в зависимости от конкретных условий производства.

В качестве примера рассмотрим модуль календарного планирования, реализованный на СООО «Дозатор-плюс».

Выпускаемая продукция состоит из набора изделий (деталей). Производство каждого изделия характеризуется набором технологических операций. Каждая операция фиксирует затраты ресурсов на ее проведение.

План представляет собой множество изделий в виде

$$P_1 = \{n_1 O_1, \dots, n_i O_i, \dots, n_k O_k\},$$

где O_i – изделие i -го вида; n_i – количество изделий вида O_i .

Для оценки построенного плана на каждой итерации используется функция

$$F = v_s / S + v_t \cdot T + G(D_0, D_k) \rightarrow \min,$$

где T – время для реализации плана P_1 ; S – затраты на реализацию плана в денежном выражении; $G(D_0, D_k)$ – неотрицательная штрафная функция, имеющая значения, если дата окончания плана D_k больше даты отгрузки продукции по контракту D_0 ; v – весовые коэффициенты, определяемые эмпирическим путем.

В рассматриваемой модели не учитывались ресурсы на транспортные операции и ресурсы площади для хранения запасов в производстве.

Для практической реализации календарного планирования разработан программный модуль. Его вид представлен на рис. 1.

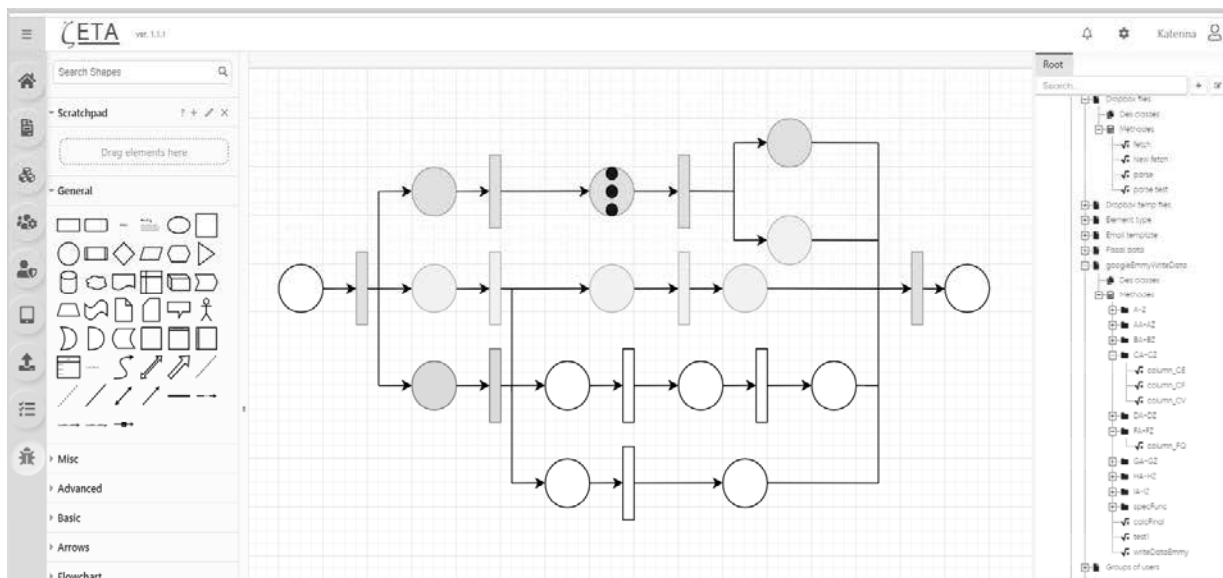


Рис. 1. Пример реализации календарного планирования

В результате моделирования для каждого вида изделия формируется ежедневный план производства с указанием рационального производственного процесса.

Пример формирования календарного плана представлен на рис. 2.

№	Код по КД	выполнение плана
134	Д00.02.01.015 (М22х1,5-6Н) Корпус	34
135	Д00.02.00.072А Кардан	68
136	Д00.02.00.070 Крышка верхняя	68
137	Д00.02.00.050 Клапан	68

Рис. 2. Окно формирования календарного плана производства

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Modeling of Industrial and Technological Processes in Complex Systems Based on NeuroFuzzy Petri Nets / A. V. Bobryakov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Automatics and Energy (ICAE 2021), Vladivostok, 7–8 October 2021. – Vladivostok, 2021. – Vol. 2096.

УДК 004.942

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ДОРОЖНОГО ПЕРЕКРЕСТКА

А. Е. МИСНИК, С. А. ПРОКОПЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

За последние полвека выросло количество автомобильного транспорта на дорогах. Выросло количество дорог, пересечений, развязок, перекрестков. Современная организация дорожного движения уже не представляется без использования светофоров при регулировании автомобильных и пешеходных потоков. Правильно настроенная работа перекрестка (конфигурация полос перекрестка, режим работы светофора и т. д.) позволяет снизить количество вредных выбросов от автомобилей, увеличить скорость транспортного потока, уменьшить время ожидания трафика и т. д.

Существует множество способов настройки работы светофора в зависимости от конфигурации и пропускной способности перекрестка.

1. Ручное прописывание режимов работы светофора. В конфигурации светофора прописывается режим смены его сигналов. Преимуществами данного подхода является простота настройки, отсутствие дополнительного продолжительного исследования трафика. Недостатками данного подхода является возможность создания пробок, низкая пропускная способность перекрестка. Данный подход хорошо себя зарекомендовал на перекрестках с малым движением, где отсутствует временная составляющая в трафике.

2. Ручное прописывание режимов работы светофора в зависимости от времени суток. В конфигурации светофора прописывается режим смены сигналов в зависимости от времени суток (к примеру, в утренний час пик отдается предпочтение трафику из спального района). К преимуществам данного подхода можно отнести высокую эффективность работы на небольших перекрестках, когда трафик имеет временную составляющую. К недостаткам данного режима можно отнести необходимость долгосрочных исследований режима работы трафика, сложность настройки на высоконагруженных перекрестках. Данный подход хорошо себя зарекомендовал на перекрестках, где присутствует временная составляющая в трафике.

3. Нейросетевой подход режима работы светофора. Блок управления в режиме «реального времени» получает данные о пропускной способности и заложенными алгоритмами подбирает максимальные значения, чтобы в сумме со всех сторон в комфортном режиме за единицу времени проезжало как можно больше транспортных средств. К преимуществам данного подхода можно

отнести возможность организации высокопропускного перекрестка. К недостаткам можно отнести необходимость дополнительного оборудования для организации работы светофора (камеры, датчики, компьютер для обработки и т. д.). Данный подход показывает высокую эффективность на перекрестках с переменным движением, на дорогах-дублёрах и т. д.

На пропускную способность перекрестка влияет не только режим работы светофора, но и конфигурация полос перекрестка. Правильно сконфигурированные полосы перекрестка повышают не только трафик, проходящий через него, но и безопасность перекрестка.

Очень часто наиболее оптимальную конфигурацию перекрестка устанавливают экспериментальным путем, используя шаблонные решения. Эксперимент проходит длительное время и зачастую показывает плохой результат, т. к. со временем меняются параметры перекрестка (увеличивается количество трафика, появляются новые развязки). Экспериментальный подход не обеспечивает нормальной пропускной способности перекрестка, вызывает недовольство граждан, не обеспечивает низкую аварийность перекрестка.

Существуют подходы, которые используют информацию с ближайших видеокамер и датчиков и позволяют менять конфигурацию перекрестка. Такой подход позволяет повысить пропускную способность перекрестка. У данного подхода имеются и недостатки, связанные с постоянно меняющейся конфигурацией перекрестка:

- постоянная поддержка в рабочем состоянии инфраструктуры перекрестка (необходимо постоянно следить за работоспособностью камер, датчиков, электронных знаков, светофоров и т. д.);
- необходимость постоянного обновления навигационных карт;
- неудобство для местных жителей;
- высокая аварийность в первое время после смены конфигурации перекрестка.

Нейросетевые технологии успешно применяются в медицине, в образовательных процессах, в организации дорожной конфигурации, в производственной диагностике и в других сферах.

Нейросетевые технологии позволяют, используя ранее накопленный опыт в организации работы перекрестка, подобрать наиболее оптимальную конфигурацию в короткий промежуток времени.

Разрабатываемое программное обеспечение позволит спроектировать и смоделировать работу перекрестка в зависимости от типа и количества трафика, подобрать наиболее оптимальную конфигурацию перекрестка, наиболее оптимальные режимы работы светофора в зависимости от времени и загруженности перекрестка (анализируя данные с датчиков и уличной сети видеокамер).

УДК 004.942

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПЛАНИРОВАНИИ

А. Е. МИСНИК, С. А. ПРОКОПЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В последние годы более активно развиваются небольшие производственные предприятия. Для данных предприятий характерно не только сотрудничество с большими производствами, но и производство персонализированной продукции для физических лиц небольшими партиями. Эффективность работы данных производств во многом зависит от правильно спроектированных информационно-аналитических и производственно-технических процессов.

С каждым годом происходит ужесточение не только экологических норм, но и требований к качеству производимой продукции. Для того чтобы быть конкурентоспособной, производимая продукция должна доставляться точно в срок, без задержек, соответствовать требованиям заказчика и обладать по возможности низкой себестоимостью.

Одна из основных задач производства – максимально эффективное использование производственных, кадровых и финансовых ресурсов. Современные технологии позволяют использовать одно и то же оборудование и сырье для производства различных типов продукции. Это позволяет быстро переориентировать процесс производства, снизить затраты на производство, снизить простои оборудования и персонала.

Производственное планирование – это процесс формирования конкретных производственных задач для структурных подразделений предприятия с указанием технологий, методов и средств их достижения, а также ресурсов, выделяемых на их решение, определяющий рациональную последовательность действий по производству и реализации продукции. Производственный план учитывает стандарты деятельности, установленные на мировом, федеральном, отраслевом уровне и уровне предприятия.

Исходными данными для процесса производственного планирования являются:

- описание технологического процесса;
- требования к организации производственного процесса;
- программа производства продукции;
- состав необходимого оборудования;
- потребности в сырье, материалах и комплектующих;

- трудовые ресурсы и квалификация работников;
- условия работы с поставщиками;
- контроль качества продукции;
- себестоимость производимой продукции.

План – это документ, который должен учитывать ограниченность производственных мощностей и ресурсов, особенности производства серийной и единичной продукции. В современном цифровом мире план производства – это инструмент, который позволяет принимать управленческие решения, основанные на достоверной оперативной информации о ситуации в производстве.

Производство характеризуется совокупностью всех доступных ресурсов, всех производимых сложных технических объектов и всех производственных процессов.

При построении плана можно выделить следующие основные стратегии:

- минимизация всех потраченных ресурсов;
- загрузка мощностей производства;
- получение максимальной прибыли.

Производственные действия могут выполняться как последовательно, так и параллельно. Для сложных систем, в которых протекают информационно-аналитические и производственно-технологические процессы, необходим простой формальный анализ, позволяющий использовать графическую поддержку (сети Петри), а также возможность имитационного моделирования.

Модели сетей Петри позволяют исследовать работоспособность моделируемых процессов, оптимальность структуры, эффективность функционирования процесса, а также возможность достижения в процессе определенных состояний [1].

Разработано специализированное программное обеспечение, в рамках которого возможно моделирование производственно-технологических и реализация информационно-аналитических процессов производства, построение, корректировка и отслеживание плана производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Modeling of Industrial and Technological Processes in Complex Systems Based on NeuroFuzzy Petri Nets / A. V. Bobryakov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Automatics and Energy (ICAE 2021), Vladivostok, 7–8 October 2021. – Vladivostok, 2021. – Vol. 2096.

УДК 621.9

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КУРСОВОГО ДВИЖЕНИЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Э. И. ЯСЮКОВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Интеллектуальная транспортная система (ИТС) представляет собой единое информационное пространство, объединяющее автомобили, дорожное оборудование, диспетчерские службы и центры организации дорожного движения (ЦОД) на территории всей страны [1–3]. В дорожном движении участвуют легковые автомобили с прицепами и без прицепов, а также одноосные и многоосные грузовые автомобили.

ИТС позволяет контролировать безопасность и мобильность дорожного движения и поэтому требует сбора информации о потоках автомобилей на всех транспортных магистралях. Организация сбора указанной информации требует значительных затрат, поэтому для повышения эффективности работы ИТС необходимы специальные исследования процессов управляемого курсового движения колесных транспортных средств по транспортным магистралям [4].

В настоящей работе предлагается методика управляемого курсового движения легковых автомобилей, которая содержит имитационную математическую модель и программное обеспечение.

Имитационная математическая модель состоит из динамических уравнений и уравнений кинематических связей колес автомобиля с опорной поверхностью со случайным микро- и макропрофилем [5].

Динамические уравнения представляют собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих вертикальную динамику, курсовое движение и процессы взаимодействия движителей автомобиля с опорной поверхностью дороги.

Для вывода динамических уравнений использовалась математическая схема Лагранжа второго рода, а процессов взаимодействия движителей с опорной поверхностью – теория Келдыша.

Разработанная математическая модель автомобиля содержит десять дифференциальных уравнений второго порядка и четыре дифференциальных уравнения первого порядка, описывающих кинематические связи его колес с дорожной поверхностью.

В качестве независимых координат, для которых получены дифференциальные уравнения движения, были выбраны линейные перемещения центра масс автомобиля по продольной OX , поперечной OY и вертикальной OZ осям; вертикальные перемещения центров масс колес по вертикальным осям; угол

поворота остова автомобиля вокруг проходящей через его центр масс вертикальной оси (курсовой угол); угловые перемещения поддрессоренной массы автомобиля вокруг продольной и поперечной осей. Уравнения кинематических связей колес автомобиля с опорной поверхностью содержат изменяющиеся во времени скорости углов увода шин его колес.

Дифференциальные уравнения математической модели содержат такие параметры, как массогеометрические и инерционные характеристики, моменты инерции автомобиля относительно его продольной, поперечной и вертикальной осей, расстояние от центра масс автомобиля до центров его переднего моста и задней оси; половины ширины переднего моста и задней оси, упругодиссипативные параметры, а также массовые и упругодиссипативные параметры колес.

Для имитационного моделирования курсового движения автомобиля по реальным дорогам разработана подсистема моделирования микро- и макропрофиля, параметры которого в виде высот неровностей формируются в специальном файле. Разработанная методика позволяет также использовать параметры профилей реальных дорог, неровности которых содержатся в специальном массиве вертикальных отметок, полученных с интервалом не более 0,25 м.

На основе полученной математической модели разработано программное обеспечение имитационного моделирования курсового управляемого движения легкового автомобиля по различным категориям дорог.

Для проверки работоспособности разработанной математической модели и программного обеспечения были проведены необходимые расчетные исследования.

Разработанная методика позволяет выполнять имитационное моделирование управляемого курсового движения легкового автомобиля по любым трассам с учетом реального микро- и макропрофиля и может быть использована для интеллектуальной транспортной системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Евстигнеев, И. А.** Интеллектуальные транспортные системы на автомобильных дорогах федерального значения России / И. А. Евстигнеев. – Москва : Перо, 2015. – 132 с.
2. **Жанказиев, С. В.** Интеллектуальные транспортные системы: учебное пособие / С. В. Жанказиев. – Москва: МАДИ, 2016. – 120 с.
3. **Жилейкин, М. М.** Теоретические основы повышения показателей устойчивости и управляемости колесных машин на базе методов нечеткой логики / М. М. Жилейкин. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 238 с.: ил.
4. **Ясюкович, Э. И.** Имитационное моделирование вертикальной динамики и курсового движения легкового автомобиля / Э. И. Ясюкович // Весн. Магілёўскага дзярж. ун-та імя А. А. Куляшова. Сер. В. Прыродазнаўчыя навукі (матэматыка, фізіка, біялогія). – 2020. – № 1 (55). – С. 35–43.
5. **Левин, М. А.** Теория качения деформируемого колеса / М. А. Левин, Н. А. Фуфаев. – Москва: Наука, 1989. – 269 с.

УДК 517.927.6

ЛЕВОСТОРОННЯЯ РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ МНОГОТОЧЕЧНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОБОБЩЕННОГО МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ ЛЯПУНОВА

А. Н. БОНДАРЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Рассматривается краевая задача типа [1]

$$\frac{dX}{dt} = A(t)X + A_1(t)XA_2(t) + B_1(t)XB_2(t) + C_1(t)XC_2(t) + F(t), \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^k M_i X(t_i) = 0, \quad 0 = t_1 < t_2 < \dots < t_k = \omega, \quad (2)$$

где $X \in \mathbb{R}^{n \times m}$, A , A_j , B_j , C_j ($j=1,2$), F – матрицы-функции класса $\mathcal{C}[0, \omega]$ соответствующих размерностей, M_i – заданные постоянные $(n \times n)$ -матрицы, $\omega > 0$.

В данной работе, являющейся продолжением и развитием [1, 2], с помощью метода [3, гл. 1] получены конструктивные достаточные условия однозначной разрешимости задачи (1), (2) и дан итерационный алгоритм классического типа построения решения.

Приняты следующие обозначения:

$$H = \sum_{i=1}^k M_i U_i, \quad U_i = U(t_i), \quad \alpha_j = \max_t \|A_j(t)\|, \quad \beta_j = \max_t \|B_j(t)\|, \quad \sigma_j = \max_t \|C_j(t)\|, \\ h = \max_t \|F(t)\|, \quad \lambda_1 = \max_t \|U(t)\|, \quad \lambda_2 = \max_t \|U^{-1}(t)\|, \quad \gamma = \|H^{-1}\|, \quad m_i = \|M_i\|, \quad u_i = \|U_i\|, \\ q = \gamma \lambda_1 \lambda_2 (\alpha_1 \alpha_2 + \beta_1 \beta_2 + \sigma_1 \sigma_2) \omega \sum_{i=1}^k m_i u_i, \quad N = \gamma \lambda_1 \lambda_2 \omega h \sum_{i=1}^k m_i u_i, \quad \|X\|_C = \max_t \|X(t)\|,$$

где $t \in [0, \omega]$, $i = \overline{1, k}$, $j = 1, 2$, $\|\cdot\|$ – норма матриц в конечномерной банаховой алгебре $\mathfrak{B}(n)$ непрерывных матричнозначных функций, например, любая из норм, приведенных в [4, с. 21], $U(t)$ – фундаментальная матрица уравнения $dU/dt = A(t)U$.

Теорема. Пусть выполнены условия $\det H \neq 0$ и $q < 1$. 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

$$\|X\|_C \leq N/(1 - q). \quad (3)$$

Задача (1), (2) сведена к эквивалентной интегральной задаче

$$X(t) = U(t)H^{-1} \sum_{i=1}^k M_i U_i \int_{t_i}^t U^{-1}(\tau) [A_1(\tau)X(\tau)A_2(\tau) + B_1(\tau)X(\tau)B_2(\tau) + \\ + C_1(\tau)X(\tau)C_2(\tau) + F(\tau)] d\tau, \quad (4)$$

однозначная разрешимость которой установлена с помощью принципа сжимающих отображений Каччопполи – Банаха (см., например, [5, с. 605]).

Для построения решения уравнения (4) используется алгоритм с вычислительной схемой классического метода последовательных приближений [5, с. 605]

$$X_p(t) = U(t)H^{-1} \sum_{i=1}^k M_i U_i \int_{t_i}^t U^{-1}(\tau) [A_1(\tau)X_{p-1}(\tau)A_2(\tau) + B_1(\tau)X_{p-1}(\tau)B_2(\tau) + C_1(\tau)X_{p-1}(\tau)C_2(\tau) + F(\tau)] d\tau, \quad p = 1, 2, \dots \quad (5)$$

В качестве начального приближения принята произвольная матрица $X_0(t) \in \mathbb{C}[0, \omega]$. Очевидно, алгоритм (5) определяет последовательность $\{X_p(t)\}_0^\infty \subset \mathbb{C}[0, \omega]$, при этом $\{X_p(t)\}_1^\infty \subset \mathbb{C}^1[0, \omega]$. Установлено, что функции $X_1(t), X_2(t), \dots$ удовлетворяют краевому условию (2).

В рамках принципа сжимающих отображений доказана равномерная по $t \in [0, \omega]$ сходимость этой последовательности, при этом получены оценки

$$\|X - X_r\|_C \leq \frac{q^r}{1-q} \|X_1 - X_0\|_C, \quad r = 0, 1, 2, \dots; \\ \|X\|_C \leq \|X_0\|_C + \frac{\|X_1 - X_0\|_C}{1-q}, \quad (6)$$

где $\|X_1 - X_0\|_C = \|\mathcal{L}(X_0) - X_0\|_C$.

При $X_0 \equiv 0$ имеем $\|X_1 - X_0\|_C = \|X_1\|_C = \|\mathcal{L}(0)\|_C$. Поскольку

$$\|\mathcal{L}(0)\| = \left\| U(t)H^{-1} \sum_{i=1}^k M_i U_i \int_{t_i}^t U^{-1}(\tau) F(\tau) d\tau \right\| \leq \\ \leq \|U(t)\| \|H^{-1}\| \sum_{i=1}^k \|M_i\| \|U_i\| \int_0^\omega \|U^{-1}(\tau) F(\tau) d\tau\| \leq \gamma \lambda_1 \lambda_2 \omega h \sum_{i=1}^k m_i u_i = N,$$

то из (6) следует оценка (3).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бондарев, А. Н.** Многоточечная краевая задача для уравнения Ляпунова в случае сильного вырождения краевых условий / А. Н. Бондарев, В. Н. Лаптинский // Дифференциальные уравнения. – 2011. – Т. 47, № 6. – С. 776–784.
2. **Бондарев, А. Н.** Многоточечная краевая задача для уравнения Ляпунова в случае слабого вырождения краевых условий / А. Н. Бондарев, В. Н. Лаптинский // Дифференциальные уравнения. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 423–427.
3. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск : ИМ НАН Беларуси, 1998. – 300 с.
4. **Демидович, Б. П.** Лекции по математической теории устойчивости / Б. П. Демидович. – Москва : Наука, 1967. – 472 с.
5. **Канторович, Л. В.** Функциональный анализ / Л. В. Канторович, Г. П. Акилов. – Москва : Наука, 1977. – 744 с.

УДК 622.788.36 : 662.8.05.011 (043.2)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕГО РЕТУРА НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ ГРАНУЛ В БАРАБАННОМ ГРАНУЛЯТОРЕ

Н. А. ВЫСОЦКАЯ

ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения

с Опытным производством»

Солигорск, Беларусь

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

Во многих отраслях промышленности, в том числе в сельском хозяйстве, широкое применение получили гранулированные материалы [1, 2]. Получение высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур часто возможно при создании оптимальной системы питания растений, и прежде всего за счет применения удобрений [3]. В настоящее время в химической промышленности получили широкое распространение процессы гранулирования тонкодисперсных порошков.

Гранулирование методом окатывания состоит из четырех этапов:

- 1) смешение исходного порошка с частицами ретур и связующим;
- 2) гранулообразование из мелких частиц и дробление комков;
- 3) окатывание и уплотнение гранул;
- 4) упрочнение связей в результате.

Исследования показали, что один из основных недостатков оптимального режима грануляции – колебания расхода и гранулометрического состава внешнего ретур. Эти колебания приводят к изменениям производительности БГС и к нарушениям требований по прочности и влажности.

Объемный расход, влажность и плотность пульпы позволяют оценить весовой расход аммофоса, который формируется из пульпы, поступающей в БГС, определяется по формуле

$$G_{\text{ам}} = F_{\text{пул}} \cdot \frac{\gamma_{\text{пул}}}{1000} \cdot \left(1 - \frac{\omega_{\text{пул}}}{100}\right), \quad (1)$$

где $F_{\text{пул}}$ – расход пульпы в БГС, м³/ч; $\gamma_{\text{пул}}$ – плотность пульпы, кг/м³; $\omega_{\text{пул}}$ – влажность пульпы, кг/м³.

Средний эквивалентный диаметр гранул суммарного потока определяется из выражения

$$d_{\text{рет}} = \frac{d_{\text{внеш}} \cdot G_{\text{рет}}^{\text{внеш}} + d_{\text{внут}} \cdot G_{\text{рет}}^{\text{внут}}}{G_{\text{рет}}^{\text{внеш}} + G_{\text{рет}}^{\text{внут}}}, \quad (2)$$

где $d_{\text{внеш}}$ – средний эквивалентный диаметр внешнего ретур, мм; $d_{\text{внут}}$ – средний эквивалентный диаметр гранул внутреннего ретур, мм; $G_{\text{рет}}^{\text{внут}}$ – весовой расход внутреннего ретур, т/ч; $G_{\text{рет}}^{\text{внеш}}$ – весовой расход внешнего ретур, т/ч.

Для определения объема одной гранулы ретур используется уравнение

$$V_{1.\text{рет}} = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot (d_{\text{рет}})^3. \quad (3)$$

Количество гранул, поступающих за час в БГС потоком ретура, определяется из выражения

$$n_{\text{рет}} = \frac{G_{\text{рет}}}{V_{1.\text{рет}} \cdot \gamma_{\text{ам}}} = \frac{6 \cdot G_{\text{рет}}}{\pi \cdot (d_{\text{рет}})^3 \cdot \gamma_{\text{ам}}}, \quad (4)$$

где $\gamma_{\text{ам}}$ – удельный вес аммофоса, $\gamma_{\text{ам}} \approx 1,8 \text{ т/м}^3$.

На одну гранулу ретура за период однократного прохождения через зону загрузки барабанного гранулятора-сушиллки напыляется в среднем $\Delta G_{1.\text{рет}}$ аммофоса. Этот параметр определяется выражением

$$\Delta G_{1.\text{рет}} = \frac{G_{\text{ам}}}{n_{\text{рет}}} = \frac{\pi \cdot G_{\text{ам}} \cdot (d_{\text{рет}})^3 \cdot \gamma_{\text{ам}}}{6 \cdot G_{\text{рет}}}. \quad (5)$$

Параметр среднего напыления аммофоса $\Delta G_{1.\text{рет}}$ увеличивает объем гранулы на $\Delta V_{1.\text{рет}}$. Это видно из соотношения

$$V_{1.\text{рет}} = \frac{\Delta G_{1.\text{рет}}}{\gamma_{\text{ам}}} = \frac{\pi \cdot G_{\text{ам}} \cdot (d_{\text{рет}})^3}{6 \cdot G_{\text{рет}}}. \quad (6)$$

Процесс гранулирования на первый взгляд кажется простым, но на деле является сложным процессом, включающим в себя исследование и описание явления зародышеобразования, структурное образование каркаса самой гранулы, реологию уплотнения, деформации и т. д. [4].

Показанная математическая модель предназначена для использования в системе стабилизации режима грануляции в барабанном грануляторе-сушиллке, обеспечения необходимого гранулометрического состава готовой продукции путем изменения степени дробления гранул аммофоса и расхода потока внешнего ретура.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Прушак, В. Я.** Разработка новых технических решений по увеличению выпуска гранулированного хлорида калия с применением валковых прессов, изготавливаемых в ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» / В. Я. Прушак, Н. Ю. Кондратчик, Н. А. Высоцкая / Тр. БГТУ. – 2020. – Сер. 2, № 1. – С. 62–67.
2. **Высоцкая, Н. А.** Особенности получения NPK-удобрений методом окатывания / Н. А. Высоцкая, В. С. Францевич // Горная механика и машиностроение. – 2020. – № 4. – С. 79–85.
3. **Леонов, Ф. Н.** Эффективность минеральных удобрений в зависимости от обеспеченности подвижными фосфатами дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Ф. Н. Леонов, Т. Г. Синевич // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1 (58). – С. 109–116.
4. Механизм и математическая модель процесса грануляции порошкообразных материалов в барабанных аппаратах / Г. И. Келбалиев [и др.] // Азербайджанский химический журнал. – 2017. – № 1. – С. 38–43.

УДК 517.988.52

О ПРОВЕРКЕ ПОЛУНЕПРЕРЫВНОСТИ ИЗНУТРИ МНОГОЗНАЧНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ

В. Г. ЗАМУРАЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При исследовании разрешимости ряда задач оптимизации возникает необходимость проверки полунепрерывности изнутри многозначных отображений, ставящих в соответствие элементам некоторого метрического пространства (допустимым управлениям) подпространства гильбертова пространства [1, 2]. На практике такая проверка может быть весьма затруднительна для произвольных элементов подпространств и осуществляется гораздо проще для элементов некоторых линейных множеств, плотных в рассматриваемых подпространствах. Докажем, что проверки полунепрерывности изнутри многозначного отображения для элементов плотных множеств будет достаточно для проверки полунепрерывности изнутри этого отображения.

Рассмотрим метрическое пространство M и вещественное сепарабельное гильбертово пространство H со скалярным произведением (u, v) и нормой $\|u\| = (u, u)^{1/2}$. Каждому элементу $x \in M$ поставим в соответствие некоторое замкнутое подпространство $H(x)$ пространства H . Рассмотрим многозначное отображение $H : M \rightarrow H$, $H : x \mapsto H(x)$.

Отображение H называется [3] полунепрерывным изнутри на множестве M , если из условия $x_n \rightarrow x \in M$ следует, что для произвольного $u \in H(x)$ найдется $u_n \in H(x_n)$ такой, что $u_n \rightarrow u$ сильно в H .

Пусть $D(x)$ – некоторое линейное множество, плотное в $H(x)$.

Утверждение 1. Пусть из условия $x_n \rightarrow x \in M$ следует, что для произвольного $\varphi \in D(x)$ найдется $u_n \in H(x_n)$ такой, что $u_n \rightarrow \varphi$ сильно в H . Тогда из условия $x_n \rightarrow x \in M$ следует, что для произвольного $u \in H(x)$ и для любой окрестности $O(u)$ найдется натуральное число N такое, что пересечение $O(u) \cap H(x_n) \neq \emptyset \quad \forall n \geq N$.

Доказательство. Множество $D(x)$ плотно в пространстве $H(x)$. Следовательно, для любого $u \in H(x)$ найдется последовательность $\varphi_m \in D(x)$, сходящаяся в H к u : $\forall \varepsilon > 0$ существует $M(\varepsilon)$ такое, что $\|\varphi_m - u\| < \frac{\varepsilon}{2} \quad \forall m \geq M$.

В частности, $\|\varphi_M - u\| < \frac{\varepsilon}{2}$. Пусть $x_n \rightarrow x \in M$. По условию для $\varphi_M \in D(x)$

найдется элемент $v_{Mn} \in H(x_n)$ и натуральное N такие, что $\|v_{Mn} - \varphi_M\| < \frac{\varepsilon}{2}$ $\forall n \geq N$. Тогда $\|v_{Mn} - u\| \leq \|v_{Mn} - \varphi_M\| + \|\varphi_M - u\| < \varepsilon$, т. е. при $n \geq N$ элементы $v_{Mn} \in H(x_n)$ содержатся в произвольной ε -окрестности точки $u \in H(x)$.

Утверждение 2. Пусть из условия $x_n \rightarrow x \in M$ следует, что для произвольного $u \in H(x)$ и для любой окрестности $O(u)$ найдется натуральное число N такое, что пересечение $O(u) \cap H(x_n) \neq \emptyset \forall n \geq N$. Тогда существует натуральное число N_{n_0} и последовательность $u_n \in H(x_n)$, $n \geq N_{n_0}$ такие, что $\lim_{n \rightarrow \infty} u_n = u$.

Доказательство. Рассмотрим семейство вложенных окрестностей точки u : $O_{m+1}(u) \subset O_m(u) \forall m \in \mathbb{N}$.

По условию $\forall m \in \mathbb{N}$ найдется N_m такое, что $O_m(u) \cap H(x_n) \neq \emptyset \forall n \geq N_m$. Поскольку окрестности рассматриваемого семейства вложены друг в друга, можно считать, что $N_{m+1} > N_m \forall m \in \mathbb{N}$.

Зафиксируем некоторое натуральное число n_0 и рассмотрим число N_{n_0} . Для каждого $n \geq N_{n_0}$ выберем некоторый элемент $v_{nm} \in O_m(u) \cap H(x_n)$. Для любого $n \geq N_{n_0}$ существует N_m такое, что $N_m \leq n < N_{m+1}$. Определим последовательность $u_n = v_{nm}$ для любых $n \geq N_{n_0}$ таких, что $N_m \leq n < N_{m+1}$.

Зафиксируем окрестность $O(u)$ и возьмем k так, чтобы $O_k(u) \subset O(u)$. Тогда из определения u_n и из вложенности окрестностей рассматриваемого семейства следует, что $u_n \in O_k(u) \forall n \geq N_k$. Следовательно, u_n , $n \geq N_{n_0}$, сходится к u .

Из утверждений 1 и 2 следует, что в приложениях достаточно проверять полунепрерывность изнутри отображения H лишь для элементов некоторого множества $D(x)$, плотного в пространстве $H(x)$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Замураев, В. Г. Условия разрешимости задач оптимизации с линейными функциональными уравнениями состояний / В. Г. Замураев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 516.
2. Замураев, В. Г. О достаточных условиях существования оптимальных пространств для линейных функциональных уравнений / В. Г. Замураев // Актуальные проблемы науки и техники: материалы I Международной науч.-техн. конф., Сарапул, 20–22 мая 2021 г. – Ижевск: ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, 2021. – С. 45–49.
3. Burachik, R. S. Set-valued mappings and enlargements of monotone operators / R. S. Burachik, A. N. Uisem. – New York: Springer, 2008. – 305 p.

УДК 517.925

К ЗАДАЧЕ ВАЛЛЕ-ПУССЕНА ДЛЯ МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ ЛЯПУНОВА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ПАРАМЕТРОМ

А. И. КАШПАР

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Исследуется краевая задача типа [1, с. 155; 2, с. 491]

$$\ddot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}(t)\dot{\mathbf{X}} + \dot{\mathbf{X}}\mathbf{B}(t) + \lambda(\mathbf{A}_1(t)\mathbf{X} + \mathbf{P}_1(t)\mathbf{X}\mathbf{Q}_1(t) + \mathbf{X}\mathbf{B}_1(t)) + \\ + \lambda(\mathbf{A}_2(t)\dot{\mathbf{X}} + \mathbf{P}_2(t)\dot{\mathbf{X}}\mathbf{Q}_2(t) + \dot{\mathbf{X}}\mathbf{B}_2(t)) + \mathbf{F}(t), \quad (1)$$

$$\mathbf{X}(0, \lambda) = \mathbf{M}, \quad \mathbf{X}(\omega, \lambda) = \mathbf{N}, \quad \mathbf{X} \in \mathbb{R}^{n \times m}, \quad (2)$$

где $\mathbf{F}(t)$, $\mathbf{A}(t)$, $\mathbf{B}(t)$, $\mathbf{A}_i(t)$, $\mathbf{B}_i(t)$, $\mathbf{P}_i(t)$, $\mathbf{Q}_i(t)$ ($i = 1, 2$) – матрицы класса $\mathbb{C}[0, \omega]$ соответствующих размерностей, $\mathbf{M}, \mathbf{N}$ – заданные вещественные матрицы, $\omega > 0$, $\lambda \in \mathbb{R}$.

В данной работе, являющейся продолжением и развитием [3–7], с помощью метода [8, гл. 2] получены коэффициентное достаточное условие однозначной разрешимости задачи (1), (2), оценки области локализации ее решения и его производной. Кроме того, разработан алгоритм построения решения этой задачи.

Введены следующие обозначения:

$$\alpha_i = \max_{0 \leq t \leq \omega} \|\mathbf{A}_i(t)\|, \quad \beta_i = \max_{0 \leq t \leq \omega} \|\mathbf{B}_i(t)\|, \quad p_i = \max_{0 \leq t \leq \omega} \|\mathbf{P}_i(t)\|, \quad q_i = \max_{0 \leq t \leq \omega} \|\mathbf{Q}_i(t)\|,$$

$$h = \max_{0 \leq t \leq \omega} \|\mathbf{F}(t)\|, \quad \varepsilon = |\lambda|, \quad q = \frac{\omega}{2}[(\alpha_1 + p_1 q_1 + \beta_1)\omega + \alpha_2 + p_2 q_2 + \beta_2],$$

$$H = \frac{1}{\omega} \|\mathbf{M} - \mathbf{N}\| + \frac{\omega h}{2} + \frac{\varepsilon \omega}{2} (\alpha_1 + p_1 q_1 + \beta_1) \|\mathbf{M}\|.$$

Теорема. Пусть выполнено условие $\varepsilon q < 1$. Тогда задача (1), (2) однозначно разрешима, при этом справедливы оценки

$$\|\mathbf{X}(t, \lambda)\| \leq \|\mathbf{M}\| + \frac{H\omega}{1 - \varepsilon q}, \quad \|\dot{\mathbf{X}}(t, \lambda)\| \leq \frac{H\omega}{1 - \varepsilon q}.$$

На основе применения метода малого параметра Ляпунова – Пуанкаре разработан алгоритм построения решения этой задачи, при этом вместо уравнения (1) рассмотрена эквивалентная интегральная задача

$$\mathbf{X}(t, \lambda) = \mathbf{M} + \int_0^t \mathbf{Y}(\tau, \lambda) d\tau, \quad \mathbf{Y}(t, \lambda) = \frac{1}{\omega} (\mathbf{N} - \mathbf{M}) + \frac{1}{\omega} \int_0^\omega \left(\int_\tau^t \mathbf{H}(s, \lambda) ds \right) d\tau,$$

где $\mathbf{H}(t, \lambda) = \lambda(\mathbf{A}_1(t)\mathbf{X} + \mathbf{P}_1(t)\mathbf{X}\mathbf{Q}_1(t) + \mathbf{X}\mathbf{B}_1(t)) + \lambda(\mathbf{A}_2(t)\dot{\mathbf{Y}} + \mathbf{P}_2(t)\dot{\mathbf{Y}}\mathbf{Q}_2(t) + \dot{\mathbf{Y}}\mathbf{B}_2(t)) + \mathbf{F}(t) \equiv$

$$\equiv \mathbf{H}_0(t) + \lambda \mathbf{H}_1(t) + \dots + \lambda^k \mathbf{H}_k(t) + \dots$$

Решение задачи строится в виде

$$\mathbf{X}(t, \lambda) = \mathbf{X}_0(t) + \lambda \mathbf{X}_1(t) + \dots + \lambda^k \mathbf{X}_k(t) + \dots, \quad (3)$$

$$\mathbf{Y}(t, \lambda) = \mathbf{Y}_0(t) + \lambda \mathbf{Y}_1(t) + \dots + \lambda^k \mathbf{Y}_k(t) + \dots, \quad (4)$$

где $\mathbf{X}_0(t) = \mathbf{M} + \frac{t}{\omega}(\mathbf{N} - \mathbf{M}) + \frac{1}{\omega} \int_0^t \left(\int_0^\omega \left(\int_\tau^\omega \mathbf{H}_0(s) ds \right) d\tau \right) d\varphi,$

$$\mathbf{Y}_0(t) = \frac{1}{\omega}(\mathbf{N} - \mathbf{M}) + \frac{1}{\omega} \int_0^\omega \left(\int_\tau^t \mathbf{H}_0(s) ds \right) d\tau, \quad \mathbf{X}_{m+1}(t) = \frac{1}{\omega} \int_0^t \left(\int_0^\omega \left(\int_\tau^\omega \mathbf{H}_m(s) ds \right) d\tau \right) d\varphi,$$

$$\mathbf{Y}_{m+1}(t) = \frac{1}{\omega} \int_0^\omega \left(\int_\tau^t \mathbf{H}_m(s) ds \right) d\tau, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Доказано, что при $|\lambda| < 1/q$ ряды (3), (4) сходятся равномерно по $t \in [0, \omega]$ к решению интегральной задачи.

Полученные результаты использованы для расчета стационарного температурного поля в круговой цилиндрической оболочке [9].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сансоне, Дж. Обыкновенные дифференциальные уравнения / Дж. Сансоне. – Москва: ИЛ, 1953. – Т. 1. – 348 с.
2. Хартман, Ф. Обыкновенные дифференциальные уравнения / Ф. Хартман. – Москва: Мир, 1970. – 720 с.
3. 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). – Могилев: МГУ им. А. А. Кулешова, 2018. – № 2. – С. 45–54.
4. 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 // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-матэм. навук. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 50–61.
5. 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.
6. Кашпар, А. И. К разрешимости краевой задачи Валле-Пуссена для линейного матричного уравнения Ляпунова второго порядка / А. И. Кашпар // Актуальные проблемы науки и техники: материалы I Междунар. науч.-техн. конф. – Ижевск, 2021. – С. 76–80.
7. Кашпар, А. И. О краевой задаче Валле-Пуссена для матричного уравнения Ляпунова второго порядка / А. И. Кашпар, В. Н. Лаптинский // Весн. МДУ імя А. А. Куляшова. Сер. В. Прыродазнаўчыя навукі (матэматыка, фізіка, біялогія). – Могилев: МГУ им. А. А. Кулешова, 2021. – № 2. – С. 16–27.
8. Лаптинский, В. Н. Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск: ИМ НАН Беларусі, 1998. – 300 с.
9. Кашпар, А. И. К аналитическим методам расчета стационарного температурного поля в круговой цилиндрической оболочке / А. И. Кашпар, В. Н. Лаптинский // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-матэм. навук. – 2021. – Т. 57, № 4. – С. 435–446.

УДК 517.5

К РЕШЕНИЮ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

В. Н. ЛАПТИНСКИЙ

Белорусско-Российский университет
Могилев, БеларусьРассматривается система уравнений относительно $x \in \mathbb{C}(I, \mathbb{R}^n)$

$$\int_0^{\omega} \Psi_i(\tau) x(\tau) d\tau = \mu_i, \quad (1)$$

где $\Psi_i \in \mathbb{C}(I, \mathbb{R}^{n \times n})$, $\mu_i \in \mathbb{R}^n$, $i = \overline{1, k}$, $I = [0, \omega]$, $\omega > 0$.

При $k = \infty$ система (1) представляет собой интегральную задачу типа [1, с. 264], более широкий круг таких задач описан в [2, гл. IX, § 5]. Введены также матрицы-функции $\Phi_i \in \mathbb{C}(I, \mathbb{R}^{n \times n})$ базисного типа [3, гл. 4], в частности, $\Phi_i(t) = \Psi_i(t)$.

В данной работе предлагается алгоритм построения возможных решений системы (1). На основе методики [4, 5] при выполнении условия невырожденности матриц, определяемых далее по тексту, получено выражение

$$x(t) = y(t) + \int_0^{\omega} H(t, \tau) y(\tau) d\tau + g(t), \quad (2)$$

где $y(t)$ – вспомогательная функция, аналогичная [3, гл. 4], вырожденное ядро $H(t, \tau)$ представлено через $\Psi_i(t)$, $\Phi_i(t)$ на основе алгоритма

$$\begin{aligned} H_{j+1}(t, \tau) = H_j(t, \tau) - & \left[\Phi_{j+1}(t) + \int_0^{\omega} H_j(t, s) \Phi_{j+1}(s) ds \right] \left(\widetilde{\Psi_{j+1} R_{j+1}} \right)^{-1} \times \\ & \times \left[\Psi_{j+1}(\tau) + \int_0^{\omega} \Psi_{j+1}(s) H_j(s, \tau) ds \right], \end{aligned} \quad (3)$$

где $j = \overline{0, k-1}$, тильдой сверху обозначен интеграл по промежутку I .

Функция $y(t)$ последовательно в рамках соответствующего алгоритма доопределяется (с сохранением произвола) при построении функции $H_m(t, \tau)$, $g_m(t)$, $m = \overline{0, k}$, так, что $H_0(t, \tau) = 0$, $g_0(t) = 0$, $H(t, \tau) = H_k(t, \tau)$, $g(t) = g_k(t)$, $y(t) = y_k(t)$,

$$R_{j+1}(t) = \Phi_{j+1}(t) + \int_0^{\omega} H_j(t, \tau) \Phi_{j+1}(\tau) d\tau,$$

$$g_{j+1}(t) = g_j(t) + \delta_{j+1}(t) + \int_0^{\omega} H_j(t, \tau) \delta_{j+1}(\tau) d\tau,$$

где

$$\delta_{j+1}(t) = \Phi_{j+1}(t) \left(\widetilde{\Psi_{j+1} R_{j+1}} \right)^{-1} \left(\mu_{j+1} - \int_0^{\omega} \Psi_{j+1}(\tau) g_j(\tau) d\tau \right),$$

при этом

$$\det \widetilde{\Psi_{j+1} R_{j+1}} \neq 0, \quad j = \overline{0, k-1}.$$

Замечание 1. Применение метода Гаусса к системе (1) на основе

$$x(t) = \sum_{i=1}^k \Phi_i(t) c_i + y(t) \quad (4)$$

приводит к ее решению с более сложным алгоритмом построения векторов c_i . Предлагаемый алгоритм при $k = \infty$ дает основу для обоснования его сходимости в $\mathbb{C}$ и других пространствах, а также оценки соответствующих погрешностей для

$$\tilde{x}(t) = \sum_{i=1}^k \Phi_i(t) c_i,$$

при этом функция $y(t)$ характеризует остаток соответствующего ряда.

Замечание 2. Круг задач типа (1) может быть расширен: ортогонализация базисов в различных гильбертовых пространствах, линейные и нелинейные операторные уравнения первого и второго родов, в частности, интегральные уравнения. Используемая методика представляет собой основу для развития конструктивных методов регуляризации [3] краевых задач с дополнительными условиями типа (1).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Канторович, Л. В.** Функциональный анализ / Л. В. Канторович, Г. П. Акилов. – Москва: Наука, 1977. – 744 с.
2. **Канторович, Л. В.** Функциональный анализ в полуупорядоченных пространствах / Л. В. Канторович, Б. З. Вулих, А. Г. Пинскер. – Москва; Ленинград: ГИТТЛ, 1950. – 549 с.
3. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск: Ин-т математики НАН Беларуси, 1998. – 300 с.
4. **Лаптинский, В. Н.** К методике решения одной задачи теории гильбертовых пространств / В. Н. Лаптинский // IX Белорусская математическая конференция: материалы Междунар. конф. – Гродно: ГрГУ, 2004. – Ч. 1. – С. 81–82.
5. **Лаптинский, В. Н.** Об одной задаче теории векторных пространств / В. Н. Лаптинский // X Белорусская математическая конференция: материалы Междунар. конф., Минск, 3–7 нояб. 2008 г. – Минск: НАН Беларуси; Ин-т матем., 2008. – Ч. 3. – С. 65–66.

УДК 533.6

К АНАЛИТИЧЕСКОМУ РЕШЕНИЮ УРАВНЕНИЯ ФОЛКНЕРА – СКЭН

В. Н. ЛАПТИНСКИЙ, А. А. РОМАНЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В градиентном случае изучается классическая задача о динамическом ламинарном пограничном слое для течения вязкой жидкости вдоль плоской пластины (задача Фолкнера – Скэн [1, 2])

$$f''' + a f f'' + b(1 - f'^2) = 0, \quad (1)$$

$$f(0) = f'(0) = 0, \quad f'(\infty) = 1, \quad (2)$$

где $f' = df(\eta)/d\eta$, $a = (m+1)/2$, $b = m$; m – параметр, характеризующий скорость $U(x) = U_0 x^m$ внешнего течения.

Поскольку эта задача не имеет точного решения, а численные методы неэффективны для исследования влияния ее физических параметров на формирование пограничного слоя, то разработка аналитических методов решения актуальна и в нынешнем столетии (см. библиографию в [3]).

В [4] приведено приближенное решение задачи (1), (2) для случая градиентного обтекания и значений $m \in [0, 1/3)$ в виде

$$f(\eta, m) \approx \lambda \int_0^\eta (\eta - \tau) \exp \left[- \left(\frac{b}{\lambda} \tau + \left(\frac{b}{\lambda} \right)^2 \frac{\tau^2}{2!} + \left(2 \left(\frac{b}{\lambda} \right)^3 + (a - 2b) \lambda \right) \frac{\tau^3}{3!} \right) \right] d\tau, \quad (3)$$

где значения параметра $\lambda = f''(0, m)$ вычисляются из трансцендентного уравнения

$$\lambda \int_0^\infty \exp \left[- \left(\frac{b}{\lambda} \tau + \left(\frac{b}{\lambda} \right)^2 \frac{\tau^2}{2!} + \left(2 \left(\frac{b}{\lambda} \right)^3 + (a - 2b) \lambda \right) \frac{\tau^3}{3!} \right) \right] d\tau - 1 = 0. \quad (4)$$

В работе [5] вместо (4) предложена формула

$$\lambda(m) = a_0 + a_1 m + a_2 m^2, \quad (5)$$

где $a_0 = 0,33532$, $a_1 = 1,722757$, $a_2 = -1,388347$.

В данной работе, являющейся продолжением и развитием [4–6], получена следующая аппроксимация:

$$\lambda(m) = p + \ln(1 + qm), \quad (6)$$

содержащая только два параметра – $p = a_0$ и $q = 1.6458126$.

На рис. 1 приведены графики зависимостей (5) и (6).

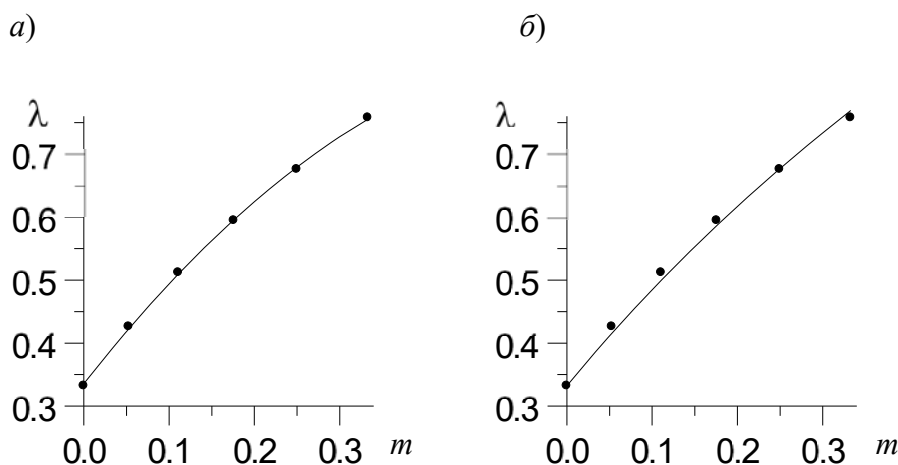


Рис. 1. Графики зависимостей. Точки соответствуют точным значениям $\lambda(m)$; сплошные линии: а – приближение (5); б – приближение (6)

Установлено, что приближение (3) и (6) и его первые две производные не уступают приближению (3), (5) для $f(\eta)$, $f'(\eta)$ и $f''(\eta)$ по точности, принятой в прикладных расчетах [1, 2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – Москва: Наука, 1974. – 712 с.
2. Теория тепломассообмена: учебник / С. И. Исаев [и др.]; под ред. А. И. Леонтьева. – Москва: Высшая школа, 1979. – 495 с.
3. Khidir, A. A note on the solution of general Falkner – Skan problem by two novel semi-analytical techniques. Propulsion and Power Research / A. Khidir. – 2015. – Vol. 4, iss. 4. – P. 212–220.
4. Лаптинский, В. Н. Об одном аналитическом методе построения решения задачи о динамическом ламинарном пограничном слое в автомоделном случае / В. Н. Лаптинский, А. А. Романенко // Актуальные проблемы науки и техники: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Сарапул, 22–24 мая 2021 г. – Сарапул: СПИ, 2021. – С. 86–90.
5. Лаптинский, В. Н. Аналитическое решение задачи о динамическом ламинарном пограничном слое в автомоделном случае / В. Н. Лаптинский, А. А. Романенко // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 386–387.
6. Лаптинский, В. Н. Об одном аналитическом методе решения задачи о динамическом ламинарном пограничном слое в автомоделном случае / В. Н. Лаптинский // Ученые записки ЦАГИ. – 2013. – Т. XLIV, № 5. – С. 72–93.

УДК 517.927.4

РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ О ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЯХ
МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ ЛЯПУНОВА ВТОРОГО ПОРЯДКА

В. А. ЛИВИНСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Изучается задача о периодических решениях с периодом ω уравнения типа [1–5]

$$\ddot{X} = \lambda A(t)X + \lambda^3 (P(t)X + Q_1(t)XQ_2(t) + XB(t)) + F(t), \quad X \in \mathbb{R}^{n \times m}, \quad (1)$$

с непрерывными ω -периодическими коэффициентами соответствующих размерностей; $\lambda \in \mathbb{R}$, $\dot{X} = dX/dt$.

На основе применения метода [6, гл. II] получены коэффициентные достаточные условия существования и единственности решения данной задачи, а также оценки области локализации и алгоритм построения решения и его производной.

Вместо уравнения (1) рассматривается эквивалентная система матричных дифференциальных уравнений

$$dX/dt = Y, \quad (2)$$

$$dY/dt = \lambda A(t)X + \lambda^3 (P(t)X + Q_1(t)XQ_2(t) + XB(t)) + F(t). \quad (3)$$

Фактически вместо данной задачи исследуется периодическая краевая задача для (2), (3) с условиями

$$X(0, \lambda) = X(\omega, \lambda), \quad Y(0, \lambda) = Y(\omega, \lambda). \quad (4)$$

В свою очередь, задача (2)–(4) сведена к эквивалентной интегральной задаче, к которой применена модификация [6, гл. III] обобщенного принципа сжимающих отображений [7].

Введены следующие обозначения:

$$\tilde{A}(\omega) = \int_0^\omega A(\tau) d\tau, \quad \gamma = \|\tilde{A}^{-1}(\omega)\|, \quad \varepsilon = |\lambda|, \quad \alpha = \max_t \|A(t)\|, \quad \beta = \max_t \|B(t)\|,$$

$$\mu = \max_t \|P(t)\|, \quad \delta_i = \max_t \|Q_i(t)\|, \quad h = \max_t \|F(t)\|, \quad q_1 = \frac{1}{4} \gamma \alpha^2 \omega^3 + \gamma (\beta + \delta_1 \delta_2 + \mu) \omega,$$

$$q_2 = \frac{1}{4} \gamma \alpha (\beta + \delta_1 \delta_2 + \mu) \omega^3, \quad q(\varepsilon) = \varepsilon q_1 + \varepsilon^3 q_2, \quad K(\varepsilon) = \frac{1}{2} \varepsilon \omega [\alpha + \varepsilon^2 (\beta + \delta_1 \delta_2 + \mu)],$$

$$H(\varepsilon) = \gamma \omega \left(\frac{1}{4} \alpha \omega^2 + \frac{1}{\varepsilon} \right) h,$$

где $i=1,2$, $t \in [0, \omega]$, $\|\cdot\|$ – норма матриц в конечномерной банаховой алгебре $\mathcal{B}(n)$ непрерывных матриц-функций с нормой $\|X\|_C = \max_t \|X(t)\|$.

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

$$\|X(t, \lambda)\|_C \leq \frac{H(\varepsilon)}{1 - q(\varepsilon)}, \quad \|Y(t, \lambda)\|_C \leq \frac{K(\varepsilon)H(\varepsilon)}{1 - q(\varepsilon)} + \frac{1}{2} \omega h.$$

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 дифференциальным уравнениям, Новополоцк, 20–22 мая 2014 г. – Полоцк: 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 уравнения Ляпунова второго порядка с параметром / В. А. Ливинская // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 388–389.
6. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск: ИМ НАН Беларуси, 1998. – 300 с.
7. Приближенное решение операторных уравнений / М. А. Красносельский [и др.]. – Москва: Наука, 1969. – 456 с.

УДК 517.927.4

К ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ ОБОБЩЕНИЯ МАТРИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ ЛЯПУНОВА И РИККАТИ

О. А. МАКОВЕЦКАЯ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

На основе конструктивного метода [1, гл. 2] исследуется задача

$$\frac{dX}{dt} = A(t)X + C(t)XB(t) + XQ(t)X + F(t, X), \quad (1)$$

$$X(0) = X(\omega), \quad (2)$$

где $(t, X) \in I \times \mathbb{R}^{n \times n}$, $A, B, C, Q \in \mathbb{C}(I, \mathbb{R}^{n \times n})$, $F \in \mathbb{C}(D_{\tilde{\rho}}, \mathbb{R}^{n \times n})$; $I = [0; \omega]$, $D_{\tilde{\rho}} = \{(t, X); t \in I, \|X\| < \tilde{\rho}\}$; $\omega > 0$, $0 < \tilde{\rho} \leq \infty$. Предполагается, что функция $F(t, X)$ удовлетворяет условию Липшица по X локально в $D_{\tilde{\rho}}$, $F(t, 0) \neq 0$.

Введены следующие обозначения:

$$D_{\rho} = \{(t, X): 0 \leq t \leq \omega, \|X\| \leq \rho\}, \quad \tilde{A}(\omega) = \int_0^{\omega} A(\tau) d\tau, \quad \gamma = \|A^{-1}(\omega)\|, \quad \alpha = \max_t \|A(t)\|,$$

$$\beta = \max_t \|B(t)\|, \quad \sigma = \max_t \|C(t)\|, \quad \delta = \max_t \|Q(t)\|,$$

$$q(\rho) = \gamma \left[\frac{1}{2} \alpha (\alpha + \sigma\beta + L + 2\delta\rho) \omega^2 + (\sigma\beta + L + 2\delta\rho) \omega \right];$$

$$\varphi(\rho) = \gamma \left\{ h + \frac{1}{2} \alpha [(\alpha + \sigma\beta + L)\rho + \delta\rho^2] \omega^2 + [h + (\sigma\beta + L)\rho + \delta\rho^2] \omega \right\},$$

где $0 < \rho < \tilde{\rho}$, $t \in I$, $L = L(\rho) > 0$ – постоянная Липшица для $F(t, X)$. Краевая задача (1), (2) исследуется в конечномерной банаховой алгебре $\mathcal{B}(n)$ непрерывных матриц-функций с нормой $\|X\|_{\mathcal{C}} = \max_{t \in I} \|X(t)\|$, где $\|\bullet\|$ – подходящая норма матриц в рамках определения этой алгебры, например, любая из норм, приведенных в [2, с.21].

Работа является продолжением и развитием исследований, выполненных в [3–5], на основе которых с применением конструктивных методов [1, гл. 2] получена следующая теорема.

Теорема. Пусть выполнены условия:

$$\det \tilde{A}(\omega) \neq 0, \quad (3)$$

$$q(\rho) < 1, \quad (4)$$

$$\varphi(\rho) \leq \rho. \quad (5)$$

Тогда в области D_ρ решение задачи (1), (2) существует и единственно. Это решение представимо как предел равномерно сходящейся последовательности матричных функций, определяемых рекуррентным интегральным соотношением

$$X_{k+1}(t) = \tilde{A}^{-1}(\omega) \left\{ \int_0^t \left(\int_0^\tau A(\sigma) d\sigma \right) G(\tau, X_k(\tau)) d\tau - \int_t^\omega \left(\int_\tau^\omega A(\sigma) d\sigma \right) G(\tau, X_k(\tau)) d\tau - \right. \\ \left. - \int_0^\omega [CX_k(\tau)B(\tau) + X_k(\tau)Q(\tau)X_k(\tau) + F(\tau, X_k(\tau))] d\tau \right\}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (6)$$

при этом справедлива оценка $\|X\|_{\mathbb{C}} \leq \varphi(\rho)$.

Здесь $X_0(t)$ – произвольная матричная функция класса $\mathbb{C}[0, \omega]$, принадлежащая множеству D_ρ .

$$G(t, X) = A(t)X + CXB(t) + XQ(t)X + F(t, X).$$

При получении алгоритма (6) используется условие (3) и матричный левосторонний регуляризатор [3].

На основе условий (4), (5) получена рекуррентная оценка

$$\|X_{m+1} - X_m\|_{\mathbb{C}} \leq q \|X_m - X_{m-1}\|_{\mathbb{C}}, \quad m = 1, 2, \dots,$$

с помощью которой выведена оценка, характеризующая скорость сходимости алгоритма (6), а также оценка области локализации решения

$$\|X - X_k\|_{\mathbb{C}} \leq \frac{q^k}{1 - q} \|X_1 - X_0\|_{\mathbb{C}}, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

$$\|X\|_{\mathbb{C}} \leq \|X_0\|_{\mathbb{C}} + \frac{\|X_1 - X_0\|_{\mathbb{C}}}{1 - q}.$$

Как и алгоритм (6), эти оценки достаточно удобны для применений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск: ИМ НАН Беларуси, 1998. – 300 с.
2. **Демидович, Б. П.** Лекции по математической теории устойчивости / Б. П. Демидович. – Москва: Наука, 1967. – 472 с.
3. **Лаптинский, В. Н.** Построение и структурные свойства решений периодической краевой задачи для обобщения матричных уравнений Ляпунова и Риккати / В. Н. Лаптинский, О. А. Маковецкая // Дифференциальные уравнения. – 2018. – Т. 54, № 7. – С. 919–928.
4. **Маковецкая, О. А.** К периодической краевой задаче для матричного уравнения Ляпунова – Риккати / О. А. Маковецкая // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 495–496.
5. **Маковецкая, О. А.** Регуляризация периодической краевой задачи для матричного уравнения Ляпунова – Риккати / О. А. Маковецкая // Актуальные проблемы науки и техники: материалы I Междунар. науч.-техн. конф. – Ижевск: ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, 2021. – С. 16–20.

УДК 517.927.4

К ЛЕВОСТОРОННЕЙ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ДВУХТОЧЕЧНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ ТИПА АБЕЛЯ

И. И. МАКОВЕЦКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Изучается краевая задача

$$\frac{dX}{dt} = A(t)X + C(t)XB(t) + S(t)X^3 + F(t), \quad (1)$$

$$MX(0) + NX(\omega) = 0, \quad (2)$$

где $(t, X) \in I \times \mathbb{R}^{n \times n}$, $A, B, C, S, F \in \mathbb{C}(I, \mathbb{R}^{n \times n})$, M, N – вещественные постоянные матрицы; $I = [0, \omega]$, $\omega > 0$.

Методологическая основа исследования изложена в [1, гл. 2], на основе которой получены коэффициентные достаточные условия однозначной разрешимости задачи (1), (2), разработан и исследован итерационный алгоритм классического типа построения ее решения.

Обозначения:

$$D_\rho = \{(t, X) : t \in I, \|X\| \leq \rho\}, \quad \Phi = E + U^{-1}(\omega)N^{-1}M, \quad \gamma = \|\Phi^{-1}\|, \quad m = \max\{\|\Phi - E\|, 1\},$$

$$\beta = \max_t \|B(t)\|, \quad \sigma = \max_t \|C(t)\|, \quad \delta = \max_t \|S(t)\|, \quad h = \max_t \|F(t)\|,$$

$$\lambda_1 = \max_t \|U(t)\|, \quad \lambda_2 = \max_t \|U^{-1}(t)\|, \quad q = \gamma \lambda m \omega (\sigma \beta + 3 \delta \rho^2), \quad p = \gamma \lambda m \omega h,$$

где $\rho > 0$, $t \in I$, $\lambda = \lambda_1 \lambda_2$, E – единичная матрица, $U(t)$ – решение уравнения $dU/dt = A(t)U$, $U(0) = E$. Краевая задача (1), (2) исследуется в конечномерной банаховой алгебре $\mathcal{B}(n)$ непрерывных матриц-функций с нормой $\|X\|_{\mathcal{C}} = \max_{t \in I} \|X(t)\|$, где $\|\cdot\|$ – норма матриц в рамках определения этой алгебры, например, любая из приведенных в [2, с.21].

В работе, являющейся продолжением [3, 4], развиты подходы [5, гл.1].

Теорема. Пусть выполнены условия:

$$\det N\Phi \neq 0, \quad (3)$$

$$q < 1, \quad (4)$$

$$p / (1 - q) \leq \rho. \quad (5)$$

Тогда в области D_ρ решение задачи (1), (2) существует и единственно. Это решение представимо как предел равномерно сходящейся последовательности матричных функций, определяемых рекуррентным интегральным соотношением, при этом справедлива оценка $\|X(t)\| \leq p / (1 - q)$.

Для построения решения задачи (1), (2) на основе левостороннего матричного регуляризатора [1, гл. 2] и условия (3) разработан итерационный алгоритм классического типа [6, с. 605]

$$X_{k+1}(t) = U(t)\Phi^{-1} \left[P \int_0^t U^{-1}(\tau) (C(\tau)X_k(\tau)B(\tau) + S(\tau)X_k^3(\tau) + F(\tau)) d\tau - \right. \\ \left. - \int_t^\omega U^{-1}(\tau) (C(\tau)X_k(\tau)B(\tau) + S(\tau)X_k^3(\tau) + F(\tau)) d\tau \right], \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (6)$$

где $X_0(t)$ – произвольная матричная функция класса $\mathbb{C}(I, \mathbb{R}^{n \times n})$, подчиненная неравенству $\|X_0\|_{\mathbb{C}} \leq \rho$, в частности, в качестве начального приближения можно использовать $X_0 = 0$. Установлено, что все приближения, полученные с помощью алгоритма (6), удовлетворяют краевому условию (2).

На основании условия (4) получена оценка, характеризующая скорость сходимости алгоритма (6):

$$\|X_k - X\|_{\mathbb{C}} \leq q^k \frac{\|X_1 - X_0\|_{\mathbb{C}}}{1 - q}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (7)$$

откуда при $k = 0$, $X_0 = 0$ следует оценка (5), а именно

$$\|X(t)\| \leq \frac{\|X_1\|_{\mathbb{C}}}{1 - q} = \frac{\max_t \left\| U(t)\Phi^{-1} \left[P \int_0^t U^{-1}(\tau) F(\tau, 0) d\tau - \int_t^\omega U^{-1}(\tau) F(\tau, 0) d\tau \right] \right\|}{1 - q} \leq \\ \leq \frac{\lambda \gamma m \int_0^\omega \|U^{-1}(\tau)\| \|F(\tau, 0)\| d\tau}{1 - q} \leq \frac{\lambda \gamma m \omega h}{1 - q} = \frac{p}{1 - q}.$$

Как и оценка (7), эта оценка является коэффициентной.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск: ИМ НАН Беларуси, 1998. – 300 с.
2. **Демидович, Б. П.** Лекции по математической теории устойчивости / Б. П. Демидович. – Москва: Наука, 1967. – 472 с.
3. **Лаптинский, В. Н.** К построению решения двухточечной краевой задачи для нелинейного матричного уравнения Ляпунова / В. Н. Лаптинский, И. И. Маковецкий // Дифференциальные уравнения. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 137–141.
4. **Маковецкий, И. И.** К регуляризации нелинейно возмущенной двухточечной краевой задачи для матричного уравнения Ляпунова с параметром / И. И. Маковецкий // Актуальные проблемы науки и техники: материалы I Междунар. науч.-техн. конф. – Ижевск: ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, 2021. – С. 10–15.
5. **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.
6. **Канторович, Л. В.** Функциональный анализ / Л. В. Канторович, Г. П. Акилов. – Москва: Наука, 1977. – 744 с.

УДК 535.51

АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА ОТ АНИЗОТРОПНОГО СЛОЯ

И. У. ПРИМАК, А. В. ХОМЧЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рассмотрена задача электродинамического описания отражения света от слоя (пластинки) оптически анизотропной одноосной среды, помещенной между изотропными окружающей средой и подложкой [1]. С использованием асимптотических разложений Пуанкаре по степеням $\Delta\epsilon$ электромагнитных полей

$$H_{x,z} = H_{x,z}^0 + \Delta\epsilon H_{x,z}^1 + o(\Delta\epsilon);$$

$$E_{x,z} = E_{x,z}^0 + \Delta\epsilon E_{x,z}^1 + o(\Delta\epsilon)$$

найден аналитическое решение соответствующей граничной задачи [1, 2]. Здесь $\Delta\epsilon$ – разность между главными значениями тензора диэлектрической проницаемости, которая в естественном предположении малой анизотропии оценивается как $\Delta\epsilon \ll 1$; $H_{x,z}$ – компоненты вектора напряженности магнитного поля; $E_{x,z}$ – компоненты вектора напряженности электрического поля.

На основе данного аналитического решения получены формулы для расчета коэффициентов отражения R_{pp} , R_{ps} , R_{sp} , R_{ss} , которые учитывают взаимное преобразование волн s - и p -поляризации при их отражении от анизотропного слоя. Анализ этих формул позволил предложить процедуру определения параметров ориентации оптической оси в анизотропном слое на основе регистрации указанных коэффициентов отражения при вращении слоя вокруг оси, перпендикулярной к его поверхности. Оценены погрешности определения этих параметров. Выполнено численное моделирование отражения света от пластин стекла и льда. Определены условия эффективного использования приближения, при которых погрешности определения параметров составляют менее 15 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аззам, Р. Эллипсометрия и поляризованный свет / Р. Аззам, Н. Башара. – Москва: Мир, 1981. – 583 с.
2. Оптимальный выбор азимутов поляризаторов в спектральном эллипсометре с бинарной модуляцией состояния поляризации / Н. И. Стаськов [и др.] // Метрология-2009: материалы Междунар. науч.-практ. конф, Минск, 14–15 апр. 2009 г. – Минск, 2009. – С. 333–337.

УДК 534:535

СПЕКТРАЛЬНАЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЯ НЕОДНОРОДНОГО СЛОЯ
НА ПОДЛОЖКЕИ. У. ПРИМАК, А. В. ХОМЧЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Предложена простая и эффективная процедура обработки распределения коэффициента отражения излучения от планарной структуры при различных длинах волн, которая позволяет восстановить показатель преломления и пространственное распределение толщины слоя на подложке [1]. В рамках процедуры распределение толщины слоя $d(x)$ аппроксимируется полиномом

$$\bar{d} = k_0 d(x) = \sum_{k=0}^r A_k G_k(\bar{x}), \quad \bar{x} = x/a, \quad \text{где } G_k(\bar{x}) \quad (k = \overline{0, r}) - \text{ ортогональные}$$

полиномы Чебышева, k_0 – волновое число вакуума, a – некоторый масштабный фактор. Для описания зависимости показателя преломления от длины волны $n(\lambda)$ используется дисперсионная формула Коши $n(\lambda) = n_0 + A\lambda^{-2} + B\lambda^{-4}$, где n_0, A, B – некоторые константы. При этом коэффициенты полинома и константы дисперсионной формулы Коши предлагается определять при минимизации функционала

$$I(n_0, A, B, A_1, A_2, \dots, A_r) = \sum_{\rho=0}^l \sum_{i=0}^s (\tilde{R}_i^{\rho} - R(x_i, \lambda_{\rho}, n_0, A, B, A_1, A_2, \dots, A_r))^2,$$

где $\tilde{R}_i^{\rho}$ – измеренный в условиях нормального падения коэффициент отражения излучения в точке с координатой $x = x_i = ia \quad (i = \overline{0, s})$ при заданной длине волны λ_{ρ} ; $R(x_i, \lambda_{\rho}, n_0, A, B, A_1, A_2, \dots, A_r)$ – рассчитанное значение коэффициента отражения для заданных $x_i, \lambda_{\rho}, n_0, A, B, A_1, A_2, \dots, A_r$.

Проанализированы погрешности определения указанных параметров рассматриваемых структур и предложены пути их снижения. Выполнено численное моделирование отражения излучения для трех длин волн от слоев SiO_2 на кремнии и пленок ИТО на кремнии с учетом погрешностей регистрации коэффициента отражения (нормальное распределение со среднеквадратическим отклонением $\sigma = 0,005$). Продемонстрирована возможность определения показателя преломления и толщины слоя с погрешностями менее 0,5 % и 10 % соответственно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измерение распределения толщин многослойных пленочных структур методами спектральной рефлектометрии / В. Г. Цепулин [и др.] // Вестн. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2016. – № 3. – С. 1893–1895.

УДК 517.927.4

АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ СИСТЕМЫ МАТРИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ РИККАТИ

Д. В. РОГОЛЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рассматривается краевая задача [1]

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = A_1(t)X + XB_1(t) + X(S_1(t)X + S_2(t)Y) + C_1(t)X^2 + X^2C_2(t) + F_1(t), \\ \frac{dY}{dt} = A_2(t)Y + YB_2(t) + Y(P_1(t)X + P_2(t)Y) + Q_1(t)Y^2 + Y^2Q_2(t) + F_2(t), \end{cases} \quad (1)$$

$$X(0) = X(\omega), \quad Y(0) = Y(\omega), \quad (2)$$

с коэффициентами класса $\mathbb{C}(I, \mathbb{R}^{n \times n})$, $(t, X, Y) \in I \times \mathbb{R}^{n \times n} \times \mathbb{R}^{n \times n}$; $I = [0, \omega]$, $\omega > 0$.

Используются следующие обозначения:

$$\begin{aligned} D &= \{(t, X, Y) : 0 \leq t \leq \omega, \|X\| \leq \rho_1, \|Y\| \leq \rho_2\}, \quad M_i = \int_0^\omega A_i(\tau) d\tau, \quad N_i = -\int_0^\omega B_i(\tau) d\tau, \\ \gamma_i &= \|\Phi_i^{-1}(\omega)\|, \quad \alpha_i = \max_t \|A_i(t)\|, \quad \beta_i = \max_t \|B_i(t)\|, \quad \delta_i = \max_t \|S_i(t)\|, \quad \mu_i = \max_t \|P_i(t)\|, \\ \sigma_i &= \max_t \|C_i(t)\|, \quad \nu_i = \max_t \|Q_i(t)\|, \quad h_i = \max_t \|F_i(t)\|, \\ \varphi_1(\rho_1, \rho_2) &= \gamma_1 \left\{ \frac{1}{2}(\alpha_1 + \beta_1) \left[(\alpha_1 + \beta_1)\rho_1 + (\delta_1 + \sigma_1 + \sigma_2)\rho_1^2 + \delta_2\rho_1\rho_2 + h_1 \right] \omega^2 + \right. \\ &\quad \left. + ((\delta_1 + \sigma_1 + \sigma_2)\rho_1^2 + \delta_2\rho_1\rho_2 + h_1)\omega \right\}, \\ \varphi_2(\rho_1, \rho_2) &= \gamma_2 \left\{ \frac{1}{2}(\alpha_2 + \beta_2) \left[(\alpha_2 + \beta_2)\rho_2 + \mu_1\rho_1\rho_2 + (\mu_2 + \nu_1 + \nu_2)\rho_2^2 + h_2 \right] \omega^2 + \right. \\ &\quad \left. + (\mu_1\rho_1\rho_2 + (\mu_2 + \nu_1 + \nu_2)\rho_2^2 + h_2)\omega \right\}, \quad \rho = \begin{pmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \end{pmatrix}, \quad \varphi(\rho) = \begin{pmatrix} \varphi_1(\rho_1, \rho_2) \\ \varphi_2(\rho_1, \rho_2) \end{pmatrix}, \quad A = \varphi'(\rho), \end{aligned}$$

где $i = 1, 2$, $t \in I$, $\rho_1, \rho_2 > 0$, Φ_i – линейные операторы, $\Phi_i Z = M_i Z - Z N_i$, $\varphi'(\rho)$ – матрица Якоби для $\varphi(\rho)$.

В работе, являющейся продолжением и развитием [1], с помощью метода [2, гл. 3] получена следующая теорема.

Теорема. Пусть выполнены следующие условия:

1) $\sigma(M_i) \cap \sigma(N_i) = \emptyset$ ($i=1,2$) ($\sigma(K)$ – множество характеристических чисел матрицы K);

2) $\varphi(\rho) \leq \rho$;

3) $a_{11} < 1$, $\det(E - A) > 0$,

где $E = \text{diag}(1,1)$. Тогда задача (1), (2) однозначно разрешима в области D .

Разработан алгоритм построения решения, основанный на вычислительной схеме типа [2, гл. 3] и имеющий в дифференциальной форме вид

$$\frac{dX_{k+1}}{dt} = A_1(t)X_k + X_k B_1(t) + X_k (S_1(t)X_k + S_2(t)Y_k) + C_1(t)X_k^2 + X_k^2 C_2(t) + F_1(t), \quad (3)$$

$$\frac{dY_{k+1}}{dt} = A_2(t)Y_k + Y_k B_2(t) + Y_k (P_1(t)X_k + P_2(t)Y_k) + Q_1(t)Y_k^2 + Y_k^2 Q_2(t) + F_2(t), \quad (4)$$

$$X_{k+1}(0) = X_{k+1}(\omega), \quad (5)$$

$$Y_{k+1}(0) = Y_{k+1}(\omega), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (6)$$

где в качестве начального приближения X_0 , Y_0 приняты постоянные матрицы, определяемые из условий (5), (6) для приближений $X_1(t)$, $Y_1(t)$ соответственно:

$$\int_0^\omega [A_1(\tau)X_0 + X_0 B_1(\tau) + X_0 (S_1(\tau)X_0 + S_2(\tau)Y_0) + C_1(\tau)X_0^2 + X_0^2 C_2(\tau) + F_1(\tau)] d\tau = 0,$$

$$\int_0^\omega [A_2(\tau)Y_0 + Y_0 B_2(\tau) + Y_0 (P_1(\tau)X_0 + P_2(\tau)Y_0) + Q_1(\tau)Y_0^2 + Y_0^2 Q_2(\tau) + F_2(\tau)] d\tau = 0.$$

С помощью конструктивного регуляризатора [2, гл. 3] на основе (3)–(6) получено рекуррентное интегральное соотношение для вычисления функций $X_j(t)$, $Y_j(t)$, $j = 0, 1, 2, \dots$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаптинский, В. Н. Конструктивные методы построения решения периодической краевой задачи для системы матричных дифференциальных уравнений типа Риккати / В. Н. Лаптинский, Д. В. Роголев // Дифференциальные уравнения. – 2011. – Т. 47, № 10. – С. 1412–1420.
2. Лаптинский, В. Н. Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск : Ин-т математики НАН Беларуси, 1998. – 300 с.

УДК 53.088 : 620.179.14

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

С. Г. САНДОМИРСКИЙ

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Все механические свойства (временное сопротивление σ_B , условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, относительное сужение ψ) и твердость, измеренная по шкалам HRC и HB, важны для расчета эксплуатационных параметров стальных изделий. Но в литературе для многих сталей приведен не весь комплекс характеристик, а некоторые из них. Поэтому важно установить взаимосвязь между механическими свойствами сталей заданного класса.

Целью доклада является обобщение исследований по аналитическому описанию взаимосвязей механических свойств, часто используемых в машиностроении сталей. Расширение на этой основе возможностей их неразрушающего магнитного контроля.

В [1] показано, что контроль комплекса механических параметров стали по результату измерения их магнитных свойств возможен, если между контролируемыми физико-механическими свойствами имеются тесные связи. Пусть даже и только корреляционные.

Для примера на рис. 1 приведены зависимости механических свойств и твердости стали 40X от температуры T_o отпуска.

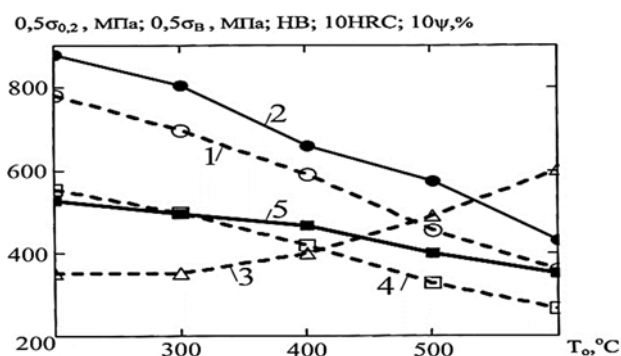


Рис. 1. Зависимость механических свойств (1 – $\sigma_{0,2}$; 2 – σ_B ; 3 – ψ) и твердости (4 – HB; 5 – HRC) стали 40X от температуры T_o отпуска после закалки

Анализ зависимостей на рис. 1 показал, что все механические свойства и твердость стали 40X с увеличением T_o изменяются монотонно. Это позволяет обоснованно предположить наличие тесных корреляционных взаимосвязей между механическими свойствами и твердостью стали 40X, измеренной по разным шкалам. В подтверждение этого в табл. 1 приведены уравнения регрессии для расчета σ_B , $\sigma_{0,2}$, ψ , твердостей HRC и HB стали 40X по любому из этих параметров для всех возможных их комбинаций. В табл. 1 также приведены

квадраты коэффициентов R корреляции (достоверности аппроксимаций) и значения $\bar{\delta}$ модулей относительного отклонения результатов G_R расчета значений параметра G (в качестве которого использованы $\sigma_{0,2}$, σ_B , Ψ , HB и HRC) от значений G_T этого параметра, приведенных на рис. 1, рассчитанные по формуле

$$\bar{\delta} = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|G_T - G_R|}{G_T},$$

где n – количество значений параметра G на рис. 1, $n = 5$.

Табл. 2. Линейные уравнения регрессии корреляционных взаимосвязей между физико-механическими свойствами стали 40X

$x =$	HRC	HB	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	Ψ (%)
HRC =	x	$0,0597x + 20,1$ $R^2 = 0,9817$	$0,0207x + 20,9$ $R^2 = 0,9873$	$0,0195x + 18,5$ $R^2 = 0,9692$	$-0,653x + 73,5$ $R^2 = 0,9604$
HB =	$16,45x - 323,6$ $\bar{\delta} = 1,74\%$	x	$0,346x + 13,6$ $R^2 = 0,9992$	$0,327x + 26,64$ $R^2 = 0,9885$	$-10,54x + 873,3$ $R^2 = 0,9100$
$\sigma_{0,2}$ (МПа) =	$47,73x - 981,4$ $\bar{\delta} = 2,81\%$	$2,892x - 38,5$ $\bar{\delta} = 0,75\%$	x	$0,946x + 115,8$ $R^2 = 0,9851$	$-30,62x + 2493$ $R^2 = 0,9170$
σ_B (МПа) =	$49,6x - 877,4$ $\bar{\delta} = 3,22\%$	$3,013x + 99,7$ $\bar{\delta} = 2,78\%$	$1,041x + 140,5$ $\bar{\delta} = 3,17\%$	x	$-32,17x + 2749$ $R^2 = 0,9199$
Ψ (%) =	$-1,472x + 109,6$ $\bar{\delta} = 4,49\%$	$-0,0863x + 79,3$ $\bar{\delta} = 6,39\%$	$-0,0229x + 78,3$ $\bar{\delta} = 7,32\%$	$-0,0286x + 82,1$ $\bar{\delta} = 5,23\%$	x

Полученные высокие значения R^2 ($0,91 \leq R^2 \leq 0,999$) приведенных в таблице линейных уравнений регрессии и малые $\bar{\delta}$ ($0,75\% \leq \bar{\delta} \leq 6,39\%$) (близкие по величине к погрешностям измерения механических свойств) показали, что результаты измерения каждого из физико-механических свойств могут быть использованы для определения (по крайней мере, весьма точной оценки) остальных физико-механических свойств стали 40X. Следовательно, для неразрушающего контроля механических свойств стали 40X достаточно разработать достоверный метод контроля ее твердости. О разработке [2] такого метода также сообщается в докладе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сандомирский, С. Г. Статистический анализ и использование взаимосвязей между физико-механическими свойствами сталей и чугунов / С. Г. Сандомирский. – Минск: Беларуская навука, 2021. – 144 с.
2. Сандомирский, С. Г. Корреляционные зависимости между механическими свойствами и магнитным параметром стали 40X / С. Г. Сандомирский // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – № 3 (48). – С. 43–50.

УДК 621.372.8:535

ЗАДАЧА СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ РАСТУЩЕГО СЛОЯ

Л. И. СОТСКАЯ¹, Е. А. ЧУДАКОВ², А. Б. СОТСКИЙ²¹Белорусско-Российский университет²Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова

Могилев, Беларусь

При нанесении интерференционных покрытий на поверхности применяются встроенные спектрофотометрические системы контроля оптических параметров слоев. В них в реальном времени (*in situ*) многократно измеряются спектры отражения $R_k(\lambda)$ либо пропускания $T_k(\lambda)$ слоя в процессе его роста (k – номер измерения). В силу технологических ограничений такие измерения осуществляются при фиксированном (чаще всего нулевом) угле падения света на слой. Этим определяется специфика обратной задачи спектрофотометрии слоя *in situ*. Действительно, если спектр $F_k(\lambda)$, где $F_k(\lambda) = R_k(\lambda)$, либо $F_k(\lambda) = T_k(\lambda)$ измерен на длинах волн λ_j , ($j = \overline{1, m}$), то данная задача, состоящая в определении значений показателя преломления $n_j = n(\lambda_j)$ и текущей толщины слоя d_k , не имеет единственного решения, т. к. число неизвестных параметров превышает число измерений. Для преодоления этой трудности необходимы дополнительные условия.

В работе в качестве такого условия рассматривается допущение постоянства показателя преломления слоя в процессе роста слоя. Тогда если измерены q спектров $F_k(\lambda_j)$ ($k = \overline{1, q}$), то $qm > q + m$, где qm – число измерений, $q + m$ – число неизвестных.

Пусть слой наносится на плоскопараллельную диэлектрическую подложку. Тогда можно получить уравнение

$$d_k = 0,25\lambda\pi^{-1}\Phi(n, F_k), \quad (1)$$

где функция $\Phi(n, F_k)$ допускает аналитическое задание. Алгоритм решения обратной задачи состоит в выборе некоторого значения $n_1 = n(\lambda_1)$, вычислении d_k на основании (1) и последующем численном решении уравнения (1) относительно n_j ($j > 1$) при данном d_k . В результате достигается полное совпадение теоретических и экспериментальных спектров $F_k(\lambda_j)$ при всех k и j . Но значения n_j ($j > 1$) в общем случае зависят от k ($n_j = n_{jk}$). Такая

зависимость исключается только при истинном n_1 , который доставляет минимум функции

$$D(n_i) = (mq)^{-1} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q [n_{jk} - q^{-1} \sum_{p=1}^q n_{jp}]^2.$$

О корректности алгоритма свидетельствует рис. 1. Он соответствует нанесению слоя Nb_2O_5 на подложку из стекла К8. В качестве «экспериментальных» использованы рассчитанные на основании строгих соотношений [1] спектры $R_k(\lambda_j)$ при $q = 5$, $d_{k+1} - d_k = 2,8$.

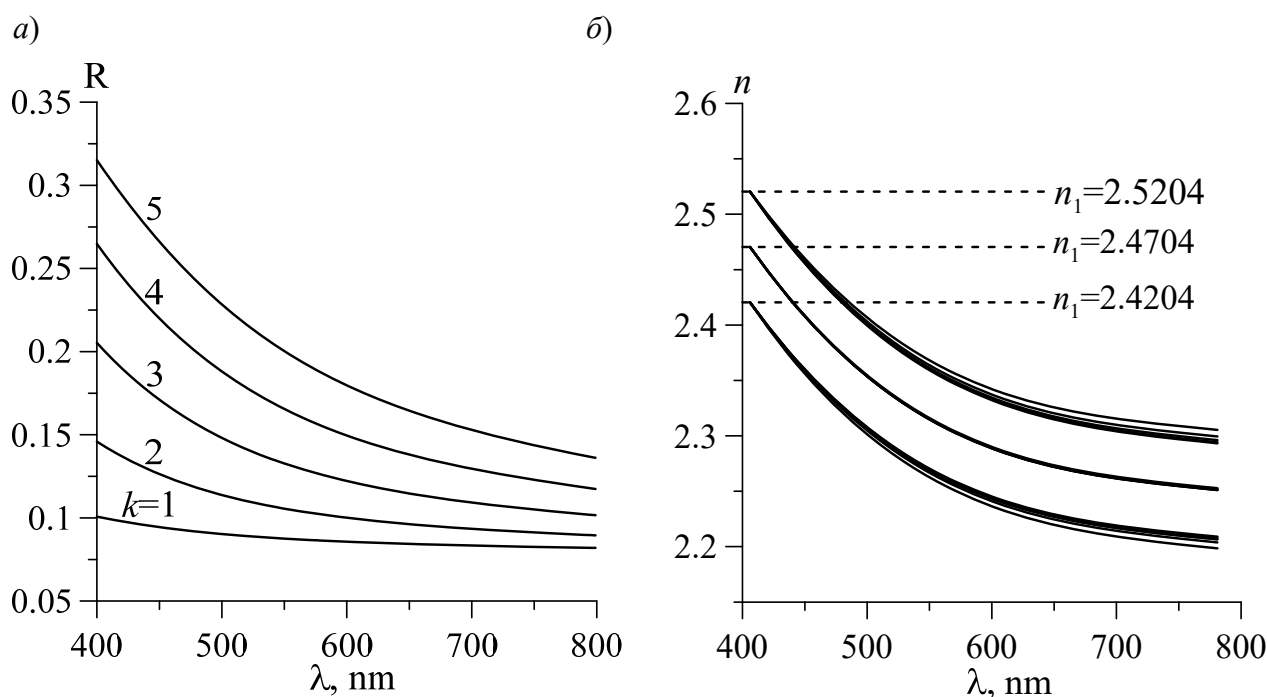


Рис. 1. Спектры коэффициента отражения растущего слоя (а) и результаты их обработки по описанному алгоритму (б)

Согласно рис. 1, б, при отклонении значения n_1 от истинного $n_1 = 2,4704$ действительно наблюдается разброс восстановленных спектров $n(\lambda)$, который возрастает по мере увеличения толщины слоя и удаления λ от $\lambda_1 = 406$ нм.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований РБ «1.15 Фотоника и электроника для инноваций».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спектроскопия слоев на плоскопараллельных подложках / А. Б. Сотский [и др.] // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т. 128, № 8. – С. 1133–1143.

УДК 336.6

ВОЗМОЖНОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ФИНАНСОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ

М. С. АЛЕКСАНДРЁНОК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Поддержание конкурентоспособности, получение положительного финансового результата требует от менеджмента систематической работы по поддержанию высокого технического уровня производства. При этом необходимо учитывать не только уровень физического состояния активной части основных производственных средств, но и степень их морального износа. Одним из важнейших факторов, оказывающих прямое воздействие на процессы и объемы обновления средств производства, выступают источники финансирования, которые необходимы в определенном объеме и установленные сроки. И если финансовые ресурсы в форме амортизационных отчислений и чистой прибыли находятся в собственности хозяйствующих субъектов, то доступ к заемным средствам при их многообразии ограничен различными условиями.

Первое место среди заемных средств принадлежит, конечно, банковскому кредиту, но именно данный инструмент может быть недоступен хозяйствующим субъектам, т. к. требует выполнения установленных критериев. Перечислим те, которые не могут быть выполнены исходя из отрицательного состояния корпоративных финансов:

а) имущественное обеспечение возврата кредита;

б) предоставление банку-кредитору информации, подтверждающей устойчивое финансовое состояние и инвестиционную кредитоспособность заемщика.

В такой ситуации организация может воспользоваться другим заемным инструментом, который не исключено, что будет дороже банковского кредита, но снимает для заемщика ограничения, наложенные кредитными отношениями, — это лизинг. Лизингополучателю не требуется предоставлять залог, необязательно сообщать информацию о финансовом состоянии.

Доступность лизинговых услуг для белорусских заемщиков демонстрирует табл. 1: превышение лизингодателей над кредиторами составляет 4–5 раз по годам [1].

Табл. 1. Количество кредитодателей и лизингодателей

Показатель	На 31.12.					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Банки	24	24	24	24	24	23
Лизинговые компании	95	103	97	108	112	110

Востребованность лизингового финансирования в белорусской экономике представлена на рис. 1 [2].

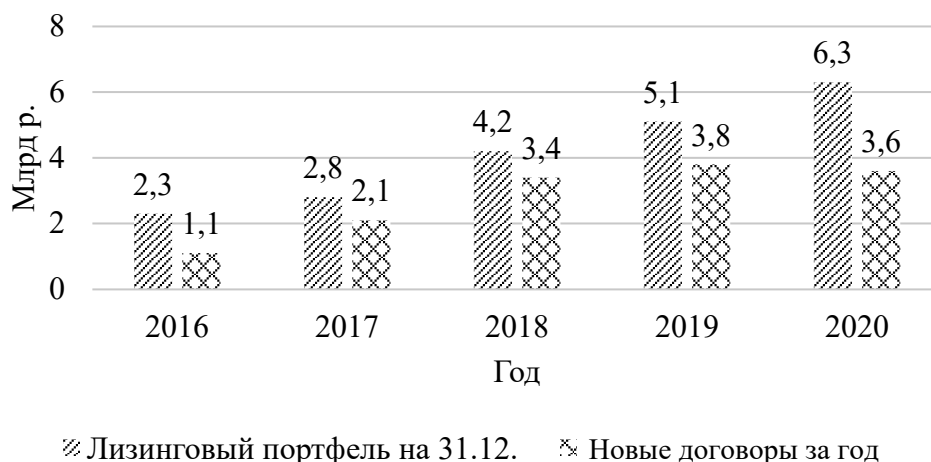


Рис. 1. Объем лизинговых услуг за 2016–2020 гг.

Как свидетельствуют данные на рис. 1, на протяжении анализируемого периода (2016–2020) наблюдается рост совокупного лизингового портфеля, включающего инвестиционный лизинг и потребительский лизинг: 108,7 %, 150,0 %, 121,4 %, 123,5 % по годам соответственно. Но в сегменте новых заключенных сделок лизингового кредитования при видимом их росте зарождается отрицательная тенденция: 2017 г. – плюс 90,9 %, 2018 г. – плюс 61,9 %, 2019 г. – плюс 11,8 %, 2020 г. – минус 5,3 %.

При разработке финансовой стратегии хозяйствующим субъектам целесообразно учитывать дополнительные выводы, полученные по результатам факторного анализа.

1. Количественное превышение лизингодателей над кредитодателями является формальным, т. к. существенная часть лизингового кредитования (более 90 %) приходится на треть лизинговых компаний, в 2020 г. это 27 организаций, из них 9 – банки-лизингодатели.

2. На замедление темпов лизингового кредитования воспроизводства основных средств белорусских хозяйствующих субъектов оказали значительное влияние макроэкономические факторы, в том числе:

– снижение деловой активности (2020 г. – эпидемиологический) и, как следствие, ухудшение состояния корпоративных финансов и рост инвестиционных рисков;

– рост стоимости кредитных ресурсов, которые привлекают лизинговые компании для финансирования своей деятельности, что влечет изменение цены лизингового кредита для лизингополучателя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лизинг [Электронный ресурс] // Официальный сайт Национального банка Республики Беларусь. – Минск, 2022. – Режим доступа: <http://www.nbrb.by>. – Дата доступа: 15.01.2022.
2. Шимонович, С. В. Белорусский рынок лизинга. Обзор 2020 г. [Электронный ресурс] / С. В. Шимонович, А. И. Цыбулько. – Минск: Энциклопедикс, 2021. – 160 с. – Режим доступа: <https://leasing-belarus.by>. – Дата доступа: 15.01.2022.

УДК 004.738.5:339.138

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕТИ ИНТЕРНЕТ КАК СРЕДСТВА КОММУНИКАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ

А. В. АЛЕКСАНДРОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Конкурентоспособность предприятий и организаций во многом зависит от усилий по продвижению своих товаров и услуг, формированию положительного общественного имиджа. В эпоху цифровой экономики основным средством осуществления такой деятельности становится сеть Интернет.

Направления использования интернета в коммуникационной политике:

- ведение корпоративного сайта и его поисковая оптимизация (Search Engine Optimization, SEO);
- ведение корпоративного блога;
- рассылка информации по электронной почте (E-mail-маркетинг);
- размещение видеоматериалов на видеохостингах;
- интернет-реклама;
- маркетинг в социальных сетях (Social Media Marketing (SMM));
- управление репутацией в интернете (Online Reputation Management (ORM)).

Преимущества использования интернета как средства коммуникационной политики:

- сравнительно низкая стоимость;
- возможность значительного расширения целевой аудитории за счет отсутствия географических и временных ограничений;
- разнообразие форм и методов;
- разнообразие средств воздействия;
- гибкость и быстрая реакция на изменения;
- возможность показа рекламных сообщений конкретной целевой аудитории (таргетинг);
- возможность немедленно измерить количественные результаты от каждого действия пользователей;
- возможность наладить качественную обратную связь с целевой аудиторией;
- скрытый характер воздействия отдельных инструментов.

Недостатки использования интернета как средства коммуникационной политики:

- недоступность интернета для отдельных слоев населения;
- необходимость постоянного управления качеством контента;
- навязчивость отдельных инструментов;
- возможность блокировки интернет-рекламы;
- загромождение рекламой веб-страниц;
- неэтичная и мошенническая практика интернет-маркетинга.

УДК 338.24:65.01

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА СТРАН ЕАЭС В 2020–2021 гг.

С. А. АЛЕКСАНДРОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Несмотря на трансформацию экономики и смещение структуры ВВП многих стран в сторону нематериального, и в частности информационного, сектора, промышленность остается одной из приоритетных отраслей экономики, вносящей значительный вклад в показатели социально-экономического развития страны. В то же время именно реальный сектор экономики и промышленность в частности в последние два года оказались в ситуации неустойчивости и кризиса из-за неустойчивости рынка. Это определяет актуальность изучения сложившихся тенденций и перспектив улучшения и стабилизации ситуации.

По данным департамента статистики Евразийского экономического союза [1] была изучена динамика промышленного производства пяти стран, входящих в состав ЕЭК. Результаты исследования показали, что в 2020 г. была очевидна тенденция снижения объема промышленного производства, характерная для всех стран. При этом если в начале года индекс промышленного производства различался – от минимального значения 94,2 % в Республике Беларусь, которая в силу развитых хозяйственных связей быстро ощутила на себе влияние ограничительных мер, связанных с пандемией в Китае, до максимального 114,0 % в Армении, то к концу года ситуация практически сравнялась, что показывает влияние глобальных проблем на экономики разных стран (рис. 1).

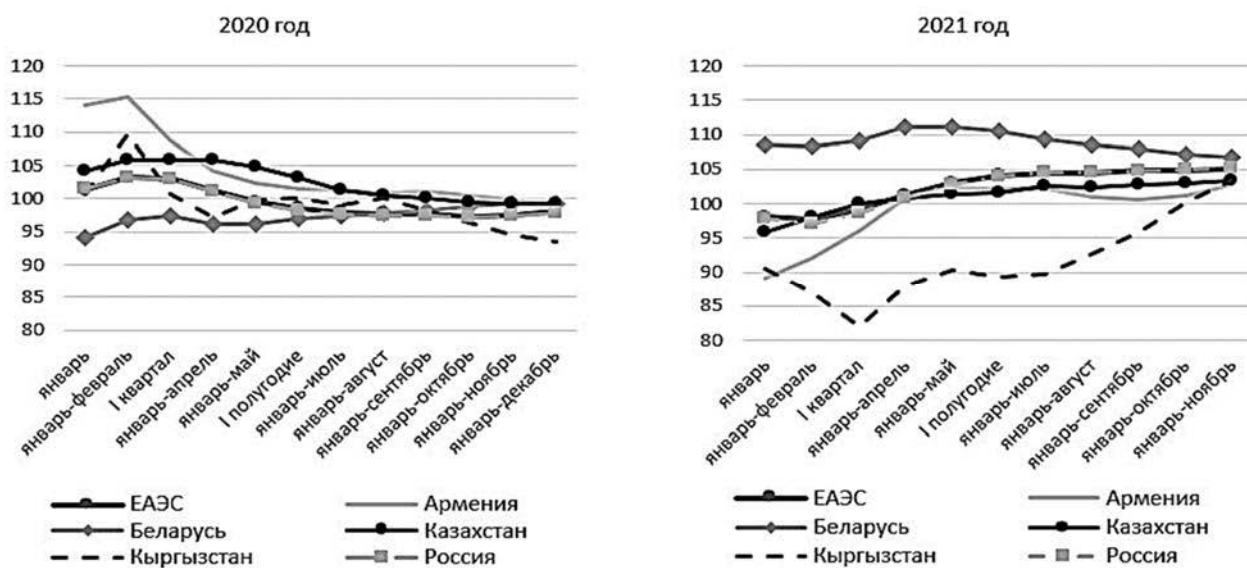


Рис. 1. Индекс промышленного производства в ЕАЭС в 2020–2021 гг. (в постоянных ценах; в процентах к соответствующему периоду прошлого года)

В 2021 г. в целом по ЕАЭС к концу первого квартала объем промышленного

производства вышел на уровень 2020 г., и в дальнейшем отмечался только его рост. При этом по отдельным странам ЕАЭС можно отметить неоднородность. Так, продолжилось ухудшение ситуации в Кыргызстане, которое наметилось еще во второй половине 2020 г., но существенного влияния на общую ситуацию это не оказало из-за небольшого вклада данной страны в общий показатель по ЕАЭС. В Республике Беларусь на протяжении 2021 г. был зафиксирован самый высокий рост промышленного производства среди всех стран ЕАЭС, хотя и несколько замедлившийся к концу года. Остальные страны продемонстрировали плавный, но стабильный рост в течение года.

Если сравнивать общую тенденцию, сложившуюся в ЕАЭС с ситуацией в Республике Беларусь, то видно, что они сильно различаются (рис. 2).

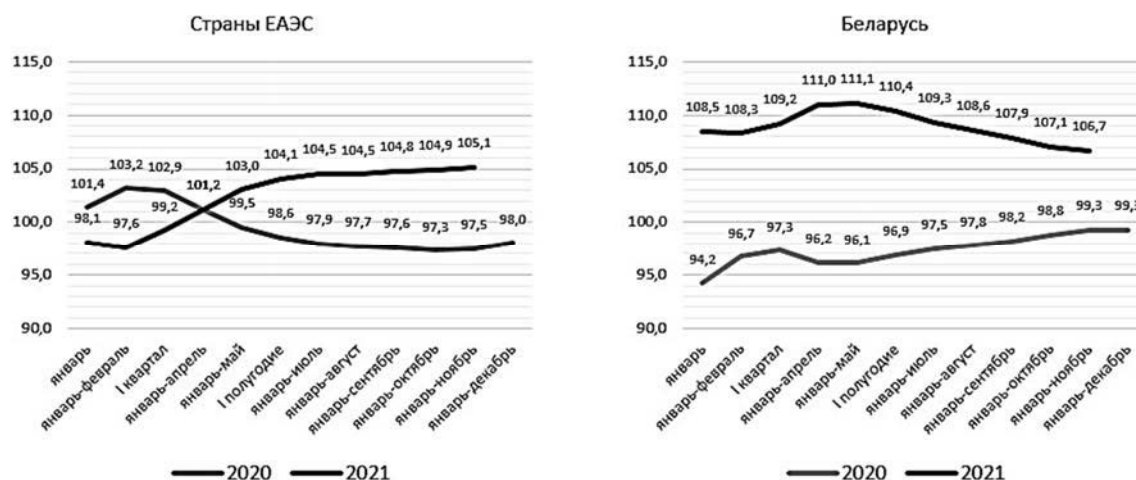


Рис. 2. Сравнительная динамика индекса промышленного производства стран ЕАЭС и Республики Беларусь в 2020–2021 гг.

В 2021 г. кризис промышленного производства 2020 г. постепенно разрешается и намечается тенденция дальнейшего роста. В Республике Беларусь до середины III квартала 2020 г. показатели роста промышленного производства были самыми низкими по сравнению с такими же показателями других рассматриваемых стран, и лишь в конце года появилась тенденция к восстановлению, однако показатель оставался на уровне ниже 100 %. С начала 2021 г. и до конца первого полугодия отмечался интенсивный рост, высокие показатели (до 111 %) были связаны как с оживлением экономики, так и с низкой базой сравнения 2020 г. Вторая половина 2021 г. по-прежнему характеризовалась ростом, хотя и не такими высокими темпами.

Таким образом, задачей на 2022 г. должны стать сохранение рынков сбыта и стабилизация роста промышленного производства в приемлемых значениях, соответствующих ресурсным и сбытовым возможностям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистика ЕАЭС [Электронный ресурс] // Евразийская экономическая комиссия (ЕЭК). – 2021. – Режим доступа: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/I ntegr_i _makroec/dep_stat/union_stat/Pages/default.aspx. – Дата доступа: 20.01.2022.

УДК 004, 334, 62-1

ПРИОРИТЕТЫ СОВМЕСТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СОЗДАНИИ ЦИФРОВОГО СУВЕРЕНИТЕТА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С УЧЕТОМ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С. М. АРАКЕЛЯН

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Владимир, Россия

1. Ключевой вопрос взаимодействия Республики Беларусь и России в высокотехнологичных секторах промышленности как основа национальной безопасности Союзного государства в современном монетаристски устроенном мире на космополитических принципах: что является первичным и самодостаточным – взаимодействие двух стран и/или ориентация на реакцию новых и старых партнеров в мировом конкурентном ландшафте экономических и политических приоритетов в процессах якобы глобализации мировой экономики?

В этом аспекте хороший пример для России дает экономика Беларуси и ее достижения, где на сегодняшний день функционируют практически все предприятия, которые действовали на ее территории в СССР [1]. В России же нет: такие стратегические направления, как авиаиндустрия, автомобилестроение, сельскохозяйственная и дорожная техника и даже их фрагменты типа моторостроения, полностью были утеряны до последнего времени, а в г. Москве фактически ликвидируется сектор наукоемкого производства даже по линии ОПК – в приоритете тотально развивается только сфера услуг и бизнес-представительств. Характерно, что в г. Минске все функционирует в этих машиностроительных отраслях. Кроме того, следует отметить, что по уровню качества жизни в мире Россия на 67-м месте (2021 г.), а Беларусь – на 60-м [2]. Поэтому миф о выгоде только для Беларуси Союзного государства не основан на фактах по состоянию высокотехнологичных секторов экономики двух стран.

2. На сегодняшний день можно говорить о недостаточном уровне использования результатов научного подхода и алгоритмов предсказательного моделирования в практической деятельности властных структур в аспекте социально-экономического прогноза траектории развития России. А это – прямая угроза национальной безопасности. Здесь сотрудничество с Беларусью может быть решающим даже для технологий «ручного управления».

По мировому опыту (например, США) для венчурных наукоемких проектов высокие прибыли обеспечивает только 25 % проектов; без фактического запланированного результата по заявленному изделию остаются 15 % проектов [3]. Но считается, что средства ушли как задел на будущее в аспекте создания научно-конструкторской инфраструктуры и приобретённого опыта для конкурентных разработок.

3. Среди совместных проектов и инициатив (дополнительно к традиционным для наших стран областям сотрудничества по лазерным технологиям и нанотехнологиям (новые материалы и покрытия), машиностроению – конкретные примеры достижений здесь отражены в докладе) приоритетной является реализация научно-технических направлений в области цифрового суверенитета Союзного государства во всех его аспектах. Это стратегическое направление должно в целом обеспечить конкурентноспособность высокотехнологичной продукции на мировом рынке, а также и мировое лидерство в разработке элементов логических систем на новых физических принципах, например, с использованием подходов квантовой нанофотоники низкоразмерных топологических структур разных композиционных составов и из разных/новых материалов. В частности, акцент делается на таких принципиальных блоках в современной мировой конкурентной среде, как создание нейроморфной архитектуры фотонного процессора и разработка уникальных квантовых технологий. В последнем случае коммерческим продуктом, уже реализуемым в Союзном государстве и конкурентным на мировом рынке, являются квантовые инфокоммуникационные системы на базе достижений нелинейной динамики, квантовой информационной теории с реализацией протоколов квантовой криптографии.

4. В данном аспекте России есть чему поучиться у Беларуси, как вести хозяйство для достойного места страны в мировой экономике и построения истинно социально ориентированного государства. В этом русле находятся последние договоренности руководителей наших стран, а также мероприятия типа VIII форума регионов России и Беларуси (Совет Федерации Федерального Собрания РФ, 29 июня – 01 июля 2021 г.). Далее – к настоящему времени администрация Владимирской области и Правительство Республики Беларусь разработали совместный план по реализации Соглашения между сторонами о промышленном, торгово-экономическом, научно-техническом, социально-культурном сотрудничестве [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Экономика Белоруссии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%91%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D1%80%D1%83%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8. – Дата доступа: 31.01.2022.

2 Рейтинг стран мира по уровню жизни 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://basetop.ru/rejting-stran-mira-po-urovnyu-zhizni-2021/>. – Дата доступа: 31.01.2022.

3 Что такое венчурные инвестиции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bankiros.ru/wiki/term/wikf-venshurnyje-investicii>. – Дата доступа: 31.01.2022.

4 Промышленники Владимирской области и Республики Беларусь обсудили перспективы сотрудничества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://avo.ru/-/promyslenniki-vladimirskoj-oblasti-i-respubliki-belarus-obsudili-erspektivy-sotrudnicstva>. – Дата доступа: 31.01.2022.

УДК 657.47

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АССОРТИМЕНТНОЙ ПОЛИТИКИ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ МАРЖИНАЛЬНОГО АНАЛИЗА

О. В. БАЛЬЧЕВСКАЯ, А. А. МИНИНА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Результатом эффективного функционирования коммерческой организации всегда выступает прибыль, размер которой напрямую зависит от величины доходов, формируемых прежде всего от основного вида деятельности. Одним из инструментов оптимизации доходов организации выступает разработка ассортиментной политики. Предлагается в основу разработки ассортиментной политики организации внедрить результаты проведения маржинального анализа.

Проведем анализ маржинальной прибыли по каждой ассортиментной группе продукции организации (табл. 1).

Табл. 1. Структура маржинальной прибыли в разрезе ассортиментных групп продукции

Ассортиментная группа	Выручка от реализации продукции		Выборка, %	Маржинальная прибыль	
	тыс. р.	%		тыс. р.	%
Продукция № 1	4 047	24,34	12,29	3 063	25,26
Продукция № 2	2 506	15,07	12,39	1 322	10,90
Продукция № 3	1 874	11,27	13,65	984	8,11
Продукция № 4	7 123	42,85	13,97	6 055	49,94
Продукция № 5	1 071	6,47	17,83	699	5,79
Итого	16 621	100,00	–	12 123	100,00

Данные, представленные в табл. 1, показывают, что наибольшую маржинальную прибыль, как и выручку, формируют следующие ассортиментные группы: продукция № 4 – 49,94 %, продукция № 1 – 25,26 %, продукция № 2 – 10,9 % (в совокупности 86,1 % в общей сумме маржинальной прибыли). Рассчитаем, какую маржинальную прибыль на единицу продукции приносит каждая ассортиментная группа (табл. 2).

Табл. 2. Удельная маржинальная прибыль в разрезе ассортиментных групп продукции

Ассортиментная группа	Маржинальная прибыль, тыс. р.	Объем продаж, ед.	Удельная маржинальная прибыль, р./ед.
Продукция № 1	3 063	450 982	6,79
Продукция № 2	1 322	719 571	1,84
Продукция № 3	984	36 977	2,66
Продукция № 4	6 055	586 699	10,32
Продукция № 5	699	46 381	15,07
Итого	12 123	–	–

По результатам расчётов, представленных в табл. 2, можно сделать вывод, что наибольшую маржинальную прибыль на единицу продукции приносит продукция № 5 (15,07 р./ед.), а наименьшую – продукция № 2 (1,84 р./ед.). По результатам проведения маржинального анализа изменим структуру ассортимента в пользу высокомаржинальных ассортиментных групп с сохранением фактической величины выручки (табл. 3).

Табл. 3. Планируемая структура ассортимента

Ассортиментная группа	Структура выручки от реализации продукции		Планируемая структура выручки от реализации продукции		Объем продаж, ед.	
	тыс. р.	%	тыс. р.	%	2019 г.	план
Продукция № 1	4 047	24,34	4 685	28,18	450 982	520 555
Продукция № 2	2 506	15,07	3 042	18,30	719 571	1 014 000
Продукция № 3	1 874	11,27	532	3,20	36 977	627
Продукция № 4	7 123	42,85	7 766	46,72	586 699	647 166
Продукция № 5	1 071	6,47	596	3,60	46 381	25 913
Итого	16 621	100,00	16 621	100,00	—	—

Рассчитаем маржинальную прибыль, которую можно получить в результате совершенствования ассортиментной политики (табл. 4).

Табл. 4. Маржинальная прибыль по результатам совершенствования ассортиментной политики

Ассортиментная группа	Выручка от реализации продукции, тыс. р.	Объем продаж, ед.	Удельная маржинальная прибыль, р./ед.	Маржинальная прибыль, тыс. р.
Продукция № 1	4 685	520 555	6,79	3 535
Продукция № 2	3 042	1 014 000	1,84	1 866
Продукция № 3	532	627	2,66	2
Продукция № 4	7 766	647 166	10,32	6 679
Продукция № 5	596	25 913	15,07	390
Итого	16 621	—	—	12 472

Таким образом, маржинальная прибыль составила 12 472 тыс. р. Совершенствование структуры ассортимента организации позволяет получить прирост маржинальной прибыли на 349 тыс. р., или на 2,88 %.

Рассчитаем рост прибыли от реализации продукции организации при условии совершенствования структуры ассортимента (табл. 5).

Табл. 5. Прибыль от реализации продукции по результатам совершенствования ассортиментной политики

Показатель	тыс. р.	После изменения структуры ассортимента, тыс. р.	Изменение (+/–)	
			тыс. р.	%
Выручка от реализации продукции	16 621	16 621	0	0,00
Маржинальная прибыль	12 123	12 472	349	102,88
Постоянные расходы	11 967	11 967	0	0,00
Прибыль от реализации продукции	156	505	349	323,72

Из данных табл. 5 видно, что совершенствование ассортиментной политики на основе проведения маржинального анализа позволяет увеличить прибыль от реализации продукции организации, следовательно, результаты расчётов подтверждают необходимость формирования ассортимента таким образом, чтобы максимизировать маржинальную прибыль, которая, в свою очередь, будет способствовать росту прибыли от реализации продукции и чистой прибыли организации.

РЕКЛАМНАЯ И PR-ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ИНТЕРНЕТЕ

А. Е. ВОЛКОВА, Е. И. ВИКТОРОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Для достижения поставленных рекламных целей используют четыре главных способа рекламных коммуникаций или же продвижения: рекламу, личностные реализации, продвижение продаж и PR. Внедрение PR в сети Интернет дает возможность увеличить прибыль и количество целевой аудитории.

Присутствие личного веб-сайта у компании встречается довольно часто, и его наличие может быть признаком увеличения и улучшения маркетинговой, рекламной и PR-деятельности компании.

В ходе исследования была проведена балльная оценка веб-сайта, а также рекламной деятельности компании ООО «Автосалон 4 колеса». Максимальный балл равен 5 и соответствует наилучшему состоянию параметра, минимальный балл равен 0 и означает отсутствие параметра. Дизайн сайта – 5 баллов. Сайт является привлекательным, особенно для основной целевой аудитории, которой являются мужчины, предпочитающие оттенки синего и серого цвета. Контент – 4 балла. Контент является насыщенным и содержательным, имеется исчерпывающая информация по всем видам сделок, условиям платежей. Реклама – 4 балла. На главной странице имеется реклама отдельных услуг автосалона с возможностью перехода к их описанию.

Рекламная деятельность в интернете. Баннерная реклама – 0 баллов. Автосалон не использует баннерную рекламу в сети Интернет. Контекстная реклама – 0 баллов. Автосалон не использует контекстную рекламу. Реклама в социальных сетях – 4 балла. Реклама на специализированных сайтах – 5 баллов.

PR-деятельность в интернете. Спонсорство – 0 баллов. Автосалон не использует такой вид PR-деятельности. Публикации на тематических и новостных сайтах – 0 баллов. Таким образом, суммарная оценка сайта, рекламной и PR-деятельности ООО «Автосалон 4 колеса» в интернете составляет 58 баллов из 115 возможных, что является средним результатом.

Для дальнейшего функционирования компании следует поддерживать и совершенствовать рекламную и PR-деятельность в интернете. Например, основными направлениями совершенствования ООО «Автосалон 4 колеса» являются:

- 1) совершенствование отдельных элементов сайта как основного инструмента продвижения продукции и услуг автосалона;
- 2) активизация рекламной деятельности в интернете, в том числе за счет разработки различных видов реклам, не используемых автосалоном, и проведения работ по улучшению SEO-оптимизации;
- 3) разработка и проведение PR-мероприятий в интернете.

УДК 332.146.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ РЕГИОНОВ

Н. П. ДРАГУН, И. В. ИВАНОВСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В результате проведенных нами исследований формирующейся Минской агломерации (МА), в состав которой целесообразно включать пять АТЕ Минской области (Логойский, Смолевичский, Дзержинский, Узденский и Минский районы), установлено, что за период 2011–2020 гг. среднегодовой уровень (в процентах к областному значению) инвестиций в основной капитал (ИОК) на 1000 жителей в АТЕ, входящих в МА, выше на 70,6 п. п. соответствующего значения для остальных АТЕ региона, а среднегодовой индекс ИОК в АТЕ МА ниже на 0,9 п. п. аналогичного значения для остальных АТЕ области (табл. 1).

Табл. 1. Показатели инвестиционной активности АТЕ Минской области

Показатель	Значение по АТЕ Минской области		Разница, п. п.
	входящим в МА	не входящим в МА	
ИОК на 1000 жителей, долл. США			
в процентах к областному значению (среднее за период)	149,8	79,2	70,6
среднегодовой темп роста, %	98,1	99,0	–0,9

Эти результаты могут быть объяснены действием ряда агломерационных эффектов:

– эффектов экономии от масштаба: эффекты распределения выгод из совместного использования неделимых благ, координации спроса и предложения труда на рынке, увеличения емкости пространственно-доступного рынка сбыта;

– эффектов экономии от специализации: эффекты роста специализации при увеличении концентрации ресурсов и экономической активности, снижения логистических издержек у специализированных производств, функциональной адаптации территорий агломерации на основе «каскадной» передачи функций и производств от города-ядра к узлам второго и последующих порядков;

– эффектов экономии от локализации: эффекты диффузии инноваций на основе интенсификации обучения и кластеризации экономического развития.

Использование агломерационных эффектов для стимулирования инвестиций в регионах требует принятия ряда мер, направленных на развитие городских агломераций.

1. *Придать городским агломерациям в Концепции региональной политики статус одной из приоритетных для развития групп территорий.* Формулирование целей, задач, приоритетов и направлений их развития в увязке с достижением целей и задач государственной региональной политики на

среднесрочный и долгосрочный периоды.

2. *Утвердить на законодательном уровне критерии включения территорий в состав городских агломераций*, что необходимо для регулирования их развития. Границы агломераций должны иметь временную привязку и периодически пересматриваться, поскольку они постоянно меняются в связи с совершенствованием транспортно-дорожной сети и других факторов.

3. *Рассмотреть целесообразность изменения системы налогообложения в части, например, переноса акцента с налогов на доходы на налоги с собственности*, что позволило бы сгладить конфликт финансовых интересов между городами-ядрами и АТЕ, входящими в их агломерацию.

4. *Обеспечить координацию процессов развития агломераций и территорий опережающего развития (СЭЗов, ИП «Великий камень», ПВТ и других), в них локализованных.*

5. *Создать нормативно-правовые и организационные условия для обеспечения управления формирующимися агломерациями в Республике Беларусь в соответствии с этапом их развития:*

- в отношении большинства крупных городов в республике (кроме города Минска), находящихся на начальной стадии развития агломерации (предварительной), целесообразно создать необходимые условия для их договорного фрагментарного добровольного сотрудничества с прилегающими территориями в целях разработки документов стратегического планирования, формирования единой градостроительной политики, решения общих социально-экономических проблем, в том числе инфраструктурных и экологических;

- для агломераций, находящихся на стадии формирования (Минская агломерация), необходимо разграничить механизмы развития агломерации, которые должны находиться в ведении органов управления города-ядра и органов-управления прилегающих районов и городов-спутников, областных, республиканских органов управления, а также тех, которые могут быть реализованы на основе ГЧП;

- на этапе сформированной агломерации целесообразно, чтобы она стала единым объектом государственного управления и местного самоуправления. В связи с этим для Минской агломерации, в своем развитии переходящей от этапа формирующейся к этапу сформированной, целесообразно рассмотреть возможность создания дополнительных организационных структур управления, носящих признаки централизованных. Можно организовать при Минском горисполкоме Совет по развитию городов-спутников. Одновременно может быть создана *Ассоциация городов-спутников города Минска* (в соответствии с Законом «О местном управлении и самоуправлении в Республике Беларусь» местные Советы имеют право объединяться на добровольной основе в ассоциации). В перспективе для целенаправленного и комплексного развития Минской агломерации возможно создать самостоятельную административно-территориальную единицу – Минский столичный округ, в границах которого должно осуществляться территориальное регулирование и координация экономических и демографических процессов, обеспечивающих комплексное развитие и рациональную территориальную организацию жизни общества.

УДК 33.012.2:330.35

ЭФФЕКТИВНАЯ СОЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА КАК УСЛОВИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА

Н. С. ЖЕЛТОК

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Опыт высокоразвитых стран показывает, что для решения вопросов устойчивого экономического роста необходимо использовать концепцию развития человека. Практика показывает, что наибольший эффект достигнут в тех странах, где в течение длительного периода реализуется эффективная национальная политика человеческих ресурсов.

Сегодня в мировом сообществе экономический рост принято рассматривать не в качестве самоцели, а в качестве средства достижения в области развития и саморазвития человека. Поэтому в центре внимания социально-экономического развития Республики Беларусь должны стоять вопросы о том, как экономический рост может содействовать устойчивому и поступательному развитию человека.

При этом следует ориентироваться на параметры социальной системы, принятой ООН, компонентами которого являются здоровье, демографические показатели, социальная безопасность, воспитание, общее и профессиональное образование, условия труда, питание, объем потребления и сбережения, обеспечение жильем, одежда, транспорт, отдых и развлечения.

Достижение этих показателей должно обеспечиваться решением следующих социальных задач:

- сохранение и укрепление здоровья населения, увеличение продолжительности жизни как базового критерия эффективности социальной системы;
- совершенствование системы образования, позволяющей населению получить современные базовые и разрабатываемые наукой знания, необходимые для развития человека. В то же время необходимо сохранить и обогатить культурно-нравственный потенциал. Такой подход следует рассматривать как главную и гуманистическую цель;
- разработка и формирование новых правовых, бюджетно-налоговых механизмов, обеспечивающих достижение ключевых показателей социального развития и социальную защиту населения. Продолжающийся отток населения может поставить предел экономическому развитию в силу физической нехватки рабочей силы;
- значительный рост средних реальных доходов населения при одновременном существенном снижении доли населения с доходом ниже прожиточного минимума. Величина доходов должна быть такой, чтобы обеспечивать уровень

благосостояния людей, который необходим для производства физических и социально-качественных человеческих ресурсов. Ориентиром при определении величины доходов, отвечающих данному условию, являются соответствующие показатели европейских экономически развитых стран. Последовательное проведение такого курса ускорит формирование в республике среднего класса как определяющей силы общества и носителя социального потенциала нации;

- существенное повышение минимальных стандартов социальных благ, услуг, гарантий, предоставляемых государством. Они должны быть максимально приближены к уровню, который можно считать приемлемым с точки зрения обеспечения более или менее нормальных условий существования, что позволит обеспечить всестороннее развитие личности и прогресс общества в целом;

- сокращение масштабов, а в дальнейшем остановка депопуляции населения республики, создание предпосылок, стимулирующих возобновление его роста. Пока уменьшение численности и старение населения является одним из препятствий для выхода на устойчивые темпы экономического роста;

- формирование и реализация эффективной единой политики в отношении семьи и детства, выступающей главным средством воспроизводства молодежной составляющей человеческого потенциала с заранее заданными качествами и свойствами, отвечающими ориентирам экономического и социального развития Республики Беларусь;

- формирование условий, способствующих улучшению качества жизни молодежи как важнейшего фактора социального и экономического развития, формирование эффективной концепции и начало реализации молодежной политики, которая должна носить мобилизующий характер. Ставка на подрастающее поколение – ключ к решению многих проблем белорусской действительности;

- социальная поддержка и адаптация нетрудоспособного населения;

- повышение уровня защиты окружающей среды и оздоровление экологической обстановки. Важность выполнения этой задачи предопределяется её глобальным характером: от неё зависит возможность нормальной жизнедеятельности новых поколений жителей Республики Беларусь.

Решение названных и других задач невозможно без формирования экономической базы, адекватной их масштабам и сложности, с учетом того, что к намеченным социальным рубежам республике предстоит идти с невысокой стартовой позиции.

Поэтому создание эффективной социальной системы необходимо рассматривать как инструмент долгосрочного развития экономики Республики Беларусь.

УДК 338.24:004.41/42

ОТРАЖЕНИЕ В БУХГАЛТЕРСКОМ УЧЕТЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИЕМА ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ ПОСРЕДСТВОМ QR-КОДОВ

А. С. ЗУБКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Платежи по QR-коду – быстрый, удобный и современный способ совершать покупки и рассчитываться за услуги. Однако нормативно-правовыми актами в области бухгалтерского учета не определены некоторые аспекты использования данного платежного инструмента.

При приеме безналичных денежных средств за товары, работы, услуги посредством QR-кодов и приложения, установленного на мобильное устройство покупателя, расчеты за товары, работы, услуги производятся с использованием банковских платежных карточек, добавленных в мобильное приложение покупателя, без использования платежных терминалов организациями торговли и сервиса.

Организация-продавец для приема такой безналичной оплаты заключает договор с провайдером, который обеспечивает техническую реализацию таких расчетов. В его основе лежит программное обеспечение, посредством которого обеспечивается возможность оплаты товаров (работ, услуг) с использованием QR-кодов.

При приеме оплаты с использованием банковских платежных карточек зачисление денег на текущий счет продавца не всегда производится в день расчета с покупателем. В связи с этим для учета денежных средств, которые приняты от покупателей, но еще не зачислены на счет организации, следует использовать, по нашему мнению, отдельный субсчет счета 57 «Денежные средства в пути» (ч. 3 п. 3, п. 43 Инструкции о порядке применения типового плана счетов бухгалтерского учета, утвержденной постановлением Министерства финансов Республики Беларусь от 29.06.2011 г. № 50 (далее – Инструкция № 50)).

В момент оплаты заказчиком услуг банковской карточкой денежные средства, ожидаемые к получению от банка, будут отражены по дебету счета 57. Информация об этих суммах формируется программным обеспечением, подключаемым при заключении договора на интернет-эквайринг. Зачисление денежных средств на счет организации производится на основании выписки банка, получаемой на следующий день, и отражается записью: Дебет счета 51 «Расчетные счета» – Кредит счета 57.

Сумма, удерживаемая банком при зачислении денежных средств от заказчика, представляет собой вознаграждение банка за услугу по эквайрингу. Расчеты с банком по таким суммам следует отражать на счете 60 «Расчеты с поставщиками и подрядчиками» (п. 47 Инструкции № 50). Исходя из экономического смысла данного вознаграждения его следует учитывать в составе расходов на реализацию – по дебету счета 44 (пп. 28, 35 Инструкции

№ 50). Поскольку законодательством конкретный перечень этих расходов не установлен, организация вправе закрепить его в учетной политике (п. 5 ст. 9 Закона Республики Беларусь от 12.07.2013 г. № 57-З «О бухгалтерском учете и отчетности» (далее – Закон № 57-З)).

В Республике Беларусь начал работать бесплатный платежный сервис для мобильных устройств «Оплати», который работает с использованием QR-кодов. В его основе лежат электронные деньги и отсутствует привязка к банковской платежной карточке.

Система расчетов с использованием электронных денег «Оплати» – это совокупность юридических лиц, ИП, физических лиц, правил и процедур, обеспечивающих осуществление операций с электронными деньгами «Оплати». Разработчик данного платежного сервиса является оператором данной системы расчетов. Банк, с которым взаимодействует данный разработчик, эмитирует электронные деньги «Оплати» и осуществляет расчеты с их использованием. Определенный банк открывает электронные кошельки физлицам, организациям и ИП, которые являются участниками данной системы расчетов.

Электронные деньги, полученные от физлиц за товары (работы, услуги) и зачисленные в электронный кошелек организации-продавца, подлежат погашению не позднее второго банковского дня, следующего за днем поступления в банк информации об их зачислении. Погашение производится путем обмена электронных денег на безналичные денежные средства и перечисления их на текущий (расчетный) счет организации.

В такой системе расчетов погашение производится путем обмена из расчета 1 единица электронных денег «Оплати» на 1 белорусский рубль. Через личный кабинет в сети Интернет организация-продавец, ИП управляют электронным кошельком и получают уведомления – информацию о совершенных операциях с электронными деньгами, в том числе путем формирования выписки по электронному кошельку.

Законодательством в области бухгалтерского учета не определен порядок учета операций с использованием электронных денег. По этой причине организации нужно определить такой порядок самостоятельно и закрепить в своей учетной политике (п. 5 ст. 9 Закона № 57-З).

Нами предлагается для учета операций с электронными деньгами использовать отдельный субсчет счета 76 «Расчеты с разными дебиторами и кредиторами». При зачислении электронных денег в электронный кошелек продавец отражает по дебету отдельного субсчета счета 76 дебиторскую задолженность банка. При погашении электронных денег эта задолженность уменьшается (п. 59 Инструкции № 50). Также возможно использование отдельного субсчета счета 57 (п. 43 Инструкции № 50).

Сумму комиссионного вознаграждения, удержанную банком за операции, произведенные в системе расчетов с использованием электронных денег «Оплати», следует учитывать на счете 26 «Общехозяйственные затраты».

УДК 338.24

МЕХАНИЗМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

А. В. КАЗАНСКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Наряду с отраслями социальной сферы, дорожное хозяйство является одним из главных потребителей средств государственного бюджета. В 2022 г. Республиканский дорожный фонд формируется в сумме 581,173 млн р., дополнительно выделяется из средств республиканского бюджета 189,469 млн р. и в целом в соответствии законом о республиканском бюджете на 2022 г. финансирование дорожного хозяйства осуществляется в сумме 770,642 млн р., что составляет 2,5 % от расходной части бюджета страны.

Для оценки действующего механизма финансирования использованы данные по финансированию дорожного хозяйства европейских стран, приведенные на рис. 1.

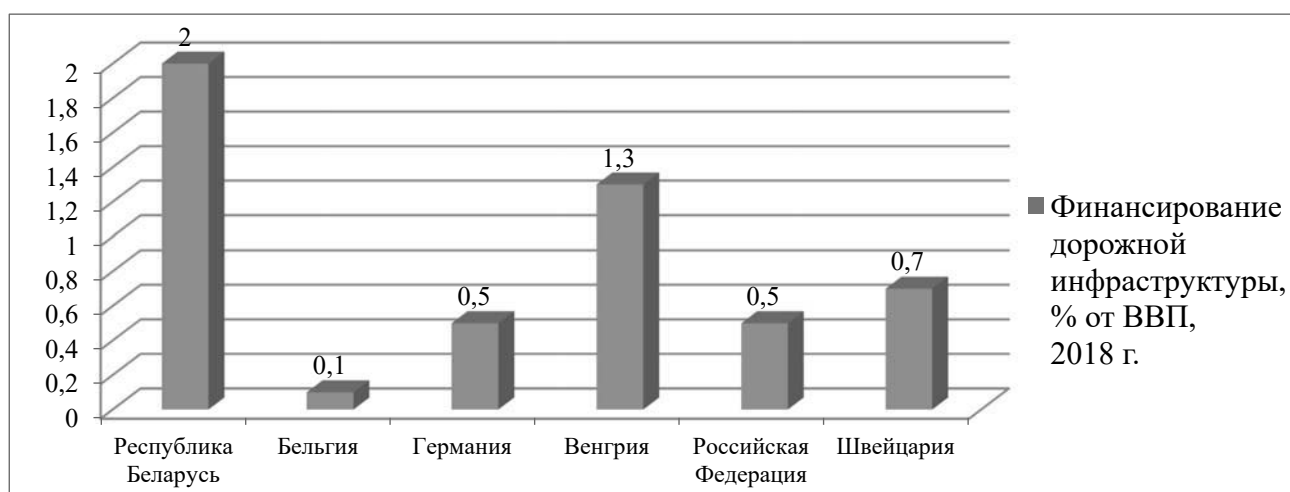


Рис. 1. Расходы на дорожную инфраструктуру

Среди указанных стран доля расходов на дорожное хозяйство от ВВП самая большая в Республике Беларусь. Однако приведенные данные не позволяют оценить расходы в денежном исчислении, поскольку размер ВВП данных стран значительно отличается.

В табл. 1. приведены данные по финансированию дорожной инфраструктуры в пересчете на одного жителя страны с учетом паритета покупательной способности (ППС) национальной валюты.

Табл. 1. Финансирование дорожной инфраструктуры в пересчете на одного жителя страны

Страна	Размер финансирования (евро с учетом ППС)						
	2000 г.	2008 г.	2010 г.	2012 г.	2014 г.	2016 г.	2018 г.
Республика Беларусь	–	117,0	111,6	186,8	141,6	117,2	121,9
Бельгия	21,4	17,4	38,7	56,9	41,9	78,1	62,2
Германия	195,4	171,3	180,2	173,5	175,5	171,4	201,5
Венгрия	30,2	104,5	93,7	17,1	142,3	88,7	173,5
Российская Федерация	37,1	61,9	40,1	49,8	51,9	61,9	51,0
Швейцария	725,0	634,1	663,8	615,3	561,6	535,8	536,6

Анализ таблицы позволяет сделать некоторые выводы. В большинстве указанных стран размер финансирования нестабилен, наиболее ярко это видно на примере государств Восточной Европы, например Венгрии, где с 2012 г. по 2018 г. размер финансирования менялся в пределах с 17,1 до 173,5 евро. Определенной стабильностью отличается финансирование в Германии, где дорожная инфраструктура является образцовой для европейских стран. Следует еще раз отметить Венгрию, где размер финансирования за период с 2000 г. по 2018 г. увеличился более чем в 5 раз. Максимальный размер финансирования отмечается в Швейцарии, это объясняется высокой стоимостью строительства и эксплуатации дорог в условиях горных ландшафтов страны. Размер финансирования дорожной инфраструктуры в пересчете на одного жителя страны в Республике Беларусь ниже, чем в большинстве европейских стран, настораживает тенденция его снижения с 2012 г.

Нестабильное финансирование дорожного хозяйства стран не позволяет в полной мере планировать развитие инфраструктуры, принимать долгосрочные программы развития дорог, повышать качество их содержания и ремонта.

Значительные средства бюджета Республики Беларусь выделяются на дорожное хозяйство. Но, несмотря на то, что выделяемых средств недостаточно, увеличивать их долю в бюджете представляется неоправданным, поскольку она и так велика. Увеличение объема финансирования необходимо связывать с увеличением ВВП нашей страны, расширением сети платных дорог, привлечением негосударственных источников финансирования. Пересмотру подлежит размер транспортного налога, в 2022 г. он составляет только 28 % доходной части республиканского дорожного фонда. Представляется нецелесообразным расширение кредитования проектов в дорожном хозяйстве, на погашение кредитов банков и выплату процентов по ним предусмотрено 158,385 млн р. (20,5 %) от средств республиканского дорожного фонда в 2022 г.

УДК 659.15

АНАЛИЗ ОБОБЩАЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫСТАВОЧНО-ЯРМАРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОАО «ЛЕНТА»

Л. А. КЛИМОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Выставки и ярмарки являются одним из эффективнейших средств маркетинговых коммуникаций, т. к. в них одновременно участвуют специалисты, производители и потребители, что дает возможность участникам параллельно решать вопросы сбыта, определять круг покупателей и партнеров. ОАО «Лента» является активным участником выставок, проводимых как в Республике Беларусь, так и в других странах СНГ, ближнем и дальнем зарубежье. Анализ обобщающих показателей эффективности выставочно-ярмарочной деятельности ОАО «Лента» за 2021 год представлен в табл. 1.

Табл. 1. Анализ обобщающих показателей эффективности выставочно-ярмарочной деятельности ОАО «Лента»

Показатель	План	Факт	Отклонение, р.	Выполнение плана, %
1 Общее количество выставок, шт.	30	21	-9	70,00
2 Суммарные затраты за год, у. е.	135 000	106 931	-28 069	79,21
3 Количество проведенных переговоров, шт.	750	722	-28	96,27
4 Суммарное количество заключенных договоров, шт.	320	310	-10	96,88
5 Суммарное количество достигнутых договоренностей о сотрудничестве, шт.	225	252	27	112,00
6 Суммарный коэффициент полезных контактов	0,73	0,78	0,05	106,85
7 Количество полученных дипломов, шт.	5	10	5	200,00
8 Суммарный объем реализации продукции за год по итогам участия в выставках, у. е.	930 000	843 741	-86 259	90,72
9 Средний объем реализации в расчете на выставку, у. е.	31 000	40 178	9178	129,61
10 Среднее количество заключенных договоров в расчете на выставку, ед.	11	15	4	136,36
11 Рентабельность продукции, %	16,4	17,2	0,8	104,88
12 Прибыль от участия в выставках, у. е.	152 520	145 124	-7396	95,15
13 Чистая прибыль от участия в выставках, у. е.	17 520	38 193	20673	218,00
14 Эффективность участия в выставках (п. 13 / п. 2 · 100), %	13,0	35,7	22,7	274,62

Как показывают данные табл. 1, фактически в 2021 г. по сравнению с планом общее количество выставок, в которых предприятие приняло участие, снизилось на 9 шт., или на 30 %, суммарные затраты снизились на 28 069 у. е., или на 20,79 %, суммарное количество переговоров снизилось на 28 шт., или

на 3,73 %, суммарное количество заключенных контрактов снизилось на 10 шт., или на 3,12 %, суммарный объем реализации продукции по итогам участия в выставках снизился на 86 259 у. е., или на 9,28 %, прибыль от участия в выставках снизилась на 7 396 у. е., или на 4,85 %. При этом суммарное количество достигнутых договоренностей о сотрудничестве увеличилось на 27 шт., или на 12 %, суммарный коэффициент полезных контактов увеличился на 0,05 пунктов, или 6,85 %, количество полученных дипломов увеличилось на 5 единиц, или на 100 %, средний объем реализации в расчете на выставку увеличился на 9 178 у. е., или на 29,61 %, среднее количество заключенных договоров в расчете на выставку увеличилось на 4 шт., или на 36,36 %, прибыль от участия в выставках снизилась на 6 387,8 у. е., или на 4,22 %, чистая прибыль от участия в выставках увеличилась на 20 673 у. е., или на 118 %, общая эффективность участия в выставках увеличилась на 22,7 процентных пункта, или на 174,62 %.

Факторный анализ эффективности участия предприятия в выставках-ярмарках проводится по следующей факторной модели:

$$\mathcal{E} = ЧП / З \cdot 100 \%,$$

где $ЧП$ – чистая прибыль, полученная от участия в выставках, у. е.; $З$ – затраты предприятия на участие в выставках-ярмарках, у. е.

Расчет влияния факторов проведем с помощью метода цепных подстановок.

$$\mathcal{E}_{\text{план}} = ЧП_{\text{план}} / З_{\text{план}} \cdot 100 = 17\,520 / 135\,000 \cdot 100 = 12,3 \, \%$$

$$\mathcal{E}_{\text{усл}} = ЧП_{\text{факт}} / З_{\text{план}} \cdot 100 = 38\,193 / 135\,000 \cdot 100 = 28,3 \, \%$$

$$\mathcal{E}_{\text{факт}} = ЧП_{\text{факт}} / З_{\text{факт}} \cdot 100 = 38\,193 / 106\,931 \cdot 100 = 35,7 \, \%$$

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{чп}} = \mathcal{E}_{\text{усл}} - \mathcal{E}_{\text{план}} = 28,3 - 12,3 = 16 \, \%$$

$$\Delta \mathcal{E}_z = \mathcal{E}_{\text{факт}} - \mathcal{E}_{\text{усл}} = 35,7 - 28,3 = 7,4 \, \%$$

$$\Delta \mathcal{E}_{\Sigma} = \mathcal{E}_{\text{факт}} - \mathcal{E}_{\text{план}} = 35,7 - 12,3 = 23,4 \, \%$$

Как показывают расчеты, эффективность выставочно-ярмарочной деятельности по сравнению с планом увеличилась на 23,4 процентных пункта, в том числе за счет роста чистой прибыли на 20 673 у. е. эффективность выставочно-ярмарочной деятельности увеличилась на 16 процентных пунктов, за счет снижения затрат на выставки на 28 069 у. е. эффективность выставочно-ярмарочной деятельности увеличилась на 7,4 процентных пункта.

Таким образом, несмотря на снижение общего количества выставок, в которых предприятие приняло участие, а также объема реализации от участия в выставках и прибыли от участия, наблюдается рост эффективности участия предприятия в выставках. Основными мероприятиями по дальнейшему повышению эффективности выставочно-ярмарочной деятельности являются снижение затрат на выставки, например, за счет участия в онлайн-выставках, разработки и размещения на собственном сайте и на сайтах организаторов виртуального стенда и 3D-выставки предприятия; активизация работы стендистов во время выставки по привлечению посетителей и проведению переговоров, обеспечивающих заключение выгодных контрактов и др.

УДК 659.15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВЫСТАВОЧНО-ЯРМАРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОАО «ЛЕНТА»

Л. А. КЛИМОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Ежегодно ОАО «Лента» принимает активное участие не менее чем в двадцати выставках и ярмарках республиканского и международного уровня по следующим направлениям: выставки текстиля – для экспонирования гардин и текстильных изделий, например, «Heimtextil» (г. Москва), «Текстильлегпром» (г. Москва), «Белтекслегпром» (г. Минск); выставки медицинской тематики – для экспонирования бинтов, перевязочных материалов и других товаров медицинского назначения, например, «Достижения Медицины» (г. Минск), «Здравоохранение Беларуси» (г. Минск), «Индустрия здоровья» (г. Москва); выставки для силовых структур – для экспонирования погон, поясов спасательных пожарных, лент для пошива военного обмундирования, например, «Госзаказ» (г. Москва), «Человек и безопасность» (г. Минск), «Российские производители и снабжение вооруженных сил» (г. Москва) и др.

На каждой из выставок свою продукцию представляют сотни экспонентов. Так, например, в выставке «Heimtextil» (г. Москва) в 2021 г. приняли участие 116 экспонентов из 14 стран мира, в выставке «Российские производители и снабжение вооруженных сил» (г. Москва) – 123 экспонента из 16 стран мира. Конкуренция и борьба за внимание посетителей чрезвычайно высока, и, следовательно, встает задача не только «завлечь» потенциальных партнеров на стенд предприятия, но и удержать их внимание, вызвать заинтересованность к экспонируемой продукции. На фоне традиционных выставочных стендов и оборудования, используемых подавляющим числом экспонентов, можно выделиться с помощью новых технологий и оборудования: проекционное картографирование – заключается в разработке качественного 3D-видео, которое будет демонстрироваться с помощью проектора на большой проекционный экран, благодаря чему можно не только эффектно представлять продукцию и предприятие, но и экономить средства на участие в выставке за счет сокращения затрат на транспортировку и таможенное оформление стандартных выставочных стендов; очки виртуальной реальности – можно использовать для демонстрации готовых текстильных изделий в интерьерах офисов, домов, квартир; триггерные технологии – заключаются в привлечении внимания посетителей с помощью звуковых, световых и видеоэффектов после совершения ими какого-либо действия, например, при открытии шторы на импровизированном окошке стенд будет заливаться солнечным светом, при закрытии – погружаться в красоту ночного звездного неба и т. п.

Использование современных технологий позволит сделать стенд уникальным и запоминающимся, а участие в выставках – более эффективным.

УДК 338

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ КОРЗИНЫ ПРИГРАНИЧНЫХ РЕГИОНОВ

С. Л. КОМАРОВА, М. Д. САКОВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Повышение качества жизни населения – одно из главных направлений государственных программ Республики Беларусь. Улучшение качества жизни – это показатель успешного и стабильного функционирования экономики.

Государственная политика, направленная на создание достойных условий для проживания граждан, – существенный фактор повышения конкурентных позиций региона и в целом страны.

Потребительская корзина Республики Беларусь систематически пересматривается, и на ее изменение влияют многие факторы – от внешней политики до ситуации на внутреннем рынке. Потребительской корзиной называют список вещей и услуг первой необходимости, в первую очередь учитываются такие категории, как продукты питания, ЖКХ, предметы гардероба, средства гигиены, лекарства, а также оплата транспортных услуг. Потребительскую корзину регулярно пересматривают, 5 раз в год. От потребительской корзины напрямую зависит размер социальных выплат.

Основываясь на состоянии потребительской корзины, формируют основной показатель для контроля над динамикой степени благосостояния населения и уровня необходимой социальной поддержки – минимальный потребительский бюджет.

Минимальный потребительский бюджет – размер расходов на базовые потребительские нужды – утверждается один раз в четыре месяца. Распределяется по шести социально-демографическим категориям и двум видам семей разного состава, по этой причине размер потребительской корзины для всех слоев населения разный.

Если рассматривать в целом состав потребительской корзины, то самый большой удельный вес приходится на продовольственные продукты. В Республике Беларусь доля продуктов питания по последним данным составляет 48,6 % в структуре среднедушевого минимального потребительского бюджета среднестатистической семьи на 2021 г. В перечень социально значимых товаров входят продукты, цены на которые жестко регулируются; на сегодняшний день в этом списке состоят 29 товаров: молоко, сахар, мука, гречка, кефир, сметана, творог, перловка, хлеб, свинина, курица, фрукты и овощи.

Корзина Российской Федерации также достаточно часто пересматривается; как можно заметить, факторы все те же, однако изменяется она намного медленнее и по другим принципам. Потребительская корзина в Российской Федерации менялась семь раз за последние семь лет. Доля основного показателя потребительской корзины, а именно доля продуктов питания, составляет 46,1 %.

Есть смысл в исследовании обратить внимание именно на показатель «прожиточный минимум», потому что многие ученые считают его «шкалой бедности». Бюджет прожиточного минимума рассчитывается с учетом минимальных физиологических норм и обозначает низкий жизненный стандарт, но на его основе рассчитывается минимальный потребительский бюджет.

Министерство труда и соцзащиты Республики Беларусь в Постановлении от 21.04.2021 г. № 29 утвердило размеры минимальных потребительских бюджетов для разных социально-демографических групп населения. Из всех категорий населения самый большой удельный вес составляет трудоспособное население, причем размер минимального потребительского бюджета для этой группы составляет 562,28 белорус. р. В Российской Федерации этот показатель составляет 13793 рос. р., или 467,8 белорус. р. (по курсу НБ РБ на 02.02.2022 г.).

По последним данным, потребители в среднем ежедневно оставляют в продуктовом магазине Республики Беларусь 15,1 р., причем для сравнения в 2019 г. средний чек составлял 14,2 р.

Граждане Российской Федерации, за исключением Москвы и Санкт-Петербурга, в среднем оставляют в продовольственном магазине 514 рос. р. (по курсу НБ РБ на 02.02.2022 г.); это 17,43 белорус. р. в сопоставимом виде.

Исходя из изложенной статистической информации средний трудоспособный белорус в продовольственном магазине может потратить 273,1 р., это 17 раз сходить за продуктами в месяц.

Средний россиянин за месяц на продукты питания может потратить 6346 рос. р., что в пересчете на белорусские рубли составляет 215,28 р. То есть с учетом среднего чека в российских магазинах это 13 раз сходить за продуктами.

Чем благополучнее страна, тем меньше граждане тратят денег на продовольствие, и не по причине дешевизны продуктов, а по причине высоких доходов населения. Меньше всего денег на еду тратят граждане Люксембурга (8,7 % своего бюджета).

Государственная политика Республики Беларусь направлена на поддержку социально незащищенных граждан. Данные расчеты показывают, что ситуация в Республике Беларусь на сегодняшний день более привлекательна, чем у наших ближайших соседей в Российской Федерации.

УДК 330.43

ПАНЕЛЬНАЯ РЕГРЕССИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА ЛОНГИТЮДНЫХ ДАННЫХ

В. А. ЛИВИНСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Панельный анализ (данных) – это статистический метод, который стал популярным в конце 90-х гг. прошлого столетия. Он широко используется для анализа двумерных (т. е. изменяющихся во времени и в пространстве) данных, которые встречаются в социальных науках, эпидемиологии, эконометрике. Такие данные в научной литературе называются лонгитюдные. Данные обычно собираются с течением времени и по одним и тем же объектам наблюдения, а затем проводится регрессия по этим двум измерениям.

Использование панельных данных позволяет более полно учесть особенности объектов, попавших в выборку. Каждый объект наблюдения обладает определенными признаками, которые могут воздействовать на результативный показатель, но плохо поддаются регистрации, т. е. являются латентными. Если их значения различны для разных объектов, но постоянны во времени, их влияние можно учесть, вводя в модель индивидуальные уровни для каждого объекта.

Если ненаблюдаемые переменные коррелированы с регрессорами, то коэффициенты лучше будут оцениваться моделью с фиксированными эффектами (fixed effects). В противном случае для панельных данных используют модели со случайными эффектами (random effects models).

Рассматривается также и обычная модель множественной регрессии (pooling model), для оценки коэффициентов которой используется обычный МНК. С помощью специальных тестов проводится сравнение качества полученных трех моделей между собой попарно и делается выбор в пользу наиболее достоверной.

В представленной работе по данным, размещенным в свободном доступе на сайте Всемирного банка, была оценена модель, описывающая связь между экономическими и демографическими показателями для пяти стран членов БРИКС за период с 2001 г. по 2019 г. Модель описывалась следующим уравнением:

$$Y_{i,t} = \beta_1 TI_{i,t} + \beta_2 UG_{i,t} + \beta_3 LGT_{i,t} + \beta_4 E_{i,t} + \gamma C_{i,t} + f_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t},$$

где $Y_{i,t}$ – логарифм ВВП на душу населения (постоянный 2010 г. в долларах США) в стране i за год t ; $TI_{i,t}$ – общий объем инвестиций, процент от ВВП, в стране i за год t ; $UG_{i,t}$ – прирост городского населения (процент в годовом исчислении) в стране i за год t ; $LGT_{i,t}$ – логарифм общей численности рабочей силы в стране i за год t ; $E_{i,t}$ – ожидаемая продолжительность жизни при рождении, всего (лет), в стране i за год t ; $C_{i,t}$ – вектор управляющих переменных; f_i – фиксированные эффекты; n_t – временные эффекты; $\varepsilon_{i,t}$ – случайные ошибки модели.

Коэффициенты β_i оценивались с помощью библиотеки PLM в R-STUDIO. Результат оценки представлен в табл. 1 (**p-value < 0.01, **p-value < 0.05, *p-value < 0.1).

Табл. 1. Результаты панельного анализа

Dependent variable: LOG(GDP) (MODEL 1)			
Coefficients	Pooling (Joint OLS)	RE (Model with random effects)	FE (Fixed Effects Model)
(Intercept)	16.25*** (1.34)	0.33 (4.52)	
TI (Total_investment)	0.03* (0.01)	0.03*** (0.01)	0.03*** (0.01)
UG (Urban_growth)	0.39*** (0.06)	0.48*** (0.06)	0.45*** (0.06)
LGT (log(Labor_force_total))	-0.42*** (0.08)	0.45 (0.24)	0.91** (0.29)
R^2	0.54	0.60	0.63
Adj. R^2	0.53	0.58	0.60
Num. obs.	95	95	95

В результате проведения тестов Хаусмана для выбора между случайными и фиксированными эффектами, F-теста для индивидуального эффекта, теста Бреуша – Пагана для сбалансированной модели была выбрана в качестве окончательной модель с фиксированными эффектами.

УДК 338.45

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛЕЙ

Т. М. ЛОБАНОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Приоритеты инновационного развития экономики предопределили в качестве критериев оценки эффективности инвестиционных процессов использование таких показателей, как прибыль на одного работника, производительность труда и экспорт.

В [1] изучен временной период наибольших капиталовложений в отрасли обрабатывающей промышленности, а также период, когда наблюдался максимальный темп роста критериев экономической отдачи.

Наиболее активно модернизация обрабатывающей промышленности шла в 2012–2015 гг. Исследования показали, что наибольшие темпы прироста показателей наблюдаются через 1–2 года после завершения капиталовложений. Так, в деревообрабатывающей промышленности наибольший прирост прибыли на одного работника (146 %) и производительности труда (33,4 %) наблюдался уже в 2016 г., а максимальный уровень прироста экспорта (36 %) – в 2017 г. Значимые изменения произошли и в производстве химических продуктов, где уже в 2014 г. наблюдался прирост производительности труда на 39,5 %, в 2015 г. экспорт вырос на 122 %, а в 2017 г. показатель прибыли на одного работника повысился на 127,4 %. По ряду других отраслей также наблюдается значимый рост одного или нескольких показателей, что позволяет сделать вывод о переходе на новый технологический уровень. Так, в пищевом производстве прибыль на одного работника увеличилась на 42,4 % при сравнительно небольшом росте остальных критериев.

Для каждого типа производства временной лаг наступления отдачи будет различаться. На его продолжительность окажут влияние две группы факторов:

- 1) длительность предынвестиционной и инвестиционной фазы проекта, которые заканчиваются вводом объекта в эксплуатацию;
- 2) длительность операционного и производственного цикла, которая зависит от технологии производства, уровня организации, снабженческой и сбытовой деятельности.

Данные исследования направлены на совершенствование методологии оценки эффективности макроэкономических показателей развития отраслей с учетом запаздывания наступления отдачи от капиталовложений и относительного характера изменения результирующих показателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобанова, Т. М. Оценка результативности инвестиционных процессов в обрабатывающей промышленности Республики Беларусь / Т. М. Лобанова // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2020. – № 4 (69). – С. 133–142.

УДК 338.2

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ И ПРОБЛЕМ ВО ВЗАИМОРАСЧЕТАХ СУБЪЕКТОВ ЮГО-ВОСТОЧНОГО РЕГИОНА МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

О. Д. МАКАРЕВИЧ, Д. М. МАКАРЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Проблемы во взаиморасчетах субъектов хозяйствования приводят к замедлению темпов социально-экономического развития не только самих субъектов, но и регионов в целом и являются одним из факторов, сдерживающих внедрение разрабатываемых программ комплексного развития регионов. В Могилевской области в целях комплексного социально-экономического развития семь районов объединены в юго-восточный регион (ЮВР), для которого разработана Программа социально-экономического развития юго-восточного региона Могилевской области на период до 2020 г., действие которой продлено до 2025 г..

Для определения тенденций, характеризующих проблемы во взаиморасчетах, проведена сравнительная оценка показателей экономического развития ЮВР и Могилевской области в целом (табл. 1).

Табл. 1. Динамика показателей экономического развития ЮВР и Могилевской области за 2019–2020 гг.

Показатель	2019 г.		2020 г.	
	Могилевская область	В том числе ЮВР	Могилевская область	В том числе ЮВР
Выручка от реализации продукции, товаров, работ, услуг, млн р.	20 382,1	1 538,8	20 970,7	1 637,3
Чистая прибыль, убыток, млн р.	505 238	37 670	31 462	–60 140
Рентабельность продаж, %	4,1	1,9	5,6	4,3
Дебиторская задолженность, млн р.	3 534	387,1	3 581,6	306,7
Доля просроченной дебиторской задолженности, %	30,8	32,5	30,8	33,4
Кредиторская задолженность, млн р.	6 345,2	1 892,3	6 961,7	2 399,2
Доля просроченной кредиторской задолженности, %	19	9,60	17	6,63

Представленные данные в табл. 1 свидетельствуют о том, что тенденции развития Могилевской области и ЮВР по многим индикаторам не совпадают. Из выявленных проблем в развитии ЮВР можно отметить то, что при росте рентабельности продаж в 2020 г. более чем в два раза чистая прибыль не была получена, а чистый убыток достиг 60 140 млн р. То есть на моменте продаж субъекты хозяйствования ЮВР получают положительный финансовый результат, а в результате неэффективной инвестиционной и финансовой деятельности образуется значительный чистый убыток, что сокращает возможности развития

региона в будущем без внешней помощи. Во взаиморасчетах для ЮВР выявлена тенденция роста доли просроченной дебиторской задолженности при одновременном снижении удельного веса просроченной кредиторской задолженности. Следует также отметить значительное превышение кредиторской задолженности над дебиторской особенно для ЮВР по сравнению с Могилевской областью. Все это свидетельствует о наличии проблем в аккумуляции денежных потоков в регионах Могилевской области.

Экономическое развитие ЮВР имеет индустриально-аграрный характер, при этом следует отметить, что такие районы, как Кричевский, Климовичский и Костюковичский, обеспечивают около 98 % промышленного производства ЮВР. Остальные районы имеют аграрную направленность. В табл. 2 представлены данные сравнительного анализа дебиторской и кредиторской задолженности в разрезе районов, входящих в ЮВР.

Табл. 2. Динамика дебиторской и кредиторской задолженности в разрезе районов, входящих в ЮВР, за 2019–2020 гг.

Район	Дебиторская задолженность, млн р.		Кредиторская задолженность, млн р.		Соотношение дебиторской и кредиторской задолженности, коэффициент	
	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.
Климовичский	107,4	118,5	94,9	99,4	1,132	1,192
Костюковичский	175,7	74,2	664,8	767	0,264	0,097
Краснопольский	4,2	3,7	22,2	23,8	0,189	0,155
Кричевский	59	84,2	739,1	995,6	0,080	0,085
Славгородский	12,9	5,6	43,5	56,6	0,297	0,099
Хотимский	9,1	10,5	57,3	61,3	0,159	0,171
Чериковский	18,8	10	270,5	395,5	0,070	0,025
Весь ЮВР	387,1	306,7	1 892,3	2 399,2	0,205	0,128

Аналитическая информация табл. 2 показала, что наибольшие проблемы с дебиторской и кредиторской задолженностями характерны для индустриально ориентированных районов, особенно для Костюковичского и Кричевского, для которых решение проблем во взаиморасчетах связано с деятельностью в области производства цемента и строительных материалов. Среди агроориентированных районов наиболее депрессивными являются Славгородский и Хотимский, для которых и необходимо предпринимать меры по укреплению финансовой дисциплины в рамках реализации мероприятий по росту эффективности хозяйственной деятельности, основными из которых могут быть выращивание прочих овощей, бахчевых, корнеплодных, клубнеплодных культур, деятельность по обработке семян для посадки, разведение прочего крупного рогатого скота, разведение сельскохозяйственной птицы, производство фруктовых и овощных соков, прочие виды переработки и консервирования фруктов и овощей, производство мороженого, производство рафинированных масел и жиров, а также переход на рыночные методы ценообразования, учитывающие качество производимой продукции и спрос на нее со стороны потребителей.

УДК 621

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ КАК ДРАЙВЕР ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Т. Ф. МАНЦЕРОВА, Е. П. КОРСАК

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Особенности развития отечественной экономики в условиях неблагоприятных факторов внешней и внутренней среды требуют иного подхода к рациональному использованию имеющихся ресурсов. Одним из ключевых направлений развития современного производства является реализация государственной политики в области энергосбережения.

В результате энергосберегающей деятельности в Республике Беларусь за период с 1990 г. по 2017 г. потребление топлива снизилось на 20 млн т н. э. при снижении энергоёмкости ВВП в 3,4 раза. За такой же период в других постсоветских странах она снизилась в 2 раза, а в России показатель энергоёмкости ВВП в 2019 г. превысил среднемировой на 40 %, на столько же соответствующий показатель США и на 62 % европейский.

Доведенный целевой показатель по энергосбережению в 2020 г. был выполнен на 100 % в Брестской и Минской областях, в Гомельской области был перевыполнен на 1,64 %. В Витебской области выполнение задания составило 99,28 %, в Гродненской – 98,54 %, в Могилевской – 97,92 % [1].

Однако, несмотря на принятые меры, уровень энергетических затрат в себестоимости отечественных промышленных предприятий все еще достаточно высок и имеет тенденцию к росту в связи со значительным износом эксплуатируемых активов. Поэтому при проведении энергосберегающей политики предприятиям следует выбирать не только низкозатратные проекты с малым сроком реализации, но и проекты с весомой эффективностью. Активному внедрению энергосберегающих мероприятий на предприятиях промышленности мешает ряд барьеров, преодоление которых позволит повысить энергоэффективность производства (рис. 1).

Развитие программы энергосбережения предполагает дальнейшую цифровизацию функций энергохозяйства предприятия. Этому могут способствовать внедряемые системы учета энергетических ресурсов (АСКУЭ, АСТУЭ и др.). Это позволяет, по мнению разработчиков, снизить сроки ликвидации аварий оборудования, существенно понизить удельное потребление энергоресурсов, обеспечить рост прибыли предприятия за счет оптимизации энергопотребления. Например, российской компанией SEDMAX разработан и внедрен на крупных энергоёмких предприятиях программный комплекс, который позволил оцифровать и объединить весь парк оборудования цеха в единую структуру. Это обеспечивает четкое и надежное регулирование системы энергоснабжения предприятия.

Высокозатратные энергетические обследования и программы энергосбережения	• Формирование программы энергосбережения на основе комплексного подхода и оптимизации затрат
Отсутствие эффективной системы управления энергосбережением	• Применение проектно-процессного подхода на основе идентификации процессов энергосбережения и их интеграции в системе бизнес-процессов предприятия
Высокая степень рисков при реализации проектов энергосбережения	• Учёт и оценка степени рисков энергосберегающих проектов
Значительная роль человеческого фактора при реализации проектов энергосбережения	• Оценка уровня и управление мотивацией персонала предприятия

Рис. 1. Барьеры и направления совершенствования организации энергосбережения на промышленных предприятиях

В Республике Беларусь также открыто опытное производство интеллектуальных приборов учета потребляемых ресурсов: тепловой энергии, воды, газа, электроэнергии на ООО «МИРТЕК-инжиниринг» в Гомеле. Здесь же осваивают производство «умных» счетчиков холодной и горячей воды в рамках реализации Директивы Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства», согласно которой все потребители тепловой энергии и воды должны быть обеспечены приборами учета и системами регулирования тепловой энергии и воды.

На сегодняшний день мировое сообщество стоит перед выбором динамичного развития или сохранения экологии и природных ресурсов. Сохраняя баланс тем не менее, следует делать упор на приоритетное развитие и активное использование инструментов энергосбережения. Это поможет решить вопрос снижения доли потребляемых ТЭР, обеспечит сохранение экологического баланса при одновременном развитии промышленного производства и повышении уровня жизни населения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Целевые показатели энергосбережения за январь-декабрь 2020 г. [Электронный ресурс] / Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. – 2021. – Режим доступа: <http://energoeffekt.gov.by/statistics/statinform/> / 20210204_cp4esb. – Дата доступа: 09.01.2021.

УДК 33.054.22

НАПРАВЛЕНИЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРИБЫЛИ И РЕНТАБЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Т. В. МЕДВЕДСКАЯ, В. В. МИХАЛЁНОК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Поиск направлений увеличения прибыли и рентабельности является актуальным для любой организации. В качестве объекта исследования в работе рассматривается сельскохозяйственная организация ОАО «Добоснянское». Основными товарными отраслями являются растениеводство (зерно, сахарная свекла, рапс) и животноводство (молоко и говядина).

Оценка основных экономических показателей деятельности ОАО «Добоснянское» за 2019–2020 гг. показала их положительную динамику: увеличилась выручка от реализации на 31,3 %, прибыль от реализации – в 2,1 раза, прибыль до налогообложения и чистая прибыль – в 2,8 раза, возросли показатели рентабельности. Тем не менее можно предложить следующие направления увеличения прибыли и рентабельности сельскохозяйственной организации:

1) изменение структуры посевных площадей в сторону увеличения посевов более рентабельных видов продукции. В организации за два года объем производства в натуральном выражении кукурузы увеличился на 22,4 %, а овса уменьшился на 47,7 %. При этом прибыль от реализации 1 т овса в 2 раза больше, чем от реализации кукурузы (22,22 и 11,25 р./т соответственно), а рентабельность реализации овса в 2020 г. составила 13,6 % против рентабельности кукурузы в размере 4,4 %. Под выращивание кукурузы в организации выделяется 160 га земли. Если часть площадей, предназначенных для выращивания кукурузы (например, 50 га), засеять овсом, то возможный прирост прибыли от реализации этих двух культур составит 17,8 %;

2) повышение урожайности пшеницы за счет замены сорта «Капылянка» на сорт «Элегия». Преимущества предлагаемого сорта: меньший срок созревания (на 12–15 дней), более высокие средняя урожайность (на 38 %) и содержание сырой клейковины (на 7–9 процентных пунктов), более высокая устойчивость к засухе, осыпанию, полеганию, различным поражениям. Также хлебопекарная оценка сорта «Элегия» выше, чем у сорта «Капылянка», что позволит улучшить качество выпекаемого хлеба и получить выгоду за счет увеличения цены. В результате реализации данного мероприятия возможный прирост выручки от реализации пшеницы увеличится на 27,4 %, а прибыль от реализации данной культуры – в 1,6 раза.

Таким образом, предложенные мероприятия являются выгодными для сельскохозяйственной организации, т. к. будут способствовать увеличению прибыли и, соответственно, рентабельности.

УДК 338.2

ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Т. Г. НЕЧАЕВА, Т. А. БОРОДИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Повышение эффективности деятельности предприятия определяется как комплексная программа устойчивого, существенного положительного изменения на основе ускоренного развития научно-технического прогресса, рационального использования всех элементов производительных сил. Она проявляется в преобладании конечных факторов в развитии экономики. Задействование факторов и резервов роста эффективности деятельности предприятия осуществляется по направлениям его развития и совершенствования деятельности, одним из которых является внедрение в практику хозяйствования логистики.

Повышение эффективности деятельности предприятия представляет собой сложную хозяйственную задачу, имеющую огромное значение для экономики организации. Это объясняется тем, что повышение эффективности торгово-производственной деятельности организации создает предпосылки для обеспечения ее конкурентоспособности и развития.

В современной экономике актуальность приобретает логистический подход, который представляет собой современный взгляд на организацию различных бизнес-процессов, в том числе и торговых, и производственных.

Объектом исследования выступало ЧТПУП «Мивал», которое является основным поставщиком лесохозяйственной продукции в г. Круглое и, соответственно, оказывает услуги заказчикам по доставке, погрузке, разгрузке продукции и др.

В 2020 г. снижение продукции, работ, услуг составило 258 тыс. р. и произошло за счет уменьшения лесозаготовок на 170 тыс. р. (доля выросла на 0,6 п. п.), распиловки и строгания древесины на 89 тыс. р. (доля сократилась на 0,6 п. п.).

ЧТПУП «Мивал» в 2020 г. повысило свою платежеспособность, финансовую устойчивость и эффективность деятельности, снизило деловую активность. В качестве негативного момента следует отметить значительное снижение выручки прибыли относительно 2018 г., что указывает на необходимость разработки мероприятий, направленных на рост эффективности деятельности предприятия и наращивания объемов продукции, работ, услуг.

В связи с замедлением оборачиваемости оборотного капитала на 52,9 дня произошло относительное привлечение средств в оборот на сумму 38,2 тыс. р., что сократило прибыль предприятия на 7,8 тыс. р.

На основании анализа работы грузовых автомобилей ЧТПУП «Мивал» можно сделать следующие выводы: пробег автомобилей за 2020 г. вырос

на 3 881 км и составил 220 091 км. Также отмечено снижение количества рейсов и дней автомобилей в работе. Следует заметить, что вместе с этим снизился расход горюче-смазочных материалов (на 5 %). Уменьшились дни автомобилей в ремонте. Нагрузка на рейс сократилась, тем самым позволяя перевозить меньше тонн груза.

В качестве основных направлений повышения эффективности деятельности ЧТПУП «Мивал» с позиции логистики предлагается:

- внедрить в бизнес-процессы организации автоматизированную информационную систему управления запасами «1С: ERP», которая может позволить проводить мониторинг и контроль за производственным и торговым циклом, использованием специализированного технологического оборудования. Был представлен план внедрения данной информационной системы управления ресурсами предприятия «1С: ERP». Инвестиционные затраты по внедрению информационной системы составят 4 212 р. В результате реализации проекта чистый дисконтированный финансовый поток нарастающим итогом составит 1 814,9 р., срок окупаемости проекта – 4 года. Следовательно, данный проект эффективен и рекомендуется к реализации;

- применять методику по выбору подвижного состава при выполнении заявок на грузоперевозку, которая учитывала бы наиболее важные критерии по мнению сотрудников предприятия (грузоподъемность автомобилей, расход топлива на 100 км, максимальная скорость транспортных средств).

Реализация результатов разработанной методики в практической деятельности рассматриваемого предприятия, а также обслуживаемых им организаций повысит обоснованность принимаемых решений о применении различных автотранспортных средств в реальных условиях эксплуатации с учетом основных технико-экономических показателей.

Это позволит рационально распределять подвижной состав по объектам работ, правильно планировать потребность в ресурсах при доставке грузов и, таким образом, увеличивать производительность автомобильного парка и сокращать расходы, связанные с транспортным обеспечением заказчиков транспортных услуг. Экономия от замены УАЗ-390945 автомобилем ГАЗ-3302 для осуществления конкретной перевозки по маршруту «г. Круглое – г. Могилев» составит 7,539 р.;

- закупить за счет собственных средств оборудование для ламинирования ПВХ профиля УЛ-4 для изготовления деревянных оконных блоков, соответствующих евростандарту, что позволит расширить ассортимент выпускаемой продукции, увеличить выручку на 5,6 тыс. р. Срок окупаемости проекта – 1,8 года.

Для обеспечения полного производственного цикла было предложено приобрести также оборудование для производства стеклопакетов в лизинг, что позволит повысить выручку предприятия на 445 тыс. р. Срок окупаемости данного оборудования – 1,46 года.

УДК 336.7

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРИВЛЕЧЕНИЮ ВКЛАДОВ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Л. В. ОЛЕХНОВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Для успешного развития коммерческих банков существует необходимость постоянной проработки и анализа депозитной политики, которая учитывает особенности деятельности кредитной организации, а также ее клиентов.

Депозитная политика банка позволит расставить приоритеты роста и совершенствования качественных показателей деятельности банка.

На рис. 1 представлена динамика кредитов и депозитов физических лиц на уровне банковской системы Республики Беларусь за 2017–2020 гг.

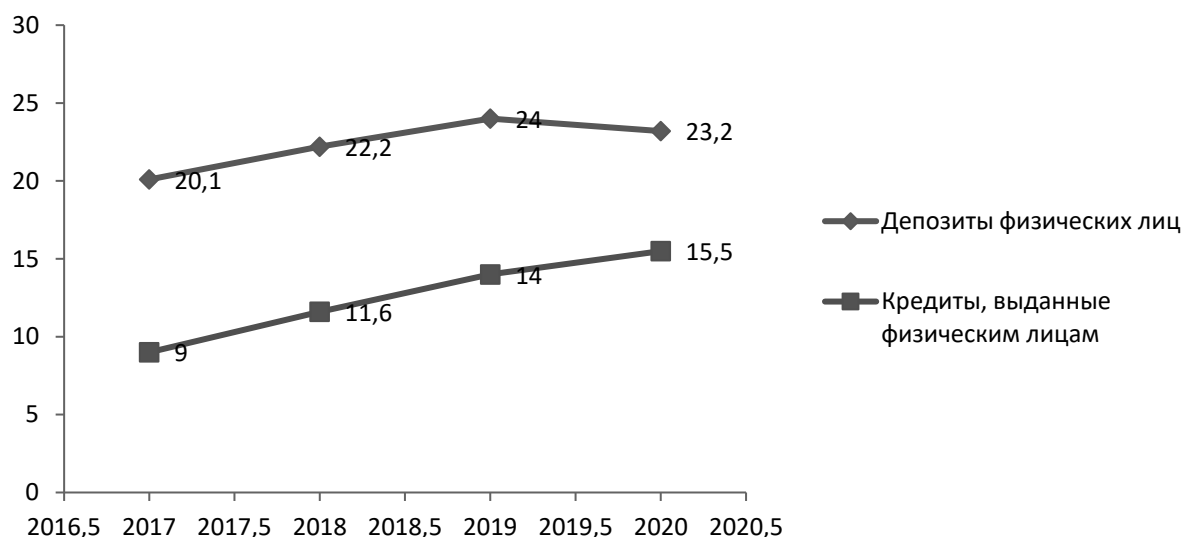


Рис. 1. Динамика депозитов физических лиц и кредитов, выданных физическим лицам, за 2017–2020 гг., млрд р.

Как видно, в 2020 г. наблюдается снижение объема депозитов, привлеченных от физических лиц, при росте объема кредитования физических лиц.

Такая динамика может привести к риску несбалансированной ликвидности и снижению ресурсов банка, что повлияет на масштабы проведения кредитных операций. В свою очередь, сокращение кредитных операций повлечет за собой сокращение прибыли банка.

На рис. 2 представлена динамика темпов роста депозитов физических лиц за 2017–2020 гг.

По сравнению с 2019 г. в 2020 г. наблюдается снижение показателя на 3,7 %. Отрицательная динамика за 2020 г. сменилась положительной в I квартале 2021 г.

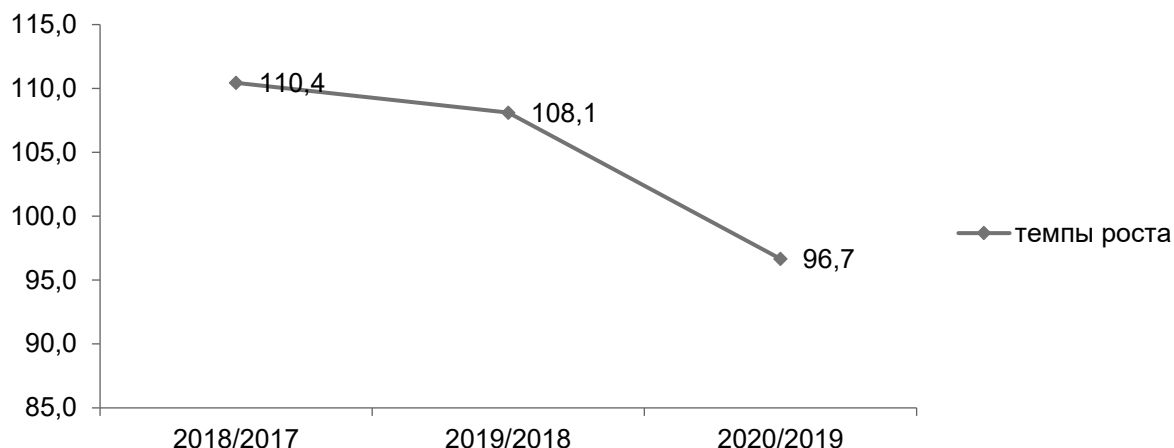


Рис. 2. Темпы роста депозитов физических лиц, %

Несмотря на снижение объема вкладов в 2020 г., средний размер рублевых вкладов, открытых клиентами банков в апреле 2021 г., вырос на 11 % по сравнению с данными на 1 января 2021 г. Причиной тому явился приток средств крупных вкладчиков, которые оперируют более крупными суммами и оценивают риски таких вложений.

Данный факт является существенным, однако коммерческие банки стремятся учитывать интересы не только крупных, но и мелких клиентов.

Необходимо изучать и анализировать возможности банка, изучать опыт других стран, а также технологии отечественного рынка, создавая условия для привлечения вкладов клиентов – физических лиц. Целесообразно рассмотреть ряд мероприятий, которые используются российскими банками для обеспечения притока депозитных ресурсов. В табл. 1 представлены нестандартные подходы в решении данной проблемы.

Табл. 1. Виды вкладов на российском рынке

Вид вкладов	Характеристика
С «лестничным» начислением процентов	«Лестничные» проценты – это маркетинговый инструмент, который необходим, чтобы указывать в рекламе максимальную ставку. Срок вклада разбивается на периоды, на каждом из которых действует определенная ставка
Долгосрочные вклады с условием капитализации процентов	Выплата процентов по таким вкладам рассчитана на несколько лет в оговоренных с клиентом промежутках времени в течение срока действия депозита
Вклады с нагрузкой	Проценты таких вкладов гораздо выше средних по инвестиционным депозитам, которые можно открыть, если дополнительно приобрести полис инвестиционного страхования жизни (ИСЖ). Доходность таких вкладов в России на 3 % выше годовых процентных ставок по депозитам. Полисы инвестиционного страхования жизни также действуют и на рынке Беларуси

УДК 336.7

ПРОГНОЗ ДОСТАТОЧНОСТИ НОРМАТИВНОГО КАПИТАЛА КОММЕРЧЕСКИХ БАНКОВ В УСЛОВИЯХ РИСКА

Л. В. ОЛЕХНОВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Размер нормативного капитала и достаточности нормативного капитала белорусских банков за 2017–2021 гг. представлен на рис 1.

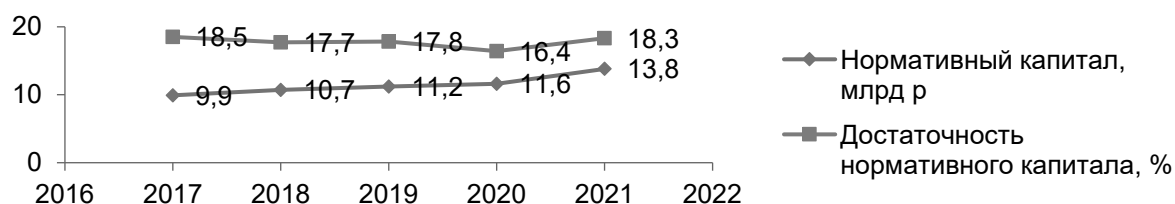


Рис. 1. Показатели деятельности коммерческих банков за 2017–2021 гг.

На рис. 2 представлены темпы роста показателя достаточности капитала коммерческих банков.

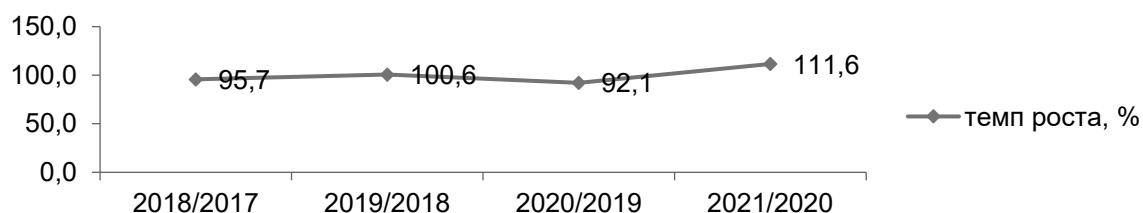


Рис. 2. Темп роста достаточности нормативного капитала коммерческих банков за 2017–2021 гг.

За указанный период наблюдается рост нормативного капитала и снижение его достаточности в 2020 г. На величину достаточности капитала банка влияют следующие факторы: величина нормативного капитала, кредитный, рыночный и операционный риски. Используя метод линейного программирования, можно сделать прогноз показателя достаточности капитала банка на 2022 г. Для определения прогнозного показателя была применена полиномиальная функция. Точность выбранной модели определяется коэффициентом детерминации, который при указанной функции имеет максимальное значение 0,415. Данная модель позволяет предположить рост совокупного показателя достаточности капитала коммерческих банков до уровня 19 %. Точность модели, применяемой для прогноза, определяется шкалой от нуля до единицы. Высокая колеблемость показателя не позволяет добиться максимальной объективности прогноза. Поэтому в настоящее время имеет значение краткосрочный прогноз показателя и контроль его соблюдения, своевременное реагирование на вероятное снижение.

УДК 338.2

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Т. В. ПУЗАНОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В современных рыночных условиях, когда рынок ориентирован на покупателя, очевидно нерациональное использование традиционной концепции производства и все больше предприятий переходят к логистической концепции. Поэтому проблема проектирования, формирования и оптимизации логистических систем производственных предприятий стоит как никогда остро.

Проведен анализ основных финансово-экономических показателей ЗАО ОПТФ «Світанак» за 2018–2020 гг., сделан вывод, что в работе предприятия наблюдались как положительные, так и отрицательные тенденции. Ухудшилось финансово-экономическое положение, что выражалось снижением следующих показателей: выручка и прибыль от реализации, чистая прибыль, рентабельность. При этом отмечался рост объемов производства и повышение производительности труда, снижение затрат на рубль товарной продукции, что отражает развитие предприятия и очень актуально в условиях современного конкурентного рынка.

Анализ показателей сбыта и распределения продукции на внешних рынках показал отсутствие определенного тренда и постоянные колебания объемов сбыта продукции за 2018–2020 гг. Для оценки риска невостребованной продукции проведен анализ обеспеченности производства продукции контрактами на поставку и выявлены причины невостребованности продукции. Внутренними причинами являются: неправильно составленный прогноз спроса на продукцию; неправильная ценовая политика на рынках сбыта; снижение конкурентоспособности продукции в результате низкого качества сырья, оборудования, отсталой технологии, низкой квалификации персонала; неэффективная организация процесса сбыта и рекламы продукции. К внешним причинам относятся: неплатежеспособность покупателей; повышение процентных ставок по вкладам; демографические, социально-экономические, политические и другие изменения. Структура по рынкам сбыта продукции ЗАО ОПТФ «Світанак» представлена как соотношение: 46 % – внутренний рынок и 54 % – внешний, в основном российский, рынок. На внутреннем рынке наибольший объем сбыта приходится на г. Минск. Наименьший объем сбыта приходится на Брестскую и Гомельскую области. Рынок верхней детской одежды Российской Федерации отличается гораздо большей емкостью по

сравнению с внутренним рынком Республики Беларусь, находится на стадии зрелости и отличается избытком предложения над спросом и высоким уровнем конкурентности. Анализ динамики объемов сбыта на внешнем рынке по видам продукции показал снижение объемов реализации практически по всем группам. На внешнем рынке ЗАО ОПТФ «Світанак» использует как прямые продажи, так и работу с посредниками. Наибольший объем сбыта приходится на косвенный сбыт, организованный российскими торговыми фирмами, расположенными в основном в московском регионе, наибольший удельный вес приходится на ОАО «Агрика» и ООО «Русские товары». Поэтому с целью оптимизации распределительной системы ЗАО ОПТФ «Світанак» на внешних рынках необходимо расширить рынок сбыта продукции. Для ЗАО ОПТФ «Світанак» на внешнем рынке целесообразно входить в крупные торговые сети, которые известны потребителям и пользуются спросом. Вариантом работы с посредниками будет покупка и продажа продукции ЗАО ОПТФ «Світанак» посредниками от своего имени и за свой счет. Отношения с выбранными посредниками должны быть направлены в русло достижения синергического эффекта рыночного успеха и превосходства над конкурентами. Повышение эффективности системы распределения ЗАО ОПТФ «Світанак» за счет расширения рынка, выбора посредников и совершенствования работы с ними позволит достичь при пессимистическом прогнозе увеличение выручки на 3 %, при вероятном прогнозе – на 5 %, при оптимистическом прогнозе – на 7 %.

Для исследования спроса потребителей на продукцию ЗАО ОПТФ «Світанак» на внутреннем рынке были проведены маркетинговые исследования путем анкетирования покупателей в магазинах фирменной торговли. Проведение опроса позволяет определять основные направления совершенствования ассортимента продукции. В результате исследования выявлялись наиболее востребованные виды одежды, частота их приобретения, ассортимент продукции, уровень цен, цвет одежды, вид ткани и приверженность покупателей к данной марке одежды. Пожеланиями респондентов было производство курток с подкладкой из флисовой ткани. Сравнительный анализ себестоимости такого товара с существующим вариантом производства показал возможность снижения затрат и получения большей прибыли при условии роста спроса и сохранения уровня цен. Для прогнозирования объемов реализации обновленного вида товара применялся метод Фурье, при этом при выборе модели наилучшим образом отразил исходный временной ряд с объемами реализации ряд с тремя гармониками. Наличие резерва неиспользованной производственной мощности, исследования рынков сбыта и прогноз спроса с применением метода Фурье позволяют обосновать план продаж и ожидать рост объемов реализации курток на 7,5 % и рост прибыли по номенклатурной группе данного вида продукции на 15,6 %. Таким образом, реализация рассмотренных мероприятий позволит повысить эффективность деятельности рассматриваемого предприятия за счет оптимизации его распределительной системы.

УДК 338

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА

Т. В. ПУЗАНОВА, М. В. БАЛАШЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Современная экономика требует перехода от традиционных форм хозяйствования к цифровой трансформации промышленности, что является наиболее перспективным направлением развития, позволяющим обосновать инновационность различных видов производства, технологий, оборудования и существенно повысить их эффективность. Беларусь придает конкурентоспособности своих товаров и услуг приоритетное значение, т. к. завоевание подобающего места в мировой экономике в современных условиях необходимо для обеспечения устойчивого развития страны.

Проблема повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции актуальна и для филиала ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» в г. Могилеве – «Могилевский автомобильный завод им. С. М. Кирова». Российская Федерация является главным рынком сбыта для филиала. Техника МоАЗа работает практически во всех регионах РФ. Она используется предприятиями горной промышленности (самосвалы шахтные МоАЗ-75291, ПДМ-4055), нефтегазового комплекса и золотодобывающими предприятиями (автомобиль-самосвал МоАЗ-75054). Среди стран СНГ (без учета РФ) поставки техники МоАЗа осуществляются в Республику Казахстан, Украину, Таджикистан, Узбекистан. Анализ динамики основных экономических показателей деятельности предприятия за 2018–2020 гг. показал наличие убытков при росте объемов производства и производительности труда. На предприятии наблюдалась отрицательная динамика объёмов экспорта за 2019–2020 гг., что было вызвано в том числе экономическим кризисом. Причиной низкого спроса является относительно невысокий уровень конкурентоспособности продукции предприятия по сравнению с конкурентами. Анализ износа активной части основных фондов показал, что большая часть оборудования (75,7 % от общего количества) имеет срок службы свыше 20 лет.

В условиях высокой степени изношенности основных фондов, нехватки квалифицированных специалистов и дефицита денежных средств очень сложно обеспечить высокое качество выпускаемой продукции. Выявленная динамика свидетельствует о необходимости пересмотра цен или усилении контроля за себестоимостью продукции.

Стратегическим направлением развития предприятия в современных условиях является внедрение не только новых производственных, но и информационных технологий для улучшения хозяйственных и экономических показателей работы фирмы. Востребованы узкоспециализированные информационно-аналитические системы для решения ряда периодически повторяющихся

задач анализа функционирования экономического объекта любого иерархического уровня и синтеза управленческих и плановых решений.

В данной работе рассмотрен подход к созданию такой информационно-аналитической системы, реализующей методы анализа конкурентоспособности продукции и предприятия, обоснования и разработки мероприятий, направленных на ее повышение, в том числе и инвестиционных проектов, и оценки риска их реализации.

Применяя методологию BPWin и создавая диаграммы IDEF0 для бизнес-процессов, наиболее важную задачу для предприятия, функционирующего в условиях рынка, можно представить в виде следующей контекстной диаграммы. Дальнейшая детализация позволяет выделить в информационно-аналитической системе блок обоснования предлагаемого в работе инвестиционного проекта технического перевооружения и модернизации токарно-карусельных станков с ЧПУ для механической обработки деталей автосамосвалов, которые занимают в структуре товарной продукции предприятия около 20 %.

Используя встроенные средства MS Office, в блоке реализовали методы обоснования проекта, оценки риска его реализации на основе анализа чувствительности проекта к возможному изменению внешних и внутренних факторов и оценки его устойчивости при их одновременном влиянии.

Применение вышеуказанного подхода для рассматриваемого предприятия позволило определить направления и разработать определенные мероприятия для повышения уровня конкурентоспособности оцениваемых видов продукции. С целью снижения себестоимости предлагается ряд мероприятий по импортозамещению, которые при сохранении технических характеристик приведут к снижению себестоимости продукции. Реализация данных мероприятий позволит снизить себестоимость единицы продукции в среднем на 2 %...3 %, что позволит повысить уровень конкурентоспособности в среднем на 0,1 %...1,0 %. Результаты оценки улучшения параметров надежности, динамических и силовых параметров показали, что такие мероприятия эффективны не во всех случаях. Например, при оценке эффективности от внедрения мероприятий для подземных автосамосвалов МоАЗ-7405-9586 полученные результаты не соответствовали ожидаемому повышению показателей конкурентоспособности. Для автосамосвалов МоАЗ-7529 также уровень конкурентоспособности практически не изменился, т. к. улучшение одних характеристик компенсировалось ухудшением других.

В результате повышения конкурентоспособности продукции ожидается и увеличение потребительского спроса. Анализ использования производственной мощности предприятия показал наличие резерва более 50 %. Следовательно, при планировании в производственной программе необходимо предусмотреть соответствующую корректировку объемов производства более конкурентоспособной продукции.

Реализация такой производственной программы даст предприятию следующие преимущества: повышение уровня конкурентоспособности предприятия в целом, получение большей прибыли от реализации продукции, улучшение финансового положения.

УДК 332.1

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ОБЛАСТИ

Т. В. РОМАНЬКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В качестве составляющих энергетического потенциала региона Т. А. Коваленко и А. В. Волков выделяют природно-ресурсный, транспортно-энергетический, производственный, потребительский, трудовой потенциалы и потенциал управления [2]. Характеристика составляющих энергетического потенциала представлена в табл. 1.

Табл. 1. Структурные компоненты энергетического потенциала области

Наименование потенциала	Характеристика
1 Природно-ресурсный	Совокупность природных ресурсов данной территории, условий, явлений и процессов, которые используются или могут быть использованы в хозяйственной деятельности с учетом тенденций и научно-технического прогресса [2]
2 Транспортно-энергетический	Совокупность транспортных энергетических сетей (нефтепроводы, газопроводы, электрические и тепловые сети, железнодорожные и автомобильные дороги) [2]
3 Производственный	Комплекс мощностей для генерации энергии (тепло- и электро-энергии) [1]
4 Потребительский	Совокупность производств по переработке первичных энергоресурсов (нефтеперерабатывающие заводы) [2, 3]
5 Трудовой	Трудовые ресурсы, имеющие необходимое специальное образование по управлению сложным оборудованием энергетических предприятий большой мощности [1]
6 Управления	Совокупность инструментов управления по развитию энергетического потенциала (тарифообразование на энергоресурсы, льготные условия для приобретения энергоресурсов, дифференцированные тарифы для различных потребителей) [1]

Анализ структурных элементов энергетического потенциала позволяет сделать следующие выводы:

1) для точного определения уровня развития транспортно-энергетического потенциала региона целесообразно учитывать протяженность нефтепроводов, газопроводов, электрических и тепловых сетей. При этом в расчет не включать длину железных и автомобильных дорог, т. к. выявить дороги, по которым перевозятся энергетические ресурсы, и определить интенсивность их перевозок практически невозможно;

2) авторами рассматривается потребительский потенциал в узком смысле, т. к. характеризует только потребление топливно-энергетических ресурсов при переработке первичных энергоресурсов. Но заводы, занимающиеся переработкой первичных энергоресурсов, подобно любым промышленным,

транспортным и другим организациям, являются потребителями топливно-энергетических ресурсов, и поэтому потребительский потенциал целесообразно рассматривать и оценивать с точки зрения энергопотребления и энергосбережения организациями региона. А совокупность производств по переработке первичных энергоресурсов (нефтеперерабатывающие заводы) следует отнести к производственному потенциалу, т. к. они производят топливно-энергетические ресурсы.

Таким образом, под потребительским потенциалом предлагается понимать возможность потребителей топливно-энергетических ресурсов эффективно использовать энергоресурсы организациями, регионом или республикой;

3) включение трудового потенциала как структурного элемента энергетического потенциала искажает точность результатов и не характеризует степень его развития в регионе, а, скорее, является фактором, влияющим на уровень его реализации. Это объясняется тем, что результаты работы трудовых ресурсов энергетической отрасли и энергетических хозяйств предприятий (экономия энергоресурсов, выполнение целевого показателя по энергосбережению, снижение энергоемкости валового регионального продукта и др.) описывают вклад всего промышленно-производственного персонала (конструкторов, технологов и других специалистов или категорий работников) в энергосбережение и реализацию энергетического потенциала;

4) потенциал управления описывает возможности системы управления обеспечивать достижение поставленных целей по рациональному использованию энергоресурсов на различных уровнях. Соответственно, потенциал управления также является фактором, влияющим на уровень реализации энергетического потенциала. При этом перечень факторов может быть расширен и представлен инновационным, финансовым, информационным, экономическим, техническим, технологическим потенциалами и др.;

5) предлагается дополнить энергетический потенциал области экспортно-энергетическим, т. е. энергоресурсы, произведенные в регионе (стране), могут быть как потреблены на собственные нужды, так и отпущены внешним потребителям (на экспорт). Под экспортно-энергетическим потенциалом следует понимать способность региона (страны) удовлетворять собственные потребности и экспортировать имеющиеся топливно-энергетические ресурсы.

Таким образом, базовыми элементами энергетического потенциала региона, характеризующими степень его развития, являются природно-ресурсный, транспортно-энергетический, производственный, потребительский, экспортно-энергетический потенциалы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бушуев, В. В.** Энергоэффективность и качество жизни / В. В. Бушуев // Энергоэффективность. Опыт, проблемы, решения. – 2002. – № 4. – С. 32–38.
2. **Коваленко, Т. А.** Энергетический потенциал региона и его количественная оценка / Т. А. Коваленко, А. В. Волков // Экономика региона. – № 3. – 2013. – С. 161–169.
3. **Лукашов, Г. А.** Методические подходы к оценке энергетического потенциала региона / Г. А. Лукашов // Нефтегазовое дело. – 2011. – № 2. – С. 347–354.

УДК 336.7

О ПОКАЗАТЕЛЯХ ОЦЕНКИ ПЛАТЕЖЕСПОСОБНОСТИ СУБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ

Н. А. СЕРГЕЙЧИК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Критерии оценки платежеспособности субъектов хозяйствования утверждены Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12.12.2011 г. № 1672 с изменениями от 22.01.2016 г. № 48 и включают следующие показатели:

- коэффициент текущей ликвидности;
- коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами;
- коэффициент обеспеченности обязательств активами.

Анализ принятых коэффициентов платежеспособности и современных финансовых проблем субъектов хозяйствования указывает на необходимость совершенствования состава этих показателей. Расчеты показывают наличие зависимости между коэффициентами текущей ликвидности и обеспеченности собственными оборотными средствами, что указывает на нецелесообразность одновременного применения двух взаимоувязанных показателей. Поэтому следует оставить только показатель текущей ликвидности. Но в расчет коэффициента текущей ликвидности предлагается включать, кроме краткосрочных активов, дополнительно другие собственные источники финансирования – сумму чистой прибыли и амортизационных отчислений, что существенно повысит его уровень.

Зарубежные модели прогнозирования банкротства предприятий (Альтмана, Лиса, Таффлера) в чистом виде неприемлемы для использования в белорусских условиях и не могут обеспечить достоверность оценки финансового состояния белорусских предприятий.

Коэффициент обеспеченности обязательств активами с учетом сложности превращения многих активов в денежные средства неприемлем в качестве оценочного показателя. На наш взгляд, целесообразнее использовать более действенный в современных условиях показатель – коэффициент отношения просроченных обязательств к среднемесячной выручке.

Рассмотрена модель устойчивого экономического роста предприятия, установлено, что в ней определяющую роль в обеспечении роста имеют такие показатели, как рентабельность продаж и оборачиваемость активов. Поэтому целесообразно эти показатели включить в систему оценки платежеспособности субъектов хозяйствования.

Предложенные показатели направлены на совершенствование экспресс-диагностики финансового состояния и состояния платежеспособности субъектов хозяйствования.

УДК 669.018

ПРОГРЕССИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА ЭТАПЕ ЗАГОТОВКИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

К. А. ТОКМЕНИНОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Анализ состояния оборудования на промышленных предприятиях г. Могилева и области показывает, что наиболее высокий уровень морального износа наблюдается на заготовительных участках или цехах. Это объясняется тем, что традиционное заготовительное оборудование обладает высоким запасом к физическому износу и, как следствие, находится в эксплуатации длительный период времени. Определенная доля действующего заготовительного оборудования имеет возраст 25 и более лет. К такому оборудованию можно отнести электромеханические прессы с гильотинными установками, оборудование для газовой резки, стенды плазменной резки металлов. Это приводит к снижению конкурентоспособности продукции, поскольку производственные затраты на морально устаревшем оборудовании существенно выше, чем на прогрессивном оборудовании.

Для указанного оборудования характерны достаточно большой процент материальных отходов и потерь при изготовлении заготовок и высокие энергетические затраты. Производительность указанного оборудования сравнительно невысокая, что, в свою очередь, приводит к увеличению переменных материальных и энергетических производственных затрат и себестоимости продукции.

На практике реализуются два пути снижения производственных затрат на заготовительном этапе производства. Первое направление – это замена устаревшего оборудования на новое. Разрабатывается бизнес-план инновационного проекта по замене оборудования, которым подтверждается технико-экономическая эффективность замены оборудования. Вторым направлением является модернизация оборудования при небольшом физическом износе. При этом могут заменяться электроприводы постоянной мощности на частотно-регулируемые (ЧРЭП), которые существенно снижают энергетические затраты. Модернизируются системы управления оборудованием. Это направление используется, например, на ОАО «Могилевлифтмаш». Совместно с фирмой АМК подобная модернизация оборудования была проведена на предприятии «Энергоремонт», РУП «Могилевэнерго».

За последнее время появился и успешно внедряется в производство ряд новых ресурсосберегающих технологий и оборудования, цена на которое снижается и становится привлекательной. Например, на ОАО «Могилевтрансмаш» заготовительном цехе закуплены и внедрены два современных оптоволоконных лазера для раскроя широкого спектра металлов различной толщины. Ранее раскрой листового материала осуществлялся на плазменных установках.

Безусловно, использование лазерных установок и технологий является прогрессивным решением повышения производительности труда и уменьшения производственных затрат. Однако целесообразно рассматривать также внедрение установок и оборудования гидроабразивной резки.

Станки гидроабразивной резки с ЧПУ предназначены для раскроя листового материала, обработки труб и других видов деталей из различных материалов. Обработка производится как струей чистой воды таких материалов, как пластик, резина, изоляционные материалы, текстильные материалы, так и струей с абразивом для обработки высоколегированной стали, титана, сплавов меди и алюминия, бронированного и акрилового стекла, камня.

В каждом конкретном случае необходимо рассматривать технико-экономические условия производства, уровень производственной культуры и организации, исходя из чего принимать решение об использовании конкретного оборудования.

Для сравнения проанализируем лазерную установку Metac Master MLF-3015 и гидроабразивную Waterjet Corp Suprema.

Обе установки имеют приблизительно равную мощность 30 кВт, позволяют резать стальной лист толщиной до 50 мм, скорость резания также приблизительно равная. Стоимость установок сопоставима.

Сразу следует отметить, что количество отходов при резке листов с равными параметрами приблизительно в 2 раза меньше, чем при резке на гидравлических или электромеханических прессах, и на 20 %...30 % меньше по сравнению с плазменной резкой. Скорость резки также существенно выше, т. к. ширина реза не превышает 0,5 мм. Это обеспечивает существенно более высокую производительность труда, что позволяет снизить в структуре затрат фонд оплаты труда и затраты на электроэнергию. Приведенные численные значения являются ориентировочными, и в каждом конкретном случае производственные затраты определяются с учетом материала для раскроя, конфигурации заготовок, толщины исходного листа и др.

При выборе из двух указанных установок, лазерных и гидроабразивных, необходимо в каждом конкретном случае учитывать особенности и достоинства каждой из них.

Гидроабразивные установки имеют следующие преимущества:

- отсутствие термического воздействия на материал заготовки;
- более простые по конструкции и в эксплуатации;
- позволяют обрабатывать больше разнообразных материалов;
- из-за отсутствия оптических элементов менее чувствительны к механическим воздействиям при эксплуатации, что позволяет допустить менее высокую культуру производства, чем в случае использования лазерных установок.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что для повышения качества и конкурентоспособности продукции целесообразно на этапе заготовительного производства более широко внедрять гидроабразивные установки.

УДК 669.018

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ НА ОАО «МОГИЛЕВСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

К. А. ТОКМЕНИНОВ, А. Г. ЧЕРНЯКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Одним из видов выпускаемой на ОАО «Могилевский металлургический завод» продукции являются люки смотровых колодцев для подземных коммуникаций. Далее рассмотрены направления совершенствования указанной продукции для повышения ее эксплуатационных характеристик, расширения области применения, увеличения конкурентоспособности и объемов сбыта.

Длительное время основным материалом при изготовлении люков был чугун. Основной технологией являлось литье в песчано-глинистые формы. Для указанной технологии характерна низкая производительность труда, вредность и запыленность производства, а также практически отсутствие возможности его автоматизации. Со временем технология производства люков была усовершенствована – освоена технология литья люков в кокиль. При этом производительность труда увеличилась, однако остались высокими затраты электроэнергии, связанные с плавлением чугуна.

В настоящее время на предприятии освоены новая технология и материал для производства люков. Они изготавливаются из песчано-полимерной смеси. Это позволило существенно сократить затраты в структуре производственной себестоимости продукции, улучшить экологичность производства.

В состав материала из песчано-полимерной смеси входит 30 % эпоксидного связующего ЭД-20 и 70 % кварцевого песка. Люки изготавливаются путем заливки состава в формы. Однако прочность такого изделия уступает прочности люка из чугуна серого, который имеет на прочность разрыв для СЧ-18 180 МПа, для СЧ-35 – до 350 МПа. Прочность связующего ЭД-20 достигает максимум 90 МПа. Поэтому область применения песчано-полимерных люков ограничена. Они могут быть использованы только на пешеходной части улиц. Предлагается повысить прочность и долговечность люков из полимерных композиционных материалов за счет введения в состав материала еще одного компонента – рубленого стекловолокна, что позволит эксплуатировать их также и на проезжей части улиц. Это существенно расширит область применения этой продукции и повысит экономический эффект от внедрения нового материала.

Прочность стекловолокна на разрыв зависит от его диаметра и колеблется от 600 до 3800 МПа. На ОАО «Стекловолокно», г. Новополоцк, выпускают стекловолокно диаметром 300 текс. В пересчете на условный диаметр в

миллиметрах это составляет 0,15 мм. Для этого диаметра прочность волокна на разрыв составляет 2000 МПа.

Предлагается следующий состав композита для люков: эпоксидное связующее – 30 %, песок кварцевый – 30 %, рубленое стекловолокно – 40 %.

Для того чтобы волокно в составе материала люка работало на разрыв, а не выдергивалось из полимерной матрицы, необходимо длину волокна подобрать такой, чтобы оно имело равные усилия на разрыв и выдергивание из матрицы.

Прочность на разрыв предлагаемого композиционного материала люков составит около 500...800 МПа, что существенно больше, чем у чугуна.

Оценим соотношение стоимости материалов люков, изготавливаемых из чугуна и песчано-полимерного композита с добавлением рубленого стекловолокна.

Цена смолы ЭД-20 составляет 20 р./кг, стеклонити – 1,5 р./кг, кварцевого песка – 0,23 р./кг. С учетом процентного соотношения компонентов в составе композиционного материала стоимость 1 кг материала люка составит 6,67 р./кг. Цена отливки из серого чугуна в настоящее время колеблется от 1,6 до 3,9 р./кг.

При определении конечной стоимости люков из чугуна и композитов необходимо принять во внимание, что плотность чугуна выше, чем композита. Плотность чугуна составляет 7,8 г/см³. При определении плотности композита следует учесть, что плотность смолы ЭД-20 составляет 1,2 г/см³, песка – 2,6 г/см³, стекловолокна – 2 г/см³. Плотность композита с учетом процентного соотношения компонентов составит 1,94 г/см³, что в 4 раза меньше, чем у чугуна. При весе чугунного люка типа «Л» В 125 50 кг его стоимость составит 195 р. Люк того же объема из композита будет весить 12,5 кг. Его стоимость будет 83,4 р. Таким образом, экономия в стоимости материала люка из композита по сравнению с чугуном составит 111,6 р. на одно изделие.

При объеме производства люков 6000 шт. в год годовой экономический эффект будет 669600 р.

Следует отметить, что за счет снижения цены продукции из предлагаемого композита и повышения ее эстетических и эксплуатационных характеристик возрастут объемы сбыта и экономический эффект. Эти факторы в настоящей работе не исследовались и не учитывались, но являются дополнительными в пользу внедрения предлагаемого материала.

Исходя из проведенного анализа можно сделать общий вывод о целесообразности внедрения полимерного композиционного материала, армированного рубленым стекловолокном.

Дополнительным аргументом является также то, что все материалы, предлагаемые к внедрению, отечественного производства, что способствует импортозамещению.

УДК 621.9

МАРКЕТИНГОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СМАРТФОНОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЙ ВЫБОР

С. О. УКОЛОВ, Е. И. ВИКТОРОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Для проведения исследования была сформирована выборка среди учащихся университета и работников ИООО «EPAM Systems». Всего в опросе приняли участие 51 респондент, среди которых были 27 представителей мужского пола (53 %) и 24 представителя женского пола (47 %). Возраст респондентов находился в промежутке от 18 до 50 лет. Данные собирались при помощи сервиса Google Forms в течение 2 дней.

Анализ собранных данных проводился посредством использования программного обеспечения IBM SPSS Statistics.

Следующие характеристики смартфонов были выделены для изучения: цена; бренд; операционная система (Android, iOS, Windows Phone); характеристики дисплея (диагональ, разрешение, матрица, частота); технические характеристики (процессор, количество ядер, оперативная память); характеристики камеры; внешний вид (цвет, материал); емкость батареи; размер внутренней памяти; разъем подключения; наличие определенных дополнительных функций (наличие NFC, поддержка 5G, разблокировка по лицу, сканер отпечатка пальца, пыле- и влагозащита, стереодинамики, беспроводная зарядка, быстрая зарядка, слот для второй SIM-карты, широкоугольный объектив камеры).

По данным характеристикам были сделаны следующие выводы:

– чаще всего респонденты готовы потратить на приобретение нового смартфона от 501 до 1000 р. (в 39 % случаев) и более 1500 р. (в 31 % случаев). Тем не менее значимым этот параметр оказался более чем у 75 % респондентов;

– чаще всего респонденты отдают предпочтение брендам Apple, Samsung и Xiaomi, что соответствует трендам мирового рынка. Бренд смартфона значимый более чем у 50 % респондентов;

– 57 % респондентов отдает предпочтение ОС Android и 40 % отдает предпочтение iOS. Операционная система является значимой характеристикой у 84 % респондентов;

– 53 % респондентов отдает предпочтение смартфонам среднего размера и 31 % смартфонам большого размера. Характеристики дисплея значимы более чем у 74 % респондентов;

- технические характеристики смартфона значимы у 66 % респондентов;
- характеристики камеры значимы у 67 % респондентов;
- внешний вид смартфона значим у 57 % респондентов. В то же время более 76 % респондентов предпочитают носить телефон в чехле;
- емкость батареи смартфона значима у 82 % респондентов;
- количество внутренней памяти значимо у 75 % респондентов;
- разъем подключения смартфона оказался самым безразличным параметром среди респондентов, 81 % опрошенных считают этот параметр незначительным либо относятся к нему нейтрально;

– наиболее важными дополнительными функциями в смартфоне являются пыле- и влагозащита (72 % респондентов), возможность быстрой зарядки (69 % респондентов), а также наличие NFC, стереодинамиков и сканера отпечатка пальца;

– самой безразличной дополнительной функцией является наличие поддержки 5G ввиду отсутствия таковой в Республике Беларусь. Также респонденты в большинстве безразлично относятся к поддержке двух SIM-карт, возможности разблокировки лицом и беспроводной зарядки.

Была подтверждена следующая взаимосвязь:

- взаимосвязь между давностью приобретения последнего смартфона и уровнем удовлетворенности им (слабый уровень отрицательной корреляции);
- между местом приобретения смартфона и уровнем тщательности его выбора (наиболее тщательно к выбору смартфона подходят те респонденты, которые предпочитают приобретать смартфон в интернет-магазинах);
- между уровнем удовлетворенности смартфоном и желанием приобрести новый смартфон.

Сделан вывод о том, что связь между значимостью вида и ношением смартфона в чехле отсутствует.

Также подтвердились две из трех альтернативных гипотез:

- 1) выбор операционной системы не зависит от пола респондентов;
- 2) респондентам, в чьи основные цели использования входит фото- и видеосъемка, более значимы характеристики камеры, чем остальным респондентам.

УДК 621.9

РАЗРАБОТКА ФИРМЕННОГО СТИЛЯ БРЕНДА НОУТБУКОВ

С. О. УКОЛОВ, Е. Н. ШЕРОБУРКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Создать запоминающийся фирменный стиль бренда нелегко, т. к. для этого нужны творческие способности, а также знание психологии людей: что может привлечь и кого именно должно привлекать.

Разработан фирменный стиль бренда, занимающегося производством ноутбуков.

Любой бренд начинается с его названия, в котором заключено множество смыслов. В названии разработанного бренда «RedStart» заключено имя создателя – Станислав, фирменный цвет «red» (красный), а также идеология бренда: «Redstart» в переводе с английского языка обозначает «горихвостка» – одна из самых красивых птиц, живущая в парках, садах и на культурных ландшафтах, имеющая насыщенно-рыжий окрас хвоста и брюшка. Во время подёргивания ее хвост напоминает пламя, создаётся ощущение, что хвост птицы горит, отсюда и пошло ее название.

Поэтому в дальнейшем красный и золотой цвета использовались в разработке фирменного стиля, а символ языков пламени отразится при разработке логотипа и носителей фирменного стиля.

Рекламным слоганом бренда является фраза на английском языке: «RedStart – smart start of your success». Слово «smart» в данной фразе может иметь много значений, также отображающих идеологию бренда: умный, сообразительный, ловкий, быстрый, модный, проворный, нарядный (ноутбук).

В основную цветовую палитру бренда входит три цвета: красный, золотой и черный. Кодирование цветов в RGB и шестнадцатеричной системе: красный: RGB (227 30 36) или #E31E24; золотой: RGB (255 189 89) или #FFBD59; черный RGB (43 42 41) или #2B2A29.

Разработано четыре варианта логотипов: цветной, черный, контурный и цветной со слоганом.

В качестве основного шрифта логотипа выбран EngraversGothic BT, в качестве дополнительного шрифта, которым написан слоган, – шрифт OCR-A BT.

Тональность и стиль коммуникации бренда выражается дружеским и теплым общением на «ты», полным отсутствием строгости и официальности, потому что только так можно создать дружественное и равное сообщество пользователей, где все будут делиться радостью друг с другом.

Проведена работа по изготовлению носителей фирменного стиля бренда: фирменная коробка, флешка, беспроводные мышки и воблер как один из POS-материалов в разных расцветках и с использованием разных вариантов логотипов.

ЮЗАБИЛИТИ САЙТА

Е. Н. ШЕРОБУРКО, Ю. Д. ТАТАРИНОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Тема юзабилити сайтов на сегодняшний день является очень актуальной для предприятий, организаций и различных компаний, т. к. в первую очередь это повышение имиджа предприятия или организации, а также повышение прибыли организации за счет легкости использования и навигации по сайту, что, в свою очередь, увеличивает спрос на посещение именно этого сайта у большинства потребителей. Для того чтобы сайт мог конкурировать с другими сайтами-конкурентами, ему требуются мероприятия по совершенствованию своего оформления, навигации, также пользование услугами сайта, например, покупка чего-либо, и важным фактором является реклама сайтов на различных интернет-порталах.

В ходе исследования сайта кинотеатра «Starlight» было выяснено, что скорость загрузки сайта мгновенная, что свидетельствует о том, что потребители вернутся именно на этот сайт, т. к. им не придется ожидать загрузку, визуальная составляющая сайта является яркой и броской для потребителей, что также увеличит инверсию потребителей на сайт. Навигация по сайту является легкой и доступной, в шапке сайта есть все данные для связи, такие как номер, почта, ссылки на социальные сети и краткая информация о кинотеатре. Также при запросе в браузере кинотеатров нашего города именно данный сайт находится на первой позиции, что свидетельствует о том, что этот сайт чаще всего посещают потребители. Сайт является ярким и удобным в использовании потребителя.

Для дальнейшего успешного функционирования кинотеатра следует поддерживать легкость сайта и совершенствовать его дизайн, т. к. сайт является лучшей рекламой для кинотеатра. Важно правильно располагать важную информацию для потребителей, чтобы она была броской для них. Для совершенствования данного сайта следует сделать текст в описании фильмов более читабельным, т. к. цвет текста на фоне вызывает трудность в прочтении, а также информацию из футера сайта следует убрать, потому что вся та же информация дублируется в шапке сайта, именно туда попадает потребитель при посещении сайта. Для этого всего требуются грамотные специалисты, знающие современную специфику продвижения и поддержания сайтов.

Таким образом, можно сказать, что юзабилити сайта является важной частью успешного развития и функционирования кинотеатра и именно постоянные современные обновления приведут к инверсии потребителей на данный сайт, что, в свою очередь, увеличит прибыль организации.

УДК 629.064

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Х. Д. ЯЗХАНОВА

Туркменский государственный институт экономики и управления
Ашхабад, Туркменистан

Развитие экономики Туркменистана предусматривает разрешение большого диапазона задач по реализации энергетических, производственных, инфраструктурных проектов в различных отраслях страны. Основным инструментом развития является привлечение хозяйствующих субъектов в регионы в целях стимулирования роста инвестиций, занятости и производительности.

Реализация Государственной программы Туркменистана по энергосбережению на 2018–2024 годы предусматривает повышение роли альтернативных источников энергии. Туркменистан, благодаря своим климатическим условиям, обладает колоссальным запасом альтернативных, возобновляемых источников энергии, и прежде всего энергией солнца. Солнце является почти неисчерпаемым источником энергии в неограниченном масштабе, а годовая продолжительность солнечного сияния в стране составляет более 300 дней.

Туркменистан в 2017 г. председательствовал в Энергетической Хартии, при этом уделил особое внимание следующим направлениям: переработке углеводородного сырья для получения готовой продукции и его экспорта; использованию возобновляемых источников энергии; безопасному транзиту энергоносителей; повышению энергетической эффективности и энергосбережения, а также снижению воздействий на окружающую среду в результате использования энергии; стимулированию инвестиций в целях удовлетворения растущего глобального спроса на энергию и улучшения инвестиционного климата в странах-членах Энергетической Хартии; привлечению новых стран в состав Хартии.

В статье приводится проект одноэтажного коттеджа для семьи, работающий на солнечных батареях, обеспечивающих их электроэнергией [2].

Для предлагаемого проекта целесообразно использовать монокристаллический фотоэлемент (рис. 1) и разместить солнечные панели на юго-западной стороне (на крыше дома), чтобы преобразовывать максимальное количество солнечного излучения в электричество.

При этом фотоэлектрическая установка может генерировать от 2 до 7 кВт энергии. После расчета, если мы разместим 35 солнечных панелей, то получим от 4 до 7 кВт электроэнергии. Это может обеспечить электроэнергией, необходимой в предлагаемом проекте.

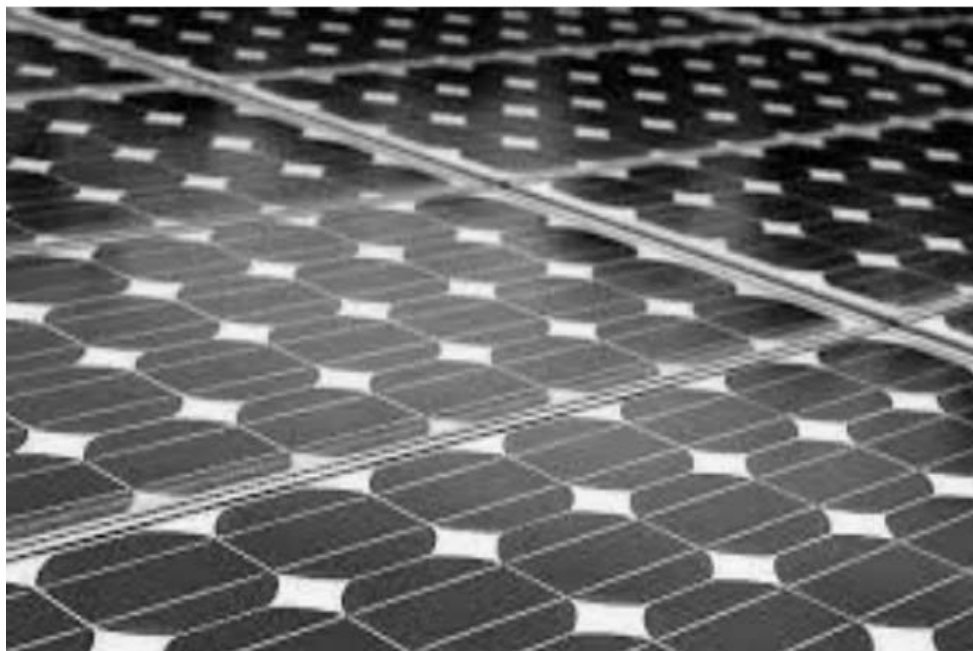


Рис. 1. Монокристаллический фотоэлемент

Для расчета электроэнергии от солнечных батарей используется формула

$$E = \frac{Ik_0 U_{mod} k_p}{U_{rad}}. \quad (1)$$

После расчетов можно получить электроэнергию при $E = 102,16$ кВт/ч в год. Также целесообразно рассчитать коэффициент полезного действия (КПД) встроенных аккумуляторов для жилья по следующей формуле:

$$\eta = \frac{Q_k}{Q_o} \cdot 100 \%. \quad (2)$$

Тогда $\eta = 82 \%$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция развития цифровой экономики Туркменистана на 2019–2025 годы. – 2018.
2. **Язханова, Х. Д.** Нетрадиционные источники энергии Туркменистана / Х. Д. Язханова // 39 Междунар. науч.-практ. конф.: материалы конф. – Москва: Актуальность, 2021. – С. 32–33.

УДК 796.41

КОМПЛЕКС ГИМНАСТИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ С ФИТБОЛАМИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ

Т. В. АФАНАСЕНКО, Е. А. КОПЫЛОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Физическое воспитание в высших учебных заведениях осуществляется в основном традиционными средствами и методами. Включение в учебный процесс упражнений с фитболами является своеобразным сочетанием общеобразовательных упражнений, бега, прыжков, элементов танца и других гимнастических упражнений, выполняемых под эмоциональную ритмическую музыку. Занятия с фитболами активно влияют на деятельность сердечно-сосудистой, дыхательной систем организма и приближаются в этом качестве к таким физическим нагрузкам, как ходьба, бег, езда на велосипеде и т. д. [1].

Комплексное воздействие на нервно-мышечный аппарат и эмоциональную сферу делают такие занятия привлекательными для устранения и профилактики отклонений в здоровье занимающихся, увеличивают двигательную активность, улучшают осанку, снижают избыточный вес, повышается хорошее настроение и жизнерадостность [2].

Однако фитбол-гимнастика используется не только в оздоровительных целях, но и профилактических. При оптимальной дозировке она позволяет развивать физические качества, оказывает положительное влияние на повышение уровня работоспособности, устойчивости организма к утомляемости.

При решении задачи эффективности учебных занятий с использованием средств фитбол-гимнастики на повышение общей физической подготовленности студенток Белорусско-Российского университета основного отделения были применены контрольные нормативы: поднимание туловища из положения лежа на спине, руки за головой (количество раз) и бег 100 метров (с). В эксперименте приняли участие 18 студенток первого курса. Сравнивались данные, полученные во время сдачи зачётов во втором и четвертом семестрах. Так, в поднимании туловища по окончании первого курса показан результат – 48,1, после второго курса – 54,4. Положительная динамика составила 6 единиц. В беге на 100 м – 17,56 и 17,07 соответственно. Прирост составил 0,49 (с).

Таким образом, результаты исследования позволяют сделать вывод, что квалифицированно составленный комплекс физических упражнений с хорошо подобранным музыкальным сопровождением способствует повышению у студенток общей физической подготовленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Колодницкий, Г. А.** Ритмические упражнения, хореография и игры: методическое пособие / Г. А. Колодницкий, В. С. Кузнецов. – Москва : Дрофа, 2004. – 96 с.
2. **Роттерс, Т. Т.** Музыкально-ритмическое воспитание и художественная гимнастика / Т. Т. Роттерс. – Москва : Просвещение, 1989. – 175 с.

УДК 796.89

ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННОГО ПОДХОДА К ТРЕНИРОВКАМ ЖЕНЩИН В АРМРЕСТЛИНГЕ

М. Л. БУДАЕВ, М. Ф. ГРИГОРЬЕВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Актуальной остается проблема спортивного отбора и дальнейшей спортивной специализации наиболее перспективных спортсменов, занимающихся армрестлингом. Как правило, физическая подготовленность женщин, занимающихся армрестлингом, на этапе начальной подготовки достаточно низкая, о чем свидетельствуют результаты в силовом тестировании.

Для формирования индивидуально-ориентированного подхода в армрестлинге необходимо накопление статистических данных о силовых показателях и антропометрических характеристиках у женщин по весовым категориям.

Так, в 2016–2021 гг. было протестировано 76 женщин различных весовых категорий, занимающихся армрестлингом, по основным антропометрическим характеристикам и силовым показателям в контрольных упражнениях с высокой положительной взаимосвязью с результативностью борьбы основными способами борьбы в армрестлинге (табл. 1 и 2).

Табл. 1. Средние значения антропометрических характеристик женщин, занимающихся армрестлингом, начального уровня подготовки по весовым категориям

Весовая категория	Масса тела, см	Длина тела, см	Окружность плеча, см	Окружность запястья, см	Окружность предплечья, прямая рука, см	Окружность предплечья, рука согнута на 90 град, см	Окружность ладони, см	Длина предплечья от локтя до кончика среднего пальца, см
Весовая категория до 50 кг	46,75	155,25	24,75	14,31	21,25	22,75	18,18	39,5
Весовая категория до 55 кг	54,75	167	26,29	15,9	23,10	24,35	19,39	42
Весовая категория до 60 кг	58,26	167,5	27,85	15,65	24,3	25,65	19,86	42,35
Весовая категория до 65 кг	64,5	169,5	30,63	16	25,9	26,5	19,9	43,75
Весовая категория до 70 кг	69	172,2	31,75	16,5	26,5	27,5	20,5	44,1
Весовая категория до +70 кг	77,8	174,1	32,5	16,8	27,5	29,75	20,8	44,55

Табл. 2. Средние значения силовых показателей в контрольных упражнениях женщин, занимающихся армрестлингом, начального уровня подготовки по весовым категориям

Весовая категория	Жим штанги лежа на горизонтальной скамье, кг	Швунг жимовой штанги над головой, кг	Подъем штанги на бицепс, кг	Натяжка с лямкой на блоке, кг	Натяжка с лямкой на блоке через пальцы, кг	Супинация с лямкой на блоке, кг	Боковое движение с вращающейся ручкой на блоке, кг	Закручивание вращающейся ручки на блоке, кг	Пронация с лямкой на блоке, кг	Кистевая динамометрия, кг
Весовая категория до 50 кг	23,33	18,33	18,33	9,5	8,75	8,33	12,8	12,5	7,8	26,33
Весовая категория до 55 кг	25	19	20	10,75	8,5	8,44	12,5	12	7,6	27,83
Весовая категория до 60 кг	28	23	23	11,75	9,5	11,25	14	13,25	8,75	28,87
Весовая категория до 65 кг	32,5	27,5	25,5	12,5	10	12,75	16,25	15	9,5	29,5
Весовая категория до 70 кг	35	28,33	27,5	13,66	11,46	14,1	18,20	17,16	11,2	30,9
Весовая категория +70 кг	40	30	28,6	15	12,5	15	20,2	19,1	12,7	35,7

На основании данных (см. табл. 1 и 2) можно оценить текущий уровень силовых способностей, антропометрических характеристик спортсменок начального уровня подготовленности относительно среднего уровня показателей по соответствующей весовой категории, таким образом, осуществляя отбор на основании значимых для армрестлинга параметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будаев, М. Л. Проблема контроля подготовленности армрестлеров / М. Л. Будаев, М. Ф. Григорьев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 460–461.
2. Будаев, М. Л. Взаимосвязь силовых показателей в контрольных упражнениях с результативностью борьбы в армрестлинге / М. Л. Будаев // Весн. Магілёўскага дзярж. ун-та імя А. А. Куляшова. Сер. С. Псіхалага-педагагічныя навукі (педагогіка, псіхалогія, методыка). – 2021. – № 2 (58). – С. 61–67.

УДК 796.011.3

ИНКЛЮЗИВНАЯ ПРАКТИКА ПРОВЕДЕНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ СО СТУДЕНТАМИ

М. В. ВАСЮХНЕВИЧ, Е. А. КОПЫЛОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Инклюзивное образование обеспечивает равный доступ к обучению всех обучающихся в системе высшего образования с учетом разнообразных потребностей и индивидуальных возможностей. На сегодняшний день существует проблема инклюзивного образования при проведении занятий по физической культуре в высших учебных заведениях.

Инклюзия позволяет студентам в полном объеме участвовать в жизни коллектива; она направлена на развитие у студентов способностей с учетом их возможностей. Данный вид образования включает как потребности, так и специальные условия, а также поддержку студенту с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) [1].

Если студенты с ОВЗ получают полный доступ к процессу обучения, а в частности, к занятиям по физической культуре, то могут выявиться проблемы, требующие более общего и концептуального подхода для их решения.

В высших учебных заведениях студенты с ОВЗ чаще всего находятся в условиях малоподвижности как вынужденной формы поведения. Обычно они освобождены от занятий физической культурой. Для занятий с ОВЗ требуется разработка и внедрение специальных образовательных программ по физической культуре [2].

Отличительными особенностями занятий по физической культуре со студентами ОВЗ являются:

- индивидуальных подход в обучении;
- систематизация упражнений и заданий по виду заболеваний;
- использование разнообразных средств для предотвращения утомления (физические упражнения, корригирующие упражнения, коррекционные подвижные игры, элементы спортивных и настольных игр);
- повышение уровня активности;
- применение специальных методов, приемов и средств обучения, способствующих активизации познавательной деятельности студентов.

Занятия по физической культуре данной категории студентов формируют у них стремление преодолевать физические и психологические барьеры, препятствующие нормальной полноценной жизни; осознавать свою значимость и место в обществе; повышать желание в улучшении своего физического состояния и здоровья.

В организации учебного процесса широко используются игровые тренинги и игровые ситуации, способствующие развитию умения общаться с другими студентами. Игры увеличивают двигательную активность, повышая мотивацию и интерес к занятиям физической культурой, что непосредственно сказывается на физиологических показателях организма студентов [3, 4].

Значимым аспектом на занятиях по физической культуре является стимулирование студентов ОВЗ: поощрять любые проявления его инициативы, отмечать его успехи в физическом развитии, не лишая возможности заботиться о самом себе.

Благодаря инклюзивному образованию студенты с ОВЗ участвуют в большом количестве взаимодействий со сверстниками, не так сильно ощущают барьерную среду в общении.

В инклюзивных группах студенты с нормальным развитием имеют более выраженные коммуникативные навыки и ведут себя более активно, чем в группах, состоящих только из нормативно развивающихся сверстников [5].

Таким образом, внедрение инклюзивного образования в высших учебных заведениях дает возможность для обучения лиц с ограниченными возможностями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мелина, Е. В.** Инклюзивное образование в вузе: создание доступной образовательной среды для студентов с ОВЗ: монография / Е. В. Мелина; под ред. Н. М. Прусс. – Казань: ТИСБИ, 2013. – С. 37–53.
2. **Алехина, С. В.** Готовность педагогов как основной фактор успешности инклюзивного процесса в образовании / С. В. Алехина, М. А. Алексеева, Е. Л. Агафонова // Психологическая наука и образование. – 2011. – № 1. – С. 83–92.
3. **Сыпко, А. Г.** Формирование двигательных умений и навыков на уроке физической культуры в условиях инклюзивного образования / А. Г. Сыпко // Вопросы организации совместных (инклюзивных) занятий физической культурой и спортом лиц с ограниченными возможностями здоровья и здорового населения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Ханты-Мансийск, 2017. – С. 274–280.
4. **Копылова, Е. А.** Исследование мотивации к занятиям физической культурой у студентов вуза технического профиля / Е. А. Копылова, Т. В. Афанасенко // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 480–481.
5. **Копылова, Е. А.** Физическая культура как средство преодоления психологических барьеров в общении / Е. А. Копылова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 448–449.

УДК 796.012.62

ОСОБЕННОСТИ ТРЕНИРОВКИ ПО СИСТЕМЕ «ИЗОТОН»

М. В. ВАСЮХНЕВИЧ, О. П. МАКАРЕНКО, Е. А. МАЛЫШЕВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Изотон – это эффективная практика оздоровления организма. Достойная замена схожего направления – йоги. «Изотон» может применяться не только в системе фитнес-программ, но и в подготовке студентов-спортсменов.

В основе системы тренировок лежит несколько задач: увеличение работоспособности организма человека и поддержание физического состояния в тонусе. Упражнения по «Изотону» сгруппированы в различные направления (силовое, стретчинг, система особого типа дыхания). Название «Изотон» система получила, во-первых, по типу физических упражнений, при которых мышцы постоянно напряжены во время подхода; во-вторых, по основному эффекту, который достигается в результате ее применения, высокому «жизненному тону» человека [1].

Преимуществами системы тренировок по «Изотону» являются: красивое тело и умение им владеть; укрепление здоровья и улучшение работы эндокринной, иммунной, сердечно-сосудистой систем, а также улучшение психоэмоционального состояния человека; выраженное жиросжигание.

Главным аспектом в тренировке является то, что действия выполняются через силу и напряжение. В результате выполнение таких физических упражнений будет более продуктивнее и эффективнее.

Основной отличительный признак такого характера работы мышц – это нарушение локального кровотока, которое в сочетании с достаточно высокой степенью напряжения мышц быстро (в течение 15–25 с) создает гипоксические условия внутри мышечных волокон. При правильной технике силовых упражнений скорость сокращения мышц небольшая, амплитуда средняя или полная, в цикле движения могут быть паузы. Мышцы обычно не расслабляются до конца подхода [2].

Программа тренировок по «Изотону» включает следующие упражнения:

- разминка (стретчинг, суставная гимнастика, упражнение на равновесие);
- движение тазом (полукруговые, круговые, движение восьмеркой и обратной восьмеркой);
- подъем таза вверх лежа на спине;
- подъем ног вверх в упоре лежа;
- выпады вперед из основной стойки;

- поднимание туловища с поворотом в стороны из положения лежа на спине, руки за головой;
- медленные приседания из стойки ноги врозь, руки за головой;
- сгибание и разгибание рук в упоре лежа.

Во время выполнения упражнений нужно учитывать, что необходимо «довести» мышцы до чувства жжения. Система «Изотон» от многих других систем отличается еще тем, что она выполняется по схеме – 30 с выполняется упражнение медленно и без расслабления мышц, а затем 30 с отдыха (30/30). Если упражнение выполнять в таком темпе тяжело, тогда можно сократить время выполнения упражнения и увеличить время отдыха (20/40).

Упражнения выполняются по 3–4 подхода. Вначале во время кардионагрузки упражнения выполняются в умеренном темпе, следя за частотой сердечных сокращений и дыханием. По мере тренированности постепенно увеличивать темп выполнения упражнений. Оптимально, чтобы во время ходьбы или бега появилось покраснение кожного покрова, чувство тепла, дыхание участилось, а частота пульса составляла 110–130 ударов в минуту [2].

Тренировка построена таким образом, чтобы мягко и последовательно проработать все мышечные группы, фасции, связки, сухожилия. Применяются естественные средства комплексного воздействия на организм человека.

Программа по «Изотону» может включать в себя следующие разделы:

- тренировка психологической составляющей – средства для релаксации;
- средства физиотерапевтического воздействия (сауна, бани, массаж);
- гигиенические очищающие и закаливающие процедуры;
- соблюдение правильного питания;
- контроль за физическим и функциональным состоянием организма.

Работать по системе «Изотон» следует в комплексе, т. к. каждый компонент занятия связан друг с другом. Поэтому важно соблюдать все правила занятий по данной методике, чтобы достичь нужного эффекта от тренинга.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Освоение дисциплины «Физическая культура и спорт» в ВУЗе с применением инновационных технологий / С. М. Лукина [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 2019. – № 4. – С. 44–46.
2. Селуянов, В. Н. Изотон (основы теории оздоровительной физической культуры): учебное пособие / В. Н. Селуянов, С. К. Сарсания, Е. Б. Мякинченко. – Москва: РГАФК, 1995. – 68 с.

УДК 008.001.14

ГЛОБАЛЬНЫЙ АНТРОПОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС
В ЭПОХУ ПОСТСОВРЕМЕННОСТИ

А. П. ДУБИНИНА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В современном обществе в результате глобального антропологического кризиса наблюдается процесс смены парадигмы – индивидуализация сменяется деиндивидуализацией: начальный этап этого процесса осуществляется на уровне индивида, а затем на уровне масс. Сейчас трудно давать какие-либо оценки происходящему процессу, единственное, что можем отметить, – это отнюдь не положительное влияние собственно на человеческую личность, общество, культуру, т. к. происходит утрата подлинных человеческих ценностей, человеческая идентичность приобретает размытые, неопределённые формы, человек постепенно уходит от свободы и ответственности за будущее в планетарном масштабе, перестаёт осознавать себя венцом творения и становится вещью в мире тотального потребления и массовых стандартов.

Характеристикой общества постсовременного этапа развития становится неолиберальная глобализация и превращение в капитал всех сфер человеческой жизни. Г. Маркузе в своём определении общества позднего капитализма выдвинул концепцию «одномерного» человека в обществе, где присутствует избыток материальных благ и господствуют ложные ценности. Так, у Г. Маркузе общество такого типа – это «негативная сторона технического прогресса с потерей индивидуального мышления и способности человека жить по собственным правилам» [2]. Главенствующее материальное благополучие ведёт к кризису духовности, деиндивидуализации и формированию «одномерного человека». Позже, в работах французских исследователей Л. Болтански и Э. Кьяпелло были обозначены основные изменения, характерные для общества постсовременности, – это «глобальная финансовая система, гибкая система управления, стремление к постоянному изменению, диверсифицированность и дифференцированность, инновация и креативность, сетевые фирмы, отсутствие авторитарного начальства, новая форма меритократии, пригодность к найму, способность управления собой» [1].

В новейших концепциях антропоцена Б. Латура и Д. Харауэй нынешнее общество связывается с понятием глобального планетарного кризиса и экзистенциального риска, когда происходит формирование «ресурсного мышления» в противовес идеям гуманизма, справедливости, свободы и ответственности,

повсеместно наблюдаются расовые, религиозные, классовые трансформации. Самым заметным явлением постиндустриального типа общества является дегуманизация и, как следствие, антропологический кризис, который сегодня приобрёл глобальный характер. Суть современной дегуманизации определяет социально-экономическая структура общества, но феномен дегуманизации получил своё развитие ещё в философских концепциях второй половины XIX в., с тех пор эта проблема не утрачивает своей актуальности. В начале XX в. испанский философ, публицист Х. Ортега-и-Гассет в работах «Дегуманизация искусства» и «Восстание масс» затрагивает проблемы кризиса современной ему культуры и общества [3]. Философ соотносит появление новых направлений в искусстве с «бегством от человека», с бегством от истинной духовности, истинных ценностей и смыслов, бегством от ответственности. Ситуация в обществе и культуре первой четверти XXI в. в основании своём не имеет кардинальных отличий от ситуации начала XX в., основные тенденции в отношении человека, общества, самоощущения человека сохраняются. Отличие наблюдается лишь в изменении характера труда, связанного с появлением компьютерной техники и электронных средств хранения, распространения и передачи информации, а также слишком отчётливым сегодня становится результат дегуманизации в условиях постиндустриального типа обществ: происходит разрушение социальных связей, отказ от института семьи, наблюдается возрастающее количество депрессий, суицидальных устремлений, отчуждения человека от социума.

В данной ситуации огромная роль принадлежит образованию, в частности, гуманитарному образованию, когда в ходе внедрения в образовательный процесс в современном университете элективных курсов по межкультурной коммуникации, основам межличностного взаимодействия, курсам этической, эстетической, культурологической направленности представляется возможность обратить внимание студентов на поиск смысла существования, обретение идентичности и формирование гуманистических жизненных ориентаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Болтански, Л.** Новый дух капитализма / Л. Болтански, Э. Къяпелло. – Москва: АСТ, 2011. – 378 с.
2. **Маркузе, Г.** Одномерный человек [Электронный ресурс] / Г. Маркузе. – Режим доступа: https://platona.net/load/knigi_po_filosofii/frankfurtskaja_shkola/gerbert_markuze_odnomernyj_chelovek_perev_a_judina/57-1-0-347. – Дата доступа: 25.01.2022.
3. **Ортега-и-Гассет, Х.** Восстание масс [Электронный ресурс] / Х. Ортега-и-Гассет. – Режим доступа: http://lib.ru/FILOSOF/ORTEGA/ortega15.txt_with-big-pictures.html. – Дата доступа: 25.01.2022.

УДК 378.4(476)

ГУМАНИТАРНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В ПРОЦЕССЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЛОСОФИИ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

В. З. ЖУКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Дальнейшее развертывание и активизация гуманитарной составляющей в вузах является насущной прикладной задачей в условиях современного развертывания событий в мире и, в частности, в Республике Беларусь. Протестные выступления молодежи наглядно показали роль и значение этой проблемы, решение которой оказалось временно ослабленным.

Особым значением рассматриваемый вид преподавательской деятельности обладает применительно к вузам технических специальностей.

Курс лекций и семинарских занятий по философии целесообразно адаптировать с учетом происходящих событий. Необходимо осуществить частичную перестройку учебной программы и отказаться от избыточного рассмотрения общеполитических, чрезмерно «затеоретизированных» терминов. Значительно больше учебного времени следует отвести на анализ тем, относящихся к философскому осмыслению проблем человека, человека в мире ценностей, личности и общества, человека в техносфере, человека и политики, человека и морали.

Реализация данной установки предполагает наделение Ученых Советов вузов большей долей свободы, самостоятельности применительно к разработке учебных программ. В реальном положении дел Министерство образования решает почти все, тогда как предоставленных вузам полномочий явно недостаточно.

Полезным было бы введение новой темы под именованием, например, «Философское осмысление информации и информационной войны». Настало время анализа энергоинформационной проблематики. Это касается того, что в жизнедеятельности человека остается незаметным – западные спецслужбы, обладая специальными электронными системами, в которые входят IT-технологии, обладают практическими возможностями непосредственного влияния на мышление человека и экзистенциальный мир эмоций и чувств. Молодежью должны осмысливаться факты неощутимой технологии формирования их собственных убеждений и моделей принятия решений, навязываемые внешними источниками.

Необходимо основательно анализировать и прорабатывать на семинарских занятиях главную философскую идею Фридриха Ницше насчет того, что, якобы,

сегодня жить, принимать решения, поступать следует по ту сторону морали, цель оправдывает почти любые используемые средства ее достижения. Ведь именно такого принципа западной философской традиции придерживаются многие современные политические и государственные деятели Запада. В результате происходят постепенное соответствующее изменение человеческого фактора и обострение противоречий в международных отношениях.

Философскому осмыслению должен подвергаться спор по проблеме соотношения диалектики и синергетики. Сторонники синергетической методологии истолкования процесса развития утверждают о том, что, якобы, диалектика устарела и ее следует заменить синергетикой. На самом деле, в синергетике изучаются особые, сложные, саморазвивающиеся, нестабильные системы, элементы которых обладают большими степенями свободы, а также то, что в таких системах большую роль играют хаос, случайности, чем закономерности на кризисных этапах развертывания событий. Синергетика не вытесняет диалектику, а лишь частично ее дополняет. Обучающаяся молодежь должна прочно осознавать то, что синергетической методологией прикрываются отдельные ведущие политики и государственные деятели Запада в процессе разжигания конфликтов в других странах с целью «проталкивания» «карманных», послушных руководителей государств и правительств в условиях хаоса.

Философско-психологическая идея Зигмунда Фрейда о формировании инверзий (особых заболеваний) не должна излагаться только в сексуальном аспекте. Студенты должны знать, что противоречия между «Я» личности и «сверх-Я» в духовном мире личности, приобретая антагонистический характер, часто участвуют в «прорыве» слабых мест в физиологии организма, нервной системе, психике. Они деформируют даже сознание, самосознание личности. Важным является формирование понимания – как это происходит, когда и почему.

Нельзя отказываться в учебном процессе от марксистской идеи социализации личности. Вместе с ней студентов следует знакомить с альтернативными идеями самоформирования «Я» в контексте бихевиоризма, экзистенциализма, позитивизма, неопозитивизма и постмодернизма. Всесторонний подход будет способствовать расширению кругозора студентов и свободному оценочному выбору в области гуманитарных версий и убеждений.

В активизацию гуманитарного образования могут внести значительный вклад современные методики проведения семинарских занятий. Особо следует отметить, в этом смысле, практикоориентированную методику «деловых игр» со студентами, методику межгрупповых дискуссий, проблемный метод и др. Организация прикладных занятий в указанных формах будет осуществлять трансформацию семинаров в практические интерсубъективные занятия.

УДК 37.018

ЦЕННОСТНЫЕ ОРИЕНТАЦИИ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ

А. В. КАЗАНСКИЙ, Н. Е. КОРНЕЕВА, Т. В. ПРОТАСОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В университете проведено социологическое исследование студентов с целью изучения отношения к проблемам общественной, экономической и социальной жизни, а также выявления ценностных ориентаций личности. Ценностные ориентации личности были разделены на цели жизни и средства достижения целей жизни. Цели жизни: ориентации на общественно-политическую деятельность, труд, общение, познание, материальное благополучие. Средства достижения целей жизни: ориентации на развитие деловых, волевых, нравственных и моральных качеств.

В исследовании приняли участие 231 чел. Для исследования была сформирована анкета, состоящая из 19 вопросов с различным выбором вариантов ответа: выбор до пяти вариантов, с неограниченным выбором и вопросы с ранжированием вариантов ответа по степени значимости от 1 до 10 (1 – наиболее значимый пункт, 10 – наименее значимый). Обработка результатов проводилась посредством статистического и качественного анализа ответов студентов. В табл. 1 представлены некоторые итоги социологического исследования ценностных ориентаций студенческой молодежи, в частности оценка достижений за время учебы в УВО.

Табл. 1. Ценностные ориентации в достижениях

Достижения (процент ответивших утвердительно)									
Получение диплома	Получение знаний	Становление себя как личности	Приобретение новых друзей	Развитие способностей	Понимание людей, навыки делового общения	Познание жизни	Результаты обучения (оценки)	Спортивные достижения	Успехи в научно-исследовательской деятельности
65	49	46	40	39	36	27	22	14	8

Важнейшей ценностью студенты считают получение диплома о высшем образовании (ответили 65 % от числа опрошенных), получение знаний является

вторым по весу значимым достижением – 49 %, следовательно, желание получить диплом превалирует над желанием получить соответствующие знания и умения по выбранной специальности. Получение обучаемыми знаний и умений в выбранной профессиональной области является главной целью учебного процесса в университете, но только половина опрошенных разделяет ее.

Не менее важным для себя, по сравнению с получением знаний, студенты считают становление как личности (46 %), при этом недооценивают влияние профессиональных компетенций на будущую карьеру, соответственно, на становление личности, и не осознают, что полученное высшее образование – один из первых этапов становления личности, и этот процесс будет достаточно продолжительным. Помимо этого, недооценена необходимость развития способностей (39 %) при становлении личности. Студенческая молодежь высоко ценит коммуникации, поэтому среди ценностей высокое место занимают такие категории, как понимание людей (36 %) и приобретение новых друзей (40 %).

На основании данного исследования представляется возможным сформировать коллективный портрет студенческой молодёжи: условный молодой человек понимает ценность диплома о высшем образовании как документа, подтверждающего определённый социальный статус, стремится его получить. Он считает важным становление себя как личности, но при этом для него не самым главным является получение знаний и умений в профессиональной области, развитие своих способностей. Молодой человек не имеет личностной заинтересованности в получении качественных знаний во время своей учёбы, т. к. не осознает, что эти знания, полученные в процессе обучения, будут очень важны во время трудоустройства и дальнейшей трудовой деятельности. Он нацелен на поиск новых друзей и процесс общения с ними. Молодой человек не ориентирован на участие в научных исследованиях, которые в значительной мере могут способствовать в становлении его как личности.

Выводы.

1. В учебно-воспитательный процесс необходимо включать мероприятия, пропагандирующие успехи и достижения выпускников в профессиональной деятельности, их влияние на образ жизни, социальный статус, возможности.

2. Студентам необходимо объяснять значимость становления себя как личности в профессиональной области и получения качественных знаний и умений, которые способствуют дальнейшему личностному саморазвитию.

3. Необходимо привлекать молодых людей к участию в научных исследованиях, инновационной деятельности, позволяющей наиболее полно раскрыть свои способности, получить дополнительные компетенции.

УДК 53:378.147

РОЛЬ РЕШЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

О. Е. КОВАЛЕНКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В последние годы среди первокурсников наблюдается низкий уровень базовой подготовки. Ориентирование школьного образования на централизованное тестирование привело к тому, что выпускники средних школ не умеют рассуждать и излагать свои мысли. Кроме этого, возникают проблемы и с пояснениями решения физических задач, несмотря на то, что они их решили правильно. Склонность найти готовое решение задачи в интернете препятствует получению реальных знаний путем изучения материала учебника или конспекта. Поступив в вуз, студенты сталкиваются с совершенно другой организацией учебного процесса и другими требованиями к усвоению материала, что доставляет определенные трудности при изучении дисциплины.

Образовательный процесс в вузе направлен на освоение определенных компетенций, при этом этапами обучения являются получение знаний, умений и навыков. И если знания и умения у студентов при обучении физике формируются на практических занятиях при решении теоретических задач, при подготовке и выполнении лабораторных работ, при проведении контрольных работ, при подготовке к сдаче зачета или экзамена, то формирование навыков, позволяющих использовать полученные знания в нестандартных ситуациях, вызывает большие затруднения.

Для решения этой проблемы при обучении физике предлагается внедрение в учебный процесс решение качественных и количественных экспериментальных задач. Удобнее всего такое внедрение осуществить на лабораторных занятиях, сопроводив выполнение лабораторного задания, которое выполняется по алгоритмическому принципу, экспериментальной задачей, решение которой потребует использование данной установки или ее компонент. Контроль результатов выполнения экспериментального задания осуществлять при защите лабораторных работ. Студент, выполнив основное задание лабораторной работы, будет вынужден вникнуть в суть работы, произвести поиск недостающей информации любыми доступными методами, самостоятельно выбрать компоненты лабораторного стенда для решения задачи и произвести необходимые измерения. Благодаря такому подходу студент усвоит изученный материал и сможет его применять в дальнейшей своей практической деятельности.

УДК 338

КОНКУРЕНТНЫЕ ПОЗИЦИИ БЕЛОРУССКИХ И РОССИЙСКИХ ВУЗОВ НА РЫНКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ

С. Л. КОМАРОВА, В. Д. САВАСТИЦКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Большую конкуренцию белорусским вузам составляют учреждения образования Российской Федерации, в частности учреждения образования Смоленского и Брянского центрального округа. На данный момент граждане России и Беларуси имеют одинаковые права на поступление в учебные заведения обеих стран, в связи с чем часть абитуриентов Республики Беларусь поступают в учреждения образования Российской Федерации.

В последнее время наблюдается большой рост сотрудничества Республики Беларуси с высшими учебными заведениями Российской Федерации. В течение последних нескольких лет гражданам Республики Беларусь предлагается квота для получения образования в высших учебных заведениях Российской Федерации. Для получения квоты необходимо до 1 ноября отправить документы (паспортные данные, ведомость с оценками, медицинская справка) в Российский центр науки и культуры, филиалы которого находятся в Минске, Бресте и Гомеле. После этого необходимо сдать учебные тесты по предметам, которые связаны с выбранной специальностью. На решение теста отводится 90 мин. Максимальный балл за тест – 100. Если хорошо написать тесты для набора по квоте, можно получить скидку на обучение в размере 25 %, 50 % и 75 %, а также поступить на бюджет. После написания тестов, при хорошем результате, на почту придёт письмо о зачислении. Также вузы Российской Федерации предоставляют студентам из Республики Беларусь общежития.

Было проведено исследование приграничного рынка образовательных услуг, в ходе которого выявлено, что среди вузов приграничных регионов Белорусско-Российский университет занимает второе место.

Оценка конкурентоспособности учреждения образования на международном рынке образовательных услуг проводилась методом анализа иерархий (МАИ).

К основным этапам данного метода относятся:

- определение проблемы и ожидаемых результатов;
- построение иерархии, начиная с вершины (цели – с точки зрения управления), через промежуточные уровни к самому нижнему уровню;
- построение множества матриц парных сравнений для каждого из нижних уровней – по одной матрице для каждого элемента, примыкающего сверху уровня. В результате получаем квадратную матрицу суждений. Попарные сравнения проводятся в терминах доминирования одного из элементов над

другим. Если элемент А доминирует над элементом Б, то клетка, соответствующая строке А и столбцу Б, заполняется целым числом, а клетка, соответствующая строке Б и столбцу А, заполняется обратным к нему числом (дробью). Если считается, что А и Б одинаковы, в обе позиции ставится единица.

Глобальный приоритет для каждого исследуемого объекта находится как сумма произведений строки Показатель на значения всех критериев по данному объекту (табл. 1).

Табл. 1. Матрица глобального приоритета

	Количество факультетов	Количество кафедр	Количество ППС	Кандидатов наук	Докторов наук	План набора	Количество публикаций вуза	Наличие общежитий	Глобальный вектор приоритетов
Показатель	0,066	0,191	0,066	0,083	0,104	0,159	0,253	0,078	
СмолГУ	0,214	0,428	0,084	0,157	0,2	0,308	0,123	0,156	0,227
БГУ	0,381	0,214	0,158	0,409	0,2	0,133	0,038	0,451	0,197
БГТУ	0,233	0,197	0,404	0,271	0,4	0,430	0,123	0,156	0,255
БГИТУ	0,045	0,096	0,045	0,048	0,1	0,038	0,123	0,081	0,082
БРУ	0,137	0,065	0,309	0,115	0,1	0,091	0,593	0,156	0,239

Если сложить все значения глобального приоритета для пяти университетов, то обязательно будет единица.

Проанализировав матрицу глобального приоритета, необходимо по наибольшему значению выбрать наилучшее учреждение образования.

В результате исследований было получено, что наилучшим показателем глобального приоритета обладает Брянский государственный технический университет (БГТУ), а Белорусско-Российский университет находится на втором месте.

Можно сделать вывод, что Белорусско-Российский университет занимает достаточно прочные позиции. Чтобы удерживать эти позиции, необходимо грамотно организовать маркетинговую и профориентационную работу университета, направленную на завоевание и сохранение внимания потенциального студента. Необходимо проводить различные профориентационные акции в крупнейших торговых центрах города и на городских мероприятиях, чтобы листовки вуза оказались в семье каждого выпускника и с ними могли ознакомиться родители, которые оказывают влияние на выбор абитуриента.

Таким образом, задача Белорусско-Российского университета – укрепление нынешних позиций университета и привлечение как можно большего количества выпускников школ в качестве потенциальных абитуриентов.

УДК 811:004

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕРВИСА LEARNINGAPPS ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В НЕЯЗЫКОВОМ ВУЗЕ

Е. А. КОНОПЛЁВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время информационно-коммуникационные технологии стали неразрывной частью учебного процесса. Учебный процесс уже немыслим без широкого применения современных технологий.

Существует ряд электронных образовательных приложений, которые можно достаточно продуктивно применять в преподавании иностранных языков в неязыковом вузе. Одним из них является сервис LearningApps – общедоступное приложение Web 2.0, разработанное специально для поддержки процесса обучения и преподавания с помощью интерактивных мультимедийных модулей [1].

Для работы с образовательным приложением преподавателю и студенту нужно зарегистрироваться на сайте LearningApps. Создавать интерактивные модули по готовым шаблонам может как преподаватель, так и студент. LearningApps.org содержит большое количество упражнений на иностранном языке. Все задания веб-сервиса расположены по категориям и позволяют учитывать уровни языковой компетенции обучающихся, что является основой для реализации принципов индивидуализации и дифференцированного подхода в обучении. Наличие уже готовых упражнений значительно упрощает подготовку преподавателя к занятиям, давая идеи к созданию аналогичных заданий по различным темам учебной программы дисциплины.

Использование ресурсов данного сервиса имеет ряд преимуществ для преподавания немецкого языка в Белорусско-Российском университете при подготовке специалистов неязыкового профиля. Ввиду отсутствия специальных знаний у студентов первого курса в области осваиваемой специальности, особую сложность представляет собой введение лексики на иностранном языке по темам профессионально-ориентированного блока учебной программы. С помощью использования возможностей платформы LearningApps знакомство со сложными техническими и экономическими темами может происходить в доступной для восприятия на иностранном языке форме. Это способствует формированию познавательного интереса к дисциплине и повышению уровня мотивации изучения иностранного языка.

Приложение LearningApps содержит шаблоны, которые условно можно разделить на непосредственно учебные и учебно-игровые. Практически все шаблоны сервиса LearningApps можно наполнить видео- и аудиоматериалом, что позволяет задействовать больше органов восприятия информации и реализовать принцип визуализации.

В настоящее время существует 28 различных шаблонов, которые можно заполнить собственным контентом с помощью соответствующих форм. Выбор варьируется от стандартных шаблонов, таких как тесты с множественным выбором и кроссворды, до сложных шаблонов для работы с фильмами YouTube. Особого внимания заслуживают шаблоны для обучающих игр с несколькими игроками, а также так называемые инструменты, которые можно использовать, например, для создания ментальных карт и виртуальных пинбордов. Созданные таким образом блоки хорошо подходят для использования на интерактивной доске.

С открытием в Белорусско-Российском университете нового направления подготовки 41.03.01 «Зарубежное регионоведение» немецкий язык стал изучаться как отдельная дисциплина с начального уровня, что подразумевает отсутствие у студентов базовых знаний о языковых реалиях изучаемого языка. На начальном этапе обучения иностранному языку большую роль играет введение и изучение новой лексики, знакомство с грамматикой и фонетикой языка, развитие навыка аудирования, пересказа, а также диалогической речи. Все эти этапы требуют тщательной тренировки, а приложение LearningApps удобно тем, что его можно использовать практически на любом этапе занятия.

При обучении немецкому языку студентов Белорусско-Российского университета разрабатываются задания с использованием данного сервиса в качестве речевой разминки, для введения нового материала (в том числе для технических специальностей), его тренировки и закрепления, при проведении контроля усвоения учебного материала по темам учебной/рабочей программы. Кроме этого, задания, созданные с помощью данного сервиса, успешно используются для самостоятельной работы студентов дома.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Learningapps.org [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learningapps.org/about.php>. – Дата доступа: 20.01.2022.

УДК 338

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТНОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ФАКУЛЬТЕТОВ МЕТОДОМ БЕНЧМАРКИНГА

А. Г. КРОТОВА, М. Д. САКОВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Анализ конкурентоспособности по отдельным критериям деятельности факультета необходим для оценки и сравнения их с показателями конкурентов. Выбор общих факторов конкурентоспособности факультетов позволяет при анализе сравнить организации, имеющие как одинаковую, так и различную направленность.

Для сравнения показателей факультетов используем такой вид маркетингового исследования, как метод бенчмаркинга, который заключается в сопоставлении потребительских характеристик отдельного факультета, установлении лучших значений их характеристик и использовании их в качестве ориентиров при оценке конкурентоспособности подразделений учреждения образования. Отраженная на диаграмме информация в крайних точках позволяет показать «идеальное» состояние конкурентоспособности подразделений учреждения образования. Все иные фигуры отражают состояние каждого факультета. Оно характеризуется веревочным многоугольником, соответствующим лучшим показателям на каждом луче диаграммы (рис. 1).

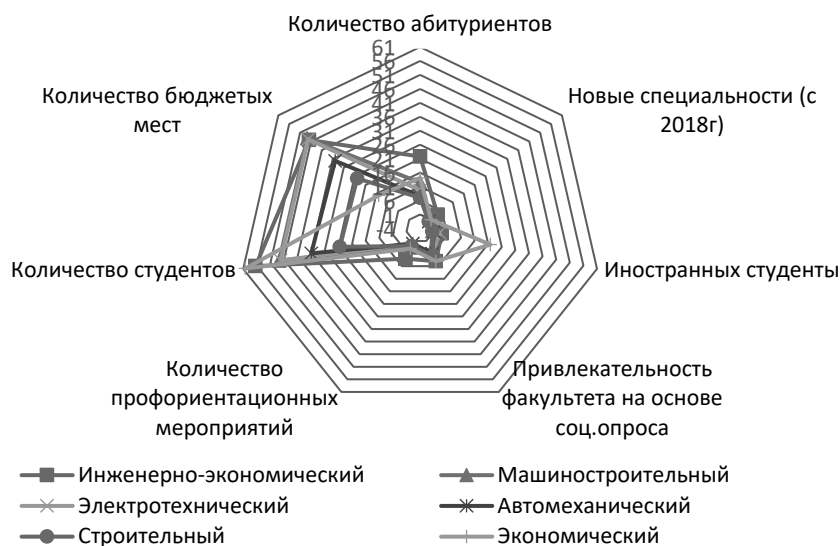


Рис. 1. Результаты оценки конкурентоспособности факультетов методом бенчмаркинга

По результатам построения диаграммы можно сделать вывод, что самые высокие показатели конкурентоспособности у инженерно-экономического факультета, который работает по образовательным программам Российской Федерации.

УДК 94(476)

ИСТОРИЧЕСКАЯ ПАМЯТЬ. К ВОПРОСУ О РОЛИ
КУРСА «ИСТОРИЯ РОССИИ» В ФОРМИРОВАНИИ ПАТРИОТИЗМА

С. Е. МАКАРОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Прочным фундаментом жизнестойкости государства является патриотизм, обеспечивающий процесс самоорганизации общества с целью сохранения его идентичности и оптимизации дальнейшего развития. Он выступает как системно-образующий фактор духовно-морального развития личности. Истоком базовых мировоззренческих ценностей патриотизма, любви к своей Родине является духовное единство народа – «нечто такое, что остается сущим и объективным, несмотря на гибель единичных субъектов и на смену поколений, что нужно беречь в себе и воспитывать в детях» [1].

Изучая историю России, студент не только воспринимает ее историю как единый многоуровневый процесс на различных этапах ее развития. Он овладевает умением оценивать героизм и мужество российского народа в защите интересов страны.

В результате творческого, заинтересованного обращения современных студентов к историческим урокам народа, создавшего в сложнейших условиях одну из величайших цивилизаций в мире, формируется самостоятельная гражданская позиция и осмысленное чувство патриотизма. Работая с многочисленными источниками информации, будущий специалист овладевает навыками уважительного и бережного отношения к историческому наследию и культурным ценностям.

В истории каждого народа есть фигуры, ставшие символами доблести и героических побед. Для России такой монументальной фигурой является князь Александр Невский, соединивший самые разные и часто непохожие одна на другую эпохи – средневековую Русь, Московское царство, Российскую империю, Советский Союз и наше время.

В конце XIX в. Дмитрий Иловайский, автор самых популярных в то время учебников по русской истории, назвал Александра Невского «нашим национальным героем» и так охарактеризовал его феномен: «Практический ум, твердость воли и гибкость характера, или умение сообразоваться с обстоятельствами» [2].

В мае 2021 г. Россия отметила 800-летие со дня рождения Александра Невского. Указ о праздновании этой знаменательной даты был подписан Президентом Российской Федерации в 2014 г. Речь шла о событии, побуждающем связывать воедино историю и современность, выявлять и интерпретировать

сквозные мотивы, определяющие траекторию многовекового пути во времени и пространстве, чтобы лучше понять, что ждет страну впереди и к чему готовиться [3]. На открытии скульптурного комплекса, возведенного на берегу Чудского озера, «Александр Невский и его дружина» Владимир Путин подчеркнул, что масштаб личности Александра Невского грандиозный. Он «жил в сложный период отечественной истории, когда угроза утраты нашей государственности могла стать трагической реальностью ... Его чтут как правителя, всем сердцем радевшего за Отечество, как талантливого полководца и дипломата и, безусловно, как хранителя веры и традиций родного края, родного народа, его духовной, нравственной силы» [4].

Уникальность этой исторической личности состоит в том, что его образ в разные исторические эпохи постоянно был в центре внимания, прообраз будущей «симфонии» духовной и светской власти [5, 6]. Образ Александра Невского сыграл в 1941–1945 гг. огромную роль в мобилизации советских людей на борьбу с врагом [7]. В образе святого князя нашли сочетание воли к историческому действию с благородством помыслов Виктор Васнецов, Михаил Нестеров, Николай Рерих, Павел Корин, Николай Черкасов, Сергей Эйзенштейн, Сергей Прокофьев.

При организации самостоятельной работы студентов при изучении героических страниц истории России эффективными в формировании гражданственности и патриотизма, как свидетельствует практика Белорусско-Российского университета, являются такие формы, как написание эссе, рефератов, подготовка презентаций. Богатое историко-библиографическое наследие по истории России, в том числе по Александру Невскому, позволяет разнообразить студенческую научную работу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Канашевич, Н. М.** Контент идеологии в модернизирующем обществе: монография / Н. М. Канашевич. – Могилев: Институт МВД, 2019. – 364 с.
2. **Замостьянов, А.** Князь-победитель / А. Замостьянов // Историк. – 2021. – № 5. – С. 8–11.
3. **Торкунов, А. В.** О вечном и новом в актуальном контексте мировой политики (к 800-летию со дня рождения Александра Невского) / А. В. Торкунов // Полис. Политические исследования. – 2021. – № 3. – С. 8–16.
4. Защитнику государственности // Историк. – 2021. – № 10. – С. 4.
5. **Эрлихман, В.** «Солнце Русской земли». Как менялся образ святого благоверного князя-воина на протяжении веков? / В. Эрлихман // Историк. – 2021. – № 5. – С. 15–17.
6. **Горский, А.** Между Западом и Востоком / А. Горский // Историк. – 2021. – № 5. – С. 33.
7. Александр Невский. Государь, дипломат, воин / Отв. ред. А. В. Торкунов. – Москва: Р. Валент. – 2010. – 536 с.

УДК 811:316.472.4

КОНТРОЛЬ И ОЦЕНИВАНИЕ УСТНЫХ ОТВЕТОВ НА ЗАНЯТИЯХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ

Е. Н. МЕЛЬНИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Контроль знаний, умений и навыков имеет важное значение в организации учебной деятельности на занятиях по иностранному языку. В процессе контроля отслеживается динамика достижений каждого обучающегося, определяются проблемные места в усвоении материала, и на основе полученной информации корректируется процесс обучения.

Основной целью обучения говорению является развитие у обучающихся способности осуществлять устное речевое общение в различных ситуациях. Объектами контроля на занятиях по иностранному языку являются знания и сформированные на их основе речевые навыки (языковая компетенция) и умения пользоваться приобретенными знаниями и навыками (коммуникативная компетенция). При оценивании уровня сформированности коммуникативных умений обучающихся следует обращать внимание не столько на количество языковых ошибок, сколько на степень решения коммуникативной задачи.

Для оценивания устных ответов наиболее объективной является индивидуальная форма контроля. Контроль умений в устной речи может строиться в виде воспроизведения ситуаций общения или на основе прочитанного текста в ходе беседы преподавателя и обучающегося. Кроме того, проверка уровня развития навыков говорения может быть осуществлена в ходе групповой или парной форм работы обучающихся (ролевые игры, организация бесед и дискуссий, подготовка проектов). Для проведения контроля должны быть разработаны четкие критерии оценивания, чтобы исключить возможность влияния субъективных суждений преподавателя.

Говорение выступает в двух формах: монологической и диалогической. Под диалогическими речевыми умениями понимаются необходимые для общения в форме диалогической речи умения понимать собеседника и определять характер его коммуникативного намерения; формулировать запрос информации, адекватно реагировать на реплики-стимулы; пользоваться нормами языка и речевого этикета, характерными для диалогической речи. Показателем уровня сформированности умений монологической речи являются такие параметры, как: соответствие высказывания коммуникативной задаче, лексико-грамматическая правильность речи и ее фонетическое и интонационное оформление, разнообразие языковых средств, связность и логичность изложения мысли и структурно-композиционная завершенность высказывания.

Систематический характер контроля позволяет преподавателю объективно оценить динамику усвоения учебного материала, на основании полученных показателей проанализировать и своевременно скорректировать свою деятельность и выбрать наиболее эффективные методы и формы работы.

УДК 330

ПРОБЛЕМА ГУМАНИТАРИЗАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Д. М. ПОПЕЛЬШКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Гуманитаризация и гуманизация современного высшего образования рассматривается как одна из главных задач процесса подготовки инженерно-технических специалистов уже достаточно длительное время. О необходимости решения данной задачи говорили и писали начиная с конца предыдущего века, продолжают споры и в настоящее время.

Между тем в современных условиях проявились новые факторы, влияющие на решение вышеназванной задачи. Одним из таких факторов стали прагматизация, коммерциализация и технократизация современной системы образования. Как отмечает О. И. Ган, в результате такого процесса «предпочтение отдаётся «практичным» предметам, закладывающим фундамент для работы. Образование стало сферой услуг, где средний студент выступает в качестве потребителя, ориентирующегося на свободный рынок» [1]. Итогом становится, по утверждению того же автора, резкое «размежевание» гуманитарных и технических наук, причем гуманитарная составляющая воспринимается в лучшем случае как нечто второстепенное и даже малозначимое для успешной конкуренции на рынке труда. Об ошибочности такого подхода говорить можно много. И в первую очередь следует обратить внимание на саму сущность инженерной деятельности. Как в свое время отметил Г. П. Щедровицкий, уже начиная со второй четверти XX в. «по сути дела, у инженера-проектировщика было два совершенно разных объекта ... с одной стороны – техническое устройство, которое он проектировал, а с другой – система деятельности, которую он явно или неявно организовывал. В его работу входили два компонента, которые резко расходились между собой, приводя к разным иллюзиям и коллизиям. В связи с этим возникла задача их объединения, а вместе с тем организации своей собственной деятельности, причём таким образом, чтобы она дала тот результат, который был замыслен» [2]. В современных условиях данный тезис не только не утратил силу, но и обрел новое звучание. Связано это с расширением круга задач, стоящих перед инженером. Помимо чисто технических и технологических задач, современный «инженер осваивает технико-технологические, общенаучные, естественнонаучные, социально-гуманитарные и инженерно-методические знания, на основании которых разрабатывает технологические методы и теории расчета, проектирования, конструирования

техноструктур, организации и управления технологическими процессами с целью их социально-экономической, экологической и эстетической оптимизации» [3]. Этот аспект отражен и в принципах компетентного подхода к современному образованию, принятого в Республике Беларусь и Российской Федерации. По сути дела, можно говорить о своеобразном ренессансе воспитательной составляющей процесса обучения, которая обеспечивает формирование комплекса личностных качеств, необходимых для успешной профессиональной деятельности. Кроме того, следует обратить внимание на необходимость не просто качественной подготовки специалиста, но и на формирование культуры нового типа, адекватной очередному этапу модернизации общества и переходу на новый технологический уклад, для которого характерны расширение размерности мышления за счет вариантификации его форм, критическое отношение к стереотипизации, как социализации, так и индивидуализации деятельности и т. д. И вновь следует согласиться с О. И. Ганом в том, что «нельзя выйти на мировой уровень, игнорируя ценностный подход к системе образования. Точно также невозможно построить новую высоко-технологическую цивилизацию на основе примитивной духовной культуры» [1].

Наконец, хотелось бы отметить принцип целостности полученного комплекса знаний, умений и навыков современного инженера. «Система высшего инженерно-технического образования должна строиться на концепции единства и взаимосвязи различных форм разума, на идее целостного знания. Высшее техническое образование должно не только ориентировать студентов на подготовку к работе в условиях современных технологий, но и способствовать их выходу на новый уровень культуры, соответствующей этим технологиям» [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ган, О. И.** К проблемам модернизации высшего образования в России / О. И. Ган // Совершенствование гуманитарных технологий в образовательном пространстве вуза: факторы, проблемы, перспективы: материалы Всерос. (с междунар. участием) науч.-метод. семинара, Екатеринбург, 13 марта 2013 г. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – С. 49.
2. **Щедровицкий, Г. П.** Избранные труды [Электронный ресурс] / Г. П. Щедровицкий. – Режим доступа: <https://gtmarket.ru/library/basis/3961/3985>. – Дата доступа: 20.02.2011.
3. **Мартишина, Н. И.** Прагматика гуманитарных дисциплин / Н. И. Мартишина // Совершенствование гуманитарных технологий в образовательном пространстве вуза: факторы, проблемы, перспективы: материалы Всерос. (с междунар. участием) науч.-метод. семинара, Екатеринбург, 13 марта 2013 г. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – С. 117–120.
4. **Пусько, В. С.** Гуманитарная парадигма высшего технического образования / В. С. Пусько, О. Г. Ламинина // Контекст и рефлексия: философия о мире и человеке. – 2016. – № 1. – С. 185–197.

УДК 621.9

РОЛЬ ВИРТУАЛЬНОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СРЕДЫ MOODLE В ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Н. Н. РЫТОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Цифровые технологии стали неотъемлемой частью жизни современного человека. Цифровизация социально-экономической и политической сфер жизнедеятельности предъявляет соответствующие требования к подготовке будущих специалистов. В связи с этим 15 марта 2019 г. в Республике Беларусь была утверждена «Концепция цифровой трансформации образования на 2019–2025 гг.». В соответствии с данным документом система образования должна готовить обучающихся к жизни в цифровом обществе. С этой целью предполагается активное внедрение в учебный процесс цифровых технологий [1].

На сегодняшний день во многих вузах страны уже начата работа в этом направлении. В 2018 г. более 97 % учреждений образования имели доступ в интернет, при этом более 90 % – к широкополосному каналу; многие педагоги демонстрировали готовность использовать информационно-коммуникационные технологии при осуществлении своей профессиональной деятельности. Сегодня ведется работа по обновлению материально-технической базы учреждений образования, оснащению их соответствующим программным обеспечением. В вузах страны применяются дистанционные формы обучения: веб-занятия, видео-конференции, практические и семинарские занятия посредством ИТК, конференции и т. д. Последнее стало особенно актуальным в силу непростой эпидемиологической ситуации, которая наблюдается сегодня. Цифровизация образования позволяет обеспечить равные возможности для получения образования, способствует персонализации учебного процесса, помогает обеспечить непрерывное образование на протяжении всей жизни.

Цифровые технологии также широко применяются для организации самостоятельной работы студентов по социально-гуманитарному блоку дисциплин. Самостоятельная работа позволяет получать, углублять и расширять теоретические знания, а также формировать целый ряд практических навыков. Согласно утвержденной в 2012 г. Концепции оптимизации содержания, структуры и объема социально-гуманитарных дисциплин для негуманитарных специальностей на долю самостоятельной работы приходится 50 % часов от общего числа часов, выделяемых на изучение дисциплин данного цикла [2]. Между тем анализ типовых учебных планов по негуманитарным специальностям показал, что в некоторых случаях все, в некоторых – три из четырех интегрированных модулей изучается студентами на 1–2 курсах [3]. Между тем практически у всех студентов первого курса отсутствуют навыки конспектирования и анализа данных, четко излагать свои мысли, обучаемые либо не умеют работать с первоисточниками, либо данный навык развит очень слабо,

возникают у многих трудности с организацией собственного времени. В связи с этим сегодня перед преподавателем вуза стоит важная задача развития столь необходимых для организации самостоятельной работы умений и навыков. Последние также являются важным элементом для саморазвития и самообразования в будущем, у обучаемых будут сформированы навыки, которые позволят им повышать свой профессиональный навык на протяжении всей жизни, самостоятельно овладевать нужными знаниями, умениями и навыками.

Эффективным средством для организации самостоятельной работы обучаемых является виртуальная обучающая среда Moodle. Она предоставляет возможность размещать лекционные материалы, методические рекомендации, вопросы к зачетам (экзаменам), учебники, переведенные в электронный вид, видео- и аудиоматериалы, наглядные пособия в виде карт, схем, составлять словари по читаемому курсу и т. п. Все это дает возможность обучаемым иметь доступ в любое для них удобное время. Это позволяет обучаемым перепроверить себя, насколько они успешно справились с конспектированием лекционного материала во время аудиторного занятия, уточнить пропущенные моменты; у них всегда под рукой находятся задания, позволяющие им эффективно осуществлять подготовку к семинарским и практическим занятиям. Кроме того, визуализация делает процесс обучения более наглядным, он лучше воспринимается и запоминается, что важно, в особенности для студентов технических вузов, при изучении дисциплин гуманитарного блока. Кроме того, посредством виртуальной среды Moodle можно не только размещать задания для самостоятельной работы обучаемых: задания различного уровня сложности, темы курсовых и дипломных работ, темы эссе, рефератов, презентаций и т. д., но и организовывать ход самостоятельной работы студентов посредством установления графика прохождения заданий (устанавливать сроки выполнения того или иного задания, ограничивать доступ обучаемым, не выполнившим предшествующие задания, и т. п.). Это способствует выработке навыков правильного планирования времени и организации работы. Размещение на Moodle разноуровневых тестовых заданий дает возможность обучаемым проверить уровень усвоенного материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция цифровой трансформации процессов в системе образования Республики Беларусь на 2019–2025 годы [Электронный ресурс]: приказ Министра образования Респ. Беларусь, 2019 г. – Режим доступа: <http://iso.minsk.edu.by/main.aspx?guid=34963>. – Дата доступа: 25.01.2022.
2. Концепция оптимизации содержания, структуры и объема социально-гуманитарных дисциплин в учреждениях высшего образования: приказ Министра образования Респ. Беларусь, 22 марта 2012 г., № 194.
3. Примерные учебные планы [Электронный ресурс] // Республиканский портал образовательных стандартов высшего образования. – Режим доступа: <https://www.edustandart.by/bazadannykh/primernye-uchebnye-plany>. – Дата доступа: 25.01.2022.

УДК 796:611.738.82

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ КВАДРИЦЕПСОВ У СТУДЕНТОВ ОСНОВНОЙ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ГРУПП

Л. А. САДОВСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Самые мощные мышцы в теле человека – четырехглавые мышцы. Квадрицепсы расположены на передней поверхности бедра правой и левой ног.

У четырехглавых мышц бедра имеются в наличии «медленные» и «быстрые» мышечные волокна. «Медленные» волокна отвечают за статическую функцию; волокна быстрого типа обеспечивают эластичность мышц.

Квадрицепсы состоят из четырех головок: прямой мышцы бедра, внутренней широкой мышцы, наружной и средней широкой мышц. Имея различные, далеко отстоящие друг от друга места начала, все головки сходятся в нижнем отделе бедра и образуют общее сухожилие, которое охватывает подколенную ямку, продолжается в виде связки надколенника и прикрепляется к большеберцовой кости.

Почти каждое движение, выполненное ногами, вовлекает в работу две или более головки квадрицепсов.

Функции четырехглавых мышц: сгибание и разгибание в коленных и тазобедренных суставах; работа при вставании и при подъеме вверх, езде на велосипеде, ударах по мячу, прыжках и т. д.

Сильные квадрицепсы играют роль амортизаторов, защищают колени и все мышцы бедра от травм; улучшают качество движений при занятиях физической культурой и в повседневной жизни.

От тренированности четырехглавых мышц бедра зависят результаты во многих видах спорта: в футболе, лыжном спорте, тяжелой и легкой атлетике, фехтовании и др.

Так, в беге на различные дистанции хорошо развитые квадрицепсы способствуют более мощному отталкиванию стопы от земли и увеличению скорости.

Бег становится более экономичным и эффективным, что позволяет наращивать беговые объемы, развивать выносливость.

В кроссовых дисциплинах – это более легкое и быстрое преодоление подъемов.

Цель работы: проанализировать показатели развития квадрицепсов у студентов Белорусско-Российского университета.

В тестировании, проведенном в 2021 г., приняли участие студенты 1–3 курсов основной и подготовительной групп в количестве 90 чел.

Для исследования использовались результаты теста, проведенного в условиях обычного занятия физической культурой: приседание на гимнастическую скамейку из основной стойки, руки за головой – вставание в исходное положение. Все участники тестирования приседали 10 раз. Засекалось время,

затраченное на это количество приседаний. Время до 10 с – отличный результат; от 10 до 17 с – удовлетворительный; от 17 до 35 с и больше – неудовлетворительный.

При подведении итогов тестирования применялись методы математической статистики.

Данные тестирования приведены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты тестирования студентов 1–3 курсов основной и подготовительной групп

Курс, группа	Коли- чество чел.	Коли- чество присед.	Приседание-вставание					
			Отлично		Удовлетво- рительно		Неудовлетво- рительно	
			Коли- чество чел.	%	Коли- чество чел.	%	Коли- чество чел.	%
Предварительные результаты тестирования в группах								
1, основная	14	10	5	35,7	6	42,8	3	21,4
1, подгото- вительная	16	10	1	6,2	12	75	3	18,7
2, основная	16	10	5	25	9	56	2	19
2, подгото- вительная	14	10	2	14,3	9	64,2	3	21,4
3, основная	13	10	6	46,1	6	46,1	1	7,7
3, подгото- вительная	17	10	3	17,6	9	53	5	29,4
Итоговые результаты тестирования								
1–3, основ- ная	43	10	16	37,2	21	48,8	6	13,9
1–3, подго- товитель- ная	47	10	6	12,7	30	63,8	11	23,4
1–3	90	10	22	24,4	51	56,6	17	18,8

Анализ данных тестирования позволяет сделать следующие выводы.

1. Большинство студентов 1–3 курсов показывают удовлетворительный результат (56,6 %), что соответствует среднему уровню развития квадрицепсов.

2. Высокий уровень развития мышц и отличный результат демонстрирует относительно небольшое количество студентов (24,4 %) из общего числа тестируемых.

3. Неудовлетворительный результат тестирования и низкий уровень развития четырехглавых мышц бедра отмечается в группе студентов с плохой физической подготовленностью (18,8 %).

4. Для улучшения результатов сдачи зачетных нормативов, повышения уровня подготовленности спортсменов в различных видах спорта комплексы упражнений на занятиях физической культурой нуждаются в корректировке в сторону увеличения нагрузки для четырехглавых мышц бедра.

УДК 374.7

ОБ ЭКСПОРТНОМ ПОТЕНЦИАЛЕ ПРОГРАММ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРОСЛЫХ

С. Б. САМАРЦЕВ, С. О. КАМИНСКАЯ, К. С. САМАРЦЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Дополнительное образование взрослых (ДОВ) характеризуется сравнительно коротким жизненным циклом знаний, обладающих актуальностью в момент получения, но быстро устаревающих в период фазовой трансформации экономики, осложнённой к тому же последствиями пандемии.

На фоне относительно инертного развития инновационных отраслей и формирования экономики в условиях адаптации исторически передовых технологических и институциональных заимствований ДОВ демонстрирует: необходимость масштабных сдвигов в структуре занятости населения в связи с потребностью новых компетенций работников; недостаточность реструктуризации человеческого капитала для успешных преобразований четвертой промышленной революции (Industry 4.0); интерес в антикризисной программе формирования пакета действий ведомств и структурных подразделений непрерывного образования; неготовность населения к серьезным инвестициям в дополнительные образовательные услуги, вопреки тому, что они способствуют формированию профессиональной основы кадрового потенциала современной высокотехнологичной экономики.

Подобных факторов лишены экспортные услуги ДОВ, которые могут оказываться учреждениями образования в рамках переподготовки физических лиц – иностранных граждан и повышения квалификации персонала соответствующих зарубежных организаций и учреждений.

В этом направлении в Белорусско-Российском университете на базе института повышения квалификации и переподготовки кадров перспективной признана подготовка специалистов сварочного производства, работников, занятых техническим обслуживанием взрывозащищенного электрооборудования, энергетических менеджеров EUREM, персонала по различным методам неразрушающего контроля и др.

В институте имеются серьезные возможности расширения механизмов мотивации преподавателей и сотрудников по наращиванию экспорта услуг повышения квалификации по выполнению требований и на основе разрешений Госпромнадзора, Госатомнадзора и РУП «Стройтехнорм» по аттестации, сертификации специалистов организаций на соответствие белорусской нормативной базе.

Во-первых, имеется ценный опыт: проведено обучение большой группы специалистов ОАО «Китайская корпорация инжиниринга САМС»; повышают квалификацию специалисты сварочных производств, участвующие в возведении БелАЭС, в том числе различных организаций Российской Федерации, например, филиала «Смоленскатомэнергоремонт» АО «Атомэнергоремонт»; подготовлены

две группы энергетических менеджеров для ведущих предприятий г. Могилева с вручением сертификатов EUREM. Во-вторых, центр неразрушающего контроля аккредитован европейскими службами по пяти направлениям. В-третьих, ведется работа по осуществлению сертификации специалистов сварочного производства по европейским стандартам с участием экспертов западных стран.

Резонно признать, что более активное участие в экспортных образовательных услугах должно осуществляться в условиях повышения качества учебного процесса. Этой цели способствуют налаженная система аккредитации и управления качеством продукта с передовой методологией экспертиз, а также высокая конкурентоспособность ДОВ на рынке предпринимательских услуг, что придаёт образовательным позициям вуза международную известность.

В институте имеется определенный спрос на параллельное обучение второй специальности в рамках переподготовки со стороны иностранных граждан Туркменистана, Узбекистана и др., получающих высшее образование в дневной форме обучения в университетах г. Могилева. Востребованными оказались специальности «Современный иностранный язык», «Правоведение», «Программное обеспечение информационных систем» и «Бухгалтерский учет и контроль в промышленности».

Иностранцам – студентам старших курсов, зачисляемым на переподготовку в соответствии с инструкцией Министерства образования от 14.11.2005 № 95, препятствуют следующие факторы:

- несовпадение сроков окончания обучения по основной специальности и специальности переподготовки. Как правило, иностранные граждане желают закончить обучение в рамках ДОВ не позже завершения срока подготовки по специальности высшего образования;

- низкий начальный уровень общей образовательной подготовки студентов-иностранцев, который не позволяет им успешно пройти программу собеседования (если таковая полагается) при зачислении на вторую специальность;

- недооценка обучения на специальностях переподготовки по отношению к принятым мировым образовательным стандартам: бакалавриату и магистратуре;

- сложность выполнения образовательных программ с техническим содержанием и большим контентом, обусловленным требованиями запоминания значительного объема информации и ведущей роли самостоятельного обучения;

- необходимость внесения параллельно платы за подготовку на двух специальностях при относительно высокой стоимости обучения для иностранных граждан;

- ограничения, накладываемые Общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 011–2009 *Специальности и квалификации* и перечнем специальностей переподготовки, содержащихся в лицензии на образовательную деятельность университета.

УДК 796.093.6

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫСТУПЛЕНИЙ СБОРНОЙ КОМАНДЫ
БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ПО ЛЕТНЕМУ МНОГОБОРЬЮ «ЗДОРОВЬЕ»

Д. Н. САМУЙЛОВ, В. Ф. ПИСАРЕНКО, Е. А. МАЛЫШЕВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Исторически многоборье «Здоровье» как вид спорта сложился в первой половине 90-х гг. прошлого века. Его предшественником выступала существовавшая в СССР программа многоборий «Готов к труду и обороне» (ГТО) и детских многоборий «Старты надежд».

Комплекс ГТО, который составлял основу государственной системы физического воспитания в СССР и охватывал население страны в возрасте от 10 до 60 лет, был утверждён Постановлением Всесоюзного совета физической культуры 11 марта 1931 г.

Целью комплекса являлось всестороннее физическое развитие людей, укрепление и сохранение здоровья, воспитание смелости, воли, умения преодолевать трудности, воспитание патриотизма, подготовка к производительному труду и защите Родины [1].

В Белорусско-Российском университете более 20 лет активно развиваются многоборье «Здоровье» и полиатлон. Подготовку спортсменов осуществляют доценты кафедры «Физвоспитание и спорт» В. Ф. Писаренко и Е. А. Малышева.

В рамках Универсиады Республики Беларусь (Универсиады) проводятся соревнования по летнему многоборью «Здоровье». Это первенство включает в себя легкую атлетику (бег на короткие и длинные дистанции, прыжки в длину с места), силовую гимнастику (подтягивание у мужчин и сгибание рук в упоре лежа у женщин), стрельбу из пневматической винтовки, плавание [2, 3].

На Универсиаде последние годы сборная команда университета по летнему многоборью «Здоровье» показывает значительные успехи, занимая призовые места как в общекомандном, так и в личном первенствах: в 2017 г. заняли I общекомандное место, в личном зачете среди юношей С. Вераксо – II место; в 2018 г. заняли I общекомандное место, в личном зачете среди юношей И. Суворов – I место, С. Вераксо – II место, Д. Богомоллов – III место; в 2019 г. заняли I общекомандное место, в личном зачете среди юношей Д. Богомоллов – I место, С. Вераксо – II место; в 2020 г. – II общекомандное место; в 2021 г. – II общекомандное место, в личном зачете среди юношей Г. Воробьев занял I место, среди девушек Д. Наумчик – II место.

Стабильно высокие результаты на соревнованиях во многом связаны с физической подготовленностью и психологической устойчивостью атлетов. Проведённые исследования и анализ выступлений многоборцев за 2017–2021 гг.

показывают, что психологическая устойчивость спортсменов улучшает результаты соревнований на 17 % [2–4].

Для продолжения устойчивой успешности выступлений сборной команды университета необходимо осуществлять отбор по физическим и психологическим показателям спортсменов среди вновь поступивших студентов. Значимую роль в отборе спортсменов должно играть психологическое тестирование для определения психотипа атлета и его уязвимостей. Важно учитывать желание спортсменов заниматься определенным видом спорта или в целом летним многоборьем «Здоровье». Показатели спортсменов во многом динамичны и зависят от уровня физической подготовленности, интенсивности и регулярности тренировочных занятий [2–6].

Для поддержания высокого уровня результативности выступлений сборной команды университета необходимо обеспечение современным, профессиональным спортивным инвентарем, оборудованием и материалами. Так, обеспечение современными пневматическими винтовками позволило спортсменам сборной команды университета по летнему многоборью «Здоровье» улучшить результаты в стрельбе на 15 % [4]. Немаловажными факторами успеха является и обеспечение спортсменов дополнительным питанием в дни тренировок, и материальное стимулирование победителей соревнований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Писаренко, В. Ф.** Тренировка спортсменов-многоборцев в условиях вуза : монография / В. Ф. Писаренко, Д. Н. Самуйлов, А. А. Минченко. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 201 с. : ил.
2. **Писаренко В. Ф.** Проблемы подготовки спортсменов-многоборцев в вузах Республики Беларусь / В. Ф. Писаренко, Д. Н. Самуйлов // Вопросы физического воспитания студентов : сб. науч. ст. – Минск : БГУ, 2013. – Вып. 10. – С. 120–126.
3. **Писаренко, В. Ф.** Условия и факторы развития двигательных способностей полиатлонистов / В. Ф. Писаренко // Весн. Магілёўскага дзярж. ун-та імя А. А. Куляшова. Сер. С. Псіхалага-педагагічныя навукі (педагогіка, псіхалогія, методыка). – 2014. – № 2 (44). – С. 82–89.
4. **Писаренко, В. Ф.** Влияние внешних факторов на результаты стрельбы в многоборье «Здоровье» / В. Ф. Писаренко, Д. Н. Самуйлов, Е. А. Малышева // Весн. Магілёўскага дзярж. ун-та імя А. А. Куляшова. Сер. С. Псіхалага-педагагічныя навукі (педагогіка, псіхалогія, методыка). – 2021. – № 2 (58). – С. 68–73.
5. **Дорощенко, А. В.** Мониторинг результативности команды БРУ на республиканских универсиадах 2012–2013 годов в отдельных видах многоборья / А. В. Дорощенко, В. Ф. Писаренко // Весн. Череповецкого гос. ун-та. – 2014. – № 3 (56). – С. 164–168.
6. Физиологическая оценка динамики физической подготовленности студентов Белорусско-Российского университета / Д. Н. Самуйлов [и др.] // Изв. Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2019. – № 5 (116). – С. 61–65.

УДК 796.093.6

ДИНАМИКА ВЫСТУПЛЕНИЙ СБОРНОЙ КОМАНДЫ БЕЛОРУССКО РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПО ЗИМНЕМУ МНОГОБОРЬЮ «ЗДОРОВЬЕ»

Д. Н. САМУЙЛОВ, В. Ф. ПИСАРЕНКО, Н. А. ПЕРЕЦ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Зимнее многоборье «Здоровье» является физкультурно-спортивным комплексным многоборьем, способствующим разностороннему физическому развитию обучающихся через занятия видами физических упражнений, входящих в его состав.

Зимнее многоборье «Здоровье» является правопреемником норм «Готов к труду и обороне» (ГТО), известных ранее как система оценки физических возможностей занимающихся, и включает лыжные гонки, силовую гимнастику, прыжок в длину с места и стрельбу [1].

В Белорусско-Российском университете более 20 лет активно развивается многоборье «Здоровье». Подготовку спортсменов осуществляет доцент кафедры «Физвоспитание и спорт» В. Ф. Писаренко.

В рамках Универсиады Республики Беларусь (Универсиады) проводятся соревнования по зимнему многоборью «Здоровье» среди высших учебных заведений [2].

На Универсиаде последние годы сборная команда университета по зимнему многоборью «Здоровье» показывает значительные успехи, занимая призовые места как в общекомандном, так и в личном первенствах (табл. 1).

Табл. 1. Результаты выступлений сборной команды университета

Год	Общекомандное место	Личное первенство
2017	II	Среди девушек К. Усович – I место
2018	II	Среди юношей Д. Богомолов – I место; среди девушек К. Усович – I место
2019	II	Среди юношей Д. Богомолов – II место; среди девушек Д. Наумчик – I место
2020	II	Среди юношей Д. Богомолов – I место; среди девушек Д. Наумчик – I место; А. Стаблецкая – III место
2021	I	Среди юношей Д. Богомолов – I место; Г. Воробьев – II место; среди девушек Д. Наумчик – I место; А. Стаблецкая – II место

Анализируя табл. 1, следует отметить положительную динамику и значительные достижения сборной команды университета, а также отдельных спортсменов, показывающих высокие результаты [3].

Достаточно тяжело обеспечить одновременную подготовку спортсменов по нескольким видам спорта, затрагивающим различные группы мышц. Лыжные гонки требуют развития выносливости, силовая гимнастика и прыжок в длину с места – силовой и скоростно-силовой подготовки, стрельба – статической тренировки. В последние годы особенно сложно было обеспечить лыжную подготовку спортсменов из-за отсутствия зимой снежного покрова. Несмотря на это, высококвалифицированная работа тренера позволила спортсменам ежегодно занимать призовые места как в отдельных видах зимнего многоборья «Здоровье», так и в общекомандном первенстве.

Считаем, что достижения сборной команды Белорусско-Российского университета в зимнем многоборье «Здоровье» напрямую связаны с отбором спортсменов в команду, эффективным, научно обоснованным тренировочным процессом, базирующимся на индивидуальном подходе к спортсменам с учетом их физических и психологических особенностей [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Малышева, Е. А.** Формирование ценностного отношения студенческой молодежи к здоровому образу жизни / Е. А. Малышева, Д. Н. Самуйлов, О. Н. Казаченак // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 26–27 апр. 2018 г. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – С. 460–461.

2. **Писаренко, В. Ф.** Влияние внешних факторов на результаты стрельбы в многоборье «Здоровье» / В. Ф. Писаренко, Д. Н. Самуйлов, Е. А. Малышева // Весн. Магілёўскага дзярж. ун-та імя А. А. Куляшова. Сер. С. Псіхалага-педагагічныя навукі (педагогіка, псіхалогія, методыка). – 2021. – № 2 (58). – С. 68–73.

3. Динамика физиологических показателей студентов, занимающихся физической культурой / Д. Н. Самуйлов [и др.] / Человек и окружающая среда: IX Всерос. молодежная науч. конф., посвящ. 100-летию Респ. Коми, Сыктывкар, 22–24 апр. 2021 г.: сб. докл. – Сыктывкар: Сыктывкарский гос. ун-т им. Питирима Сорокина, 2021. – С. 72–75.

4. Физиологическая оценка динамики физической подготовленности студентов Белорусско-Российского университета / Д. Н. Самуйлов [и др.] // Изв. Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2019. – № 5 (116). – С. 61–65.

УДК 37.091.3:796

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА» В ВУЗЕ

М. В. ТАПОРЧИКОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Физическое воспитание студентов в вузе как специфическое образовательное направление, помимо дидактических методов, имеет потребность в специальных методах. Метод практических упражнений считается наиболее важным, т. к. большинство задач физического воспитания решается на практике, а вербальное общение и метод демонстрации больше используются на начальном этапе подготовки. Особую важность имеют методы, взятые из спортивной тренировки: метод стандартных повторяющихся упражнений и метод вариативных упражнений. Рассмотрим более подробно основные методы, применяемые при преподавании дисциплины «Физическая культура» в высших учебных заведениях.

Метод «живых слов» – вербальное общение. В преподавании физического воспитания слово играет формирующую, корректирующую и стимулирующую роль, поэтому этот метод применяется посредством описания, объяснения, анализа и беседы. Объяснение является доминирующей формой данного метода, используемого на начальных этапах обучения, особенно при демонстрации заданных элементов. Объяснения должны быть ясными, понятными, точными и адаптированными к возрасту студентов и их психофизическим способностям. Занятия физкультурой – это не просто механическое движение, перемещение тела в пространстве, но и процесс, который инициируется, регулируется как обмен мнениями, как общение, оказывающее определенное воздействие на физическую подготовку молодежи [1].

Метод представления и наблюдения – демонстрации. Этот метод играет важную роль в обработке нового материала, когда обучающимся необходимо получить наглядное представление об упражнении, которое им предстоит воспроизвести позже. Для этого недостаточно просто дать его описание, преподаватель должен его показать или продемонстрировать. В профессиональной литературе данный метод также называют методом очевидности [1, 2].

Метод практических упражнений применяется с целью приобретения двигательных умений, навыков. Этот метод соединяет теорию и практику, в ходе которых обучающиеся приобретают необходимые теоретические знания и практические умения, навыки и привычки в области физической культуры, а также прививают любовь к последующим самостоятельным занятиям физическими упражнениями и спортом.

Перечисленные методы можно использовать как по отдельности, так и в сочетании друг с другом. Наиболее распространенные комбинации привели к

появлению: метода повторяющихся последовательных упражнений, метода упражнений со стандартными вариациями, метода повторных упражнений с сокращенными интервалами [3].

Для исследования применяемых методов при проведении занятий по дисциплине «Физическая культура» в Белорусско-Российском университете было проведено анкетирование обучающихся. В анкетировании приняли участие студенты первого курса. На основании проведенного анкетирования 10 % респондентов отмечают, что использование метода «живых слов» ускоряет усвоение упражнений, 12 % респондентов отмечают, что метод демонстрации упражнений увеличивает физическую активность занимающихся, 15 % респондентов отмечают, что метод практических упражнений повышает их мотивацию к занятиям физической культурой и спортом и ведению здорового образа жизни [4, 5].

Результаты анкетирования и научно-исследовательской работы кафедры «Физвоспитание и спорт» подтверждают важность основных методов, применяемых в преподавании дисциплины «Физическая культура» в высших учебных заведениях. Предпочтение отдается методу практических упражнений, а остальные методы используются на начальных этапах обучения физическим упражнениям [6].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Куликов, В. М.** Современные подходы к организации физического воспитания в вузах : монография / В. М. Куликов. – Минск : БГТУ, 2012. – С. 12–25.
2. Физическое воспитание и спорт в высших учебных заведениях: материалы XVI Междунар. науч. конф. – Белгород: БГТУ, 2020. – 211 с.
3. Физическое воспитание студентов // Научный журнал. – Харьков: ХООНКУ–ХГАДИ. – 2010. – № 2. – 138 с.
4. Физиологическая оценка динамики физической подготовленности студентов Белорусско-Российского университета / Д. Н. Самуйлов [и др.] // Изв. Гомельского 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. Высшая школа техносферной безопасности: материалы науч. конф. с междунар. участием. – Санкт-Петербург: Политехн. ун-т, 2017. – С. 8–10.
6. **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): материалы VII Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. – Смоленск: Универсум, 2017. – Т. 3. – С. 238–242.

УДК 159.9

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ КИНОКЛУБ КАК СРЕДСТВО ВОСПИТАНИЯ СТУДЕНТОВ

А. И. ТАРЕЛКИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Наряду с прослушиванием музыки просмотр фильмов является одним из самых распространенных способов проведения студентами свободного времени. Многие педагоги жалуются на то, что современная молодежь перестала читать, отдавая предпочтение кино. Последней проблеме была посвящена работа международной конференции «Литература на экране: взгляд психологов, писателей и кинематографистов», которая прошла в России в 2016 г. Однако просмотр фильмов студентами осуществляется стихийно и ориентирован на отзывы ближайшего окружения. Часто просматриваются фильмы без особой эстетической ценности и глубокого психологического смысла. Поэтому важна целенаправленная работа по формированию художественного вкуса студентов, адекватного понимания киноязыка и психологического смысла фильмов.

Можно выделить следующие психологические функции просмотра кино в образовательном процессе: воспитательная (функция формирования личности), эстетическая, познавательная (информационная), этическая (мировоззренческая), терапевтическая.

Художественный фильм способен вызвать сильное эмоциональное состояние. Психические состояния занимают некое промежуточное значение между психическими процессами и психическими свойствами. Повторяясь, психическое состояние закрепляется и определяет личностные особенности человека. Вот почему просмотр фильма имеет более сильное влияние на личность, чем, например, традиционная лекция. Кроме того, при восприятии фильма включаются различные психологические механизмы социализации: заражение, идентификация, подражание, эмпатия, рефлексия.

Просмотр фильма выполняет и познавательную функцию, повествуя зрителям о тех или иных исторических событиях, деталях биографии той или иной личности, национальных особенностях жизни в разных странах, функциях различных профессий, механизмах межличностного общения и т. п. Так, сегодня говорят о кинотренинге как способе овладения конкретными профессиональными навыками (например, языковой кинотренинг).

Эстетическая функция заключается в формировании художественного вкуса при восприятии эстетических достоинств и недостатков фильма: игра актеров, музыкальное сопровождение и саунд-трек к фильму, режиссерская задумка картины и др.

Этическая функция заключается в том, что практически любой художественный фильм указывает на моральный выбор его героев (во многих фильмах это основная передаваемая проблема). Просмотр фильма актуализирует

данный выбор у зрителя. Занимая позицию того или иного героя, того или иного поступка, происходит моральная социализация личности.

Наиболее описана в психологической литературе терапевтическая функция просмотра фильмов (А. Э. Ахмедзянова, С. В. Березин, Б. Вудер, К. П. Корбут, А. Менегетти, Г. Соломон, Т. Спаркс и др.). Говорят о кинотерапии как одном из видов арт-терапии. Психологические механизмы кинотерапии заключаются в следующем: процесс группового обсуждения фильма роднит его с процессами групповой терапии; просмотр фильма через образы и звуки открывает содержание бессознательного по типу работы сновидения; обсуждаются проблемы других людей, что позволяет обойти механизмы психологической защиты, высвобождая подавленные эмоции и воспоминания; происходит идентификация с героями фильма, что позволяет более адекватно взглянуть на собственные проблемы; метафора ускоряет процесс инсайтирования и др.

Приведем краткое описание деятельности психологического кино клуба в Белорусско-Российском университете. Для работы психологического кино клуба важно изначально отобрать фильмы для просмотра. Жанр «психологическое кино» весьма размыт, т. к., в принципе, любой фильм «психологический», поскольку там есть люди и их действия. Близкими по значению являются понятия «арт-хаусное» и «фестивальное» кино. Именно на последнее ориентируемся в своей практике.

Предлагаем следующие этапы анализа фильма в рамках психологического кино клуба: вступительное слово руководителя клуба; просмотр фильма; групповое обсуждение; подведение итогов.

Во вступительном слове руководитель дает информацию о фильме: название, режиссер, актеры, год выхода на экраны, страна производства, жанр, награды и др. Также на данном этапе можно зачитать отзывы кинозрителей, как положительные, так и отрицательные, настраивая тем самым студентов на вдумчивый просмотр и выработку собственной оценки фильма и обозначения его смысла.

Фильм просматривается целиком без перерывов. Обсуждение фильма может быть построено по одному из двух принципов: «высказываются все» или «высказываются желающие». При обсуждении руководитель кино клуба обозначает главную психологическую проблему, иллюстрированную в фильме. Обсуждение разворачивается вокруг данной темы. Важно заранее сформулировать вопросы по типу сократического диалога для активизации студентов. При обсуждении фильма может быть запланировано выступление заранее приглашенного эксперта по той или иной психологической проблематике.

Заканчивается работа кино клуба подведением итогов. Например, аудитории можно задать вопросы: «Рекомендовали бы вы или не рекомендовали данный фильм для просмотра своим друзьям? Почему да или нет?».

Таким образом, работа психологического кино клуба в университете позволяет повысить у студентов психологическую культуру, более адекватно понимать киноязык, решать различные собственные проблемы.

УДК 372.853:378.147.31

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ МОТИВАЦИИ ИТ-СТУДЕНТОВ
К ИЗУЧЕНИЮ ФИЗИКИ В РАМКАХ ПРОЕКТА «ЭВРИСТИКА В ФИЗИКЕ»

И. И. ТАШЛЫКОВА-БУШКЕВИЧ, Е. А. АРТЕМОВА,
А. С. ГОРМАШ, М. С. ЧЕПИК

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

Представлены результаты исследования уровня мотивации студентов технико-технологического профиля к обучению физике при организации лекционных занятий с использованием проблемно-эвристических методов, в том числе эвристического/диалогового подхода. Актуальность вопросов интеграции технологий эвристического обучения в структуру образовательного процесса обусловлена поиском путей решения проблемы монологичности современного высшего образования [1], приводящей к отчуждению студентов от процесса обучения. В 2018 г. в рамках авторской технологии организации лекционных занятий И. И. Ташлыкковой-Бушкевич в БГУИР был создан образовательный проект «Эвристика в физике» («ЭвФ»), предоставляющий студентам возможность проявить и развить свой творческий потенциал, создавая в свободное время обучающие видеоролики по физике. При этом формируются не только узкопрофессиональные навыки будущего инженера, но и социально значимые качества личности. Студенческие видеоролики, являясь дидактическим материалом для лекций, раскрывают темы программы курса и выкладываются на YouTube-канал проекта.

Рассмотрим результаты анкетирования в середине декабря 2021/22 уч. г. студентов второго курса факультета инфокоммуникаций БГУИР (поток 061401-2, 063101-2, 062101). Проект «ЭвФ» был реализован в рамках лекционного трехсеместрового курса физики во втором и третьем семестрах. В структуре проекта студенты потока делятся на авторов, создающих научно-познавательный контент по физике, кураторов, оказывающих помощь авторам под руководством преподавателя-лектора, и зрителей, потребляющих и оценивающих созданный контент в течение семестра. Всего анкетирование прошли 55 человек из 96 (57 %): из них 33 % – студенты-авторы творческих работ, 9 % – студенты-кураторы и 58 % – студенты-зрители (рис. 1, а).

На рис. 1, б анализируется то, на сколько по 5-балльной системе студенты оценивают информативность лекций по физике, проводимых по авторской технологии. Большинство опрошенных высоко оценили лекции по физике с проблемно-эвристическим подходом: 65 % учащихся поставили «5» баллов из 5; 31 % – «4» балла из 5; 4 % студентов поставили «1» балл из 5. Оценки «3» и «2» в ответах студентов отсутствовали. Измеренный коэффициент «лояльности» NPS проекта «ЭвФ» составил 58 %.

На вопрос, стимулирует ли проект «ЭвФ» интерес к изучению курса физики, 95 % ответили «Да». Оценивая эффективность творческих работ по физике как средства усвоения информации, 89 % студентов-участников, прошедших опрос,

подтвердили, что вовлечение в творческую работу действительно помогает легче изучить теоретический материал по предмету, и лишь 11 % сказали, что на процесс усвоения теории творческая работа по физике не влияет (рис. 1, в).

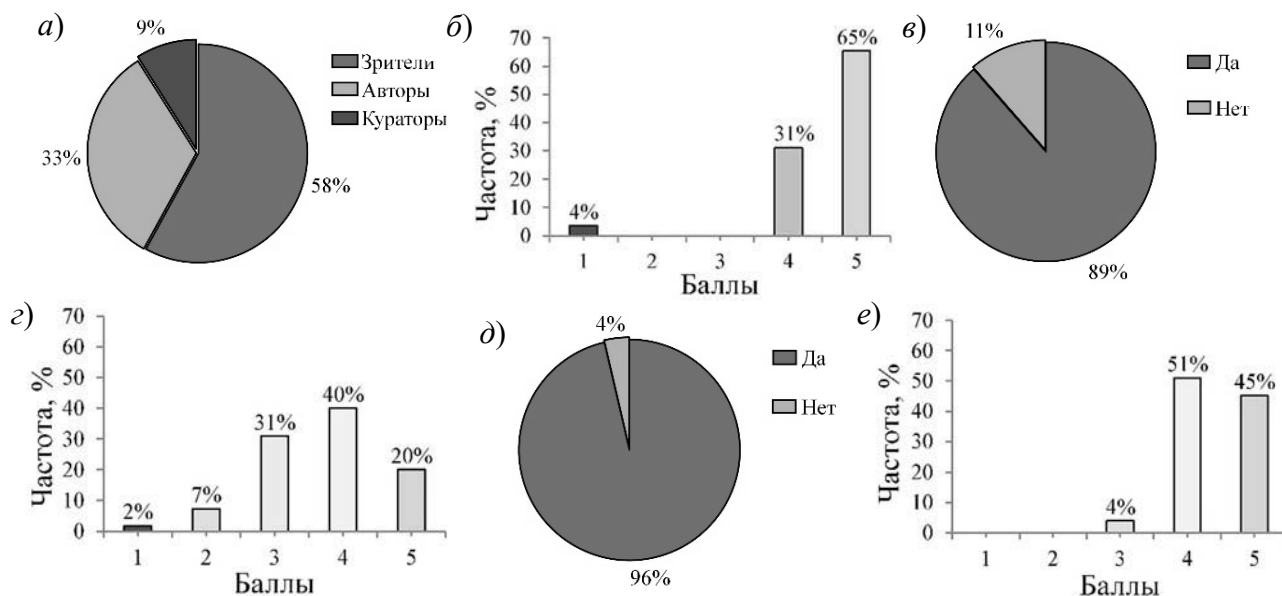


Рис. 1. Статистика ответов студентов на вопросы Google-опроса: а – «Кто Вы в рамках проекта «Эвристика в Физике» («ЭвФ»)»?; б – «Как Вы оцените информативность лекций по физике по 5-балльной шкале»?; в – «Если Вы – участник творческой работы, это помогает лучше усвоить теорию по физике»?; г – «На сколько баллов по 5-балльной шкале Вы оцениваете свою готовность к экзамену по физике на данный момент»?; д – «Следите ли Вы за соцсетями проекта «ЭвФ» (YouTube-канал, Instagram, VK, Telegram, TikTok)?»; е – «Оцените, насколько интересны наши соцсети по 5-балльной шкале»

Свою готовность к экзамену по физике опрашиваемые студенты оценили так: 20 % считают, что они полностью готовы к экзамену, 40 % оценили свою готовность на «4» балла из 5, 31 % – на «3» балла из 5. Низко на момент анкетирования оценили свою готовность к экзамену 9 % (рис. 1, г).

У проекта «Эвристика в физике» также имеются соцсети, такие как YouTube, Instagram, VK, Telegram, TikTok. Всего за ними следят 96 % студентов, прошедших опрос (рис. 1, д). Студенты высоко оценили контент соцсетей ЭвФ по 5-балльной шкале. Получено, что 45 % поставили «5» баллов из 5, 51 % – «4» балла из 5 и 4 % – «3» балла из 5 (рис. 1, е).

Таким образом, опрос показал, что проект «ЭвФ» помогает его участникам лучше усвоить пройденный материал по физике. Студенты потока проявляют высокий уровень мотивации к изучению физики и заинтересованность в проекте. Анализ результатов проведенного анкетирования демонстрирует, что внедрение в высшей школе эвристических технологий, сочетая гуманитарный и технико-технологический компоненты, формирует условия для творческого овладения знаниями и побуждает студента к творческой деятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Король, А. Д.** Эвристическая игра как принцип и форма диалогизации образования / А. Д. Король, Е. А. Бушманова // Педагогика. – 2020. – № 12. – С. 44–51.

УДК 069.12:378.147

О РОЛИ МУЗЕЕВ В ПРЕПОДАВАНИИ ИСТОРИИ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Е. П. ЦУМАРЕВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современное техническое образование содержит компетенции, предполагающие формирование специалиста с качествами гражданственности, способного к социальному взаимодействию и межличностным коммуникациям, владеющего системным и сравнительным анализом, исследовательскими навыками. Это выдвигает новые требования к эффективности организации самостоятельной деятельности студента. В практике внеучебной деятельности в изучении отдельных тем по предмету «История» высокую эффективность показало посещение музеев.

С позиции практико-ориентированного подхода посещение музея ставит цель развить у студента, прежде всего, знание событий на основе исторических источников. В ходе проведения экскурсии видим доказательство тезиса Аристотеля, что познание начинается с удивления. Это происходит, когда история оживает в источниках, экспозиции, перформансе в стенах музея. При изучении тем по предмету «История» в музее студенты демонстрируют восприимчивость ко всему новому, любознательность, высокую эмоциональность. Сегодня студентов из урбанизированной среды удивляют сами артефакты из других эпох. Например, из традиционной культуры белорусов по темам «Белорусский этнос, нация». Посещение, в частности, этнографического музея способствует пониманию особенности формирования белорусского этноса, традиционной культуры. В итоге изучение экспозиции формирует личностное отношение к национальному развитию и культурному наследию Беларуси.

Отметим, что в практике преподавания истории в техническом вузе наиболее часто у студентов возникали проблемы с определением хронологических рамок периода и его основных характеристик. Визуализация материала способствует решению этих проблем. Посещение музея формирует умение постигать исторический период как наглядный, видимый ход истории. Экспозиция также дополняет и раскрывает главные теоретические вопросы по определенному периоду, изучаемые на лекциях. Повышается уровень теоретического обобщения, развивается системное восприятие исторического процесса.

На основании визуализации материала следует более высокий уровень формирования компетенций, заключающийся в умении выявлять сравнительные характеристики, проводить исторические параллели. На это нацелены и образовательные стандарты, требующие изучение истории Беларуси в контексте европейских цивилизаций. В частности, посещение музея истории г. Могилева, расположенного в ратуше, позволяет составить сравнительную характеристику истории средневековья по курсу «История Беларуси в контексте европейских цивилизаций».

Для студентов, планирующих участие в научно-исследовательской деятельности по истории, несомненным положительным эффектом посещения музея является знакомство с практикой и методами работы историка.

Музейные работники отмечают, что посетители из студенческой среды отличаются повышенной восприимчивостью, актуальностью интересов к музейным экспонатам, способствующим их духовному развитию, стремлением к диалогу с экскурсоводами-историками [1]. Во время экскурсии происходит коммуникативное взаимодействие студента, преподавателя, экскурсовода-историка. Студент становится участником образовательного проекта. Это формирует компетенцию по развитию социального взаимодействия и межличностных коммуникаций.

Перед посещением музея необходимо предложить студентам разбивку общей темы на составляющие вопросы, определить ключевые проблемы для последующего обсуждения, расставить акценты. Предлагаются задания. По результатам экскурсии студент пишет эссе с целью развития самостоятельного мышления, навыков систематизации материала. В результате студент демонстрирует высокую степень усвоения и закрепления материала на протяжении длительного времени.

Таким образом, использование экспозиций музеев в организации внеучебной деятельности по предмету «История» подтвердило свою эффективность в процессе перехода к новым образовательным стандартам в техническом вузе и способствует формированию компетенций специалиста.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мишина, И. В.** Музей в системе ценностных ориентаций российского студенчества: дис. ... канд. культурологии : 24.00.03 / И. В. Мишина. – Санкт-Петербург, 2002. – 198 с.

УДК 355.233.231.1:821.161.3

ФАРМІРАВАННЕ НА ЗАНЯТКАХ ПА БЕЛАРУСКАЙ МОВЕ ГРАМАДЗЯНСКА-ПАТРЫЯТЫЧНАЙ САМАСВЯДОМАСЦІ НАВУЧЭНЦАЎ

А. В. ШАРАПАВА

Беларуска-Расійскі ўніверсітэт

Магілёў, Беларусь

2022 год аб'яўлены годам гістарычнай памяці. Кожны сапраўдны грамадзянін і патрыёт павінен ведаць нацыянальную гісторыю і яе ўрокі, бо, як казаў У. Караткевіч: «Хто не памятае мінулага, хто забывае мінулае – асуджаны зноў перажыць яго. Безліч разоў». Вельмі важна, каб да вывучэння і асэнсавання гістарычнай спадчыны перш за ўсё далучыліся навучэнцы.

Сённяшнія навучэнцы – гэта заўтрашняя эліта беларускай інтэлігенцыі, для якой патрыятызм і грамадзянскасць павінны выступаць як значная духоўная каштоўнасць, што вызначае адносіны да Радзімы, уплывае на стваральную прафесійную дзейнасць, мадэлюе паводзіны асобы ў палітычнай, эканамічнай, сацыяльнай і культурнай прасторы.

Такім чынам, у якасці адной з прыярытэтных задач падрыхтоўкі будучага спецыяліста вылучаецца фарміраванне самасвядомасці і светапогляду маладой асобы, якое адбываецца на аснове сацыягуманітарных ведаў. У працэсе выкладання ў Беларуска-Расійскім універсітэце дысцыплін гуманітарнага цыкла, у прыватнасці вучэбных дысцыплін «Беларуская мова (прафесійная лексіка)», «Беларуская мова (культура мовы)», выкарыстоўваецца практычны патэнцыял вучэбных праграм да іх. Гэта дапамагае паказаць студэнтам непарыўную сувязь з традыцыямі і духоўнай спадчынай, з выбітнымі асобамі Беларусі, у тым ліку і са славутымі ўраджэнцамі Магілёўшчыны. Апошнія актуалізуюцца яшчэ і таму, што ў 2022 г. Магілёў адзначае 755 год з дня свайго заснавання.

У практыцы выкладання названых вышэй дысцыплін выпрацавана сістэма работы, што прадугледжвае выкананне навучэнцамі пэўнага комплексу заданняў апераджальнага характару, якія маюць рознаўзроўневы характар.

Напрыклад, пры падрыхтоўцы да заняткаў па тэме «Беларуская лексікалогія і лексікаграфія» студэнты атрымліваюць заданне расказаць пра гісторыю беларускай лексікаграфіі і двух-трох вядомых лексікографаў, абавязкова ўгадаўшы пры гэтым Максіма Гарэцкага. На занятках інфармацыя пра пісьменніка-земляка разглядаецца некалькімі блокамі, што адпавядаюць розным узроўням авалодвання інфармацыяй. Пры гэтым мэтазгодна паступова ўскладняць ужо вядомыя навучэнцам формы працы і алгарытмы яе выканання.

1. Рэпрадуктыўны ўзровень прадугледжвае, па-першае, узгадванне інфармацыі, вядомай навучэнцам. Творчасць Гарэцкага студэнтам знаёмая: у школе вывучаюцца яго біяграфія, а таксама апавяданні «Роднае карэнне» (9 клас) і «Літоўскі хутарок» (10 клас). Па-другое, неабходна актуалізаваць сувязь пісьменніка і лексікографа з Магілёвам і Магілёўшчынай.

Магчымай формай работы можа быць сумеснае запаўненне храналагічнай табліцы, дзе ў слупку «ДАТА» будуць пазначаны толькі тыя перыяды, калі

Гарэцкі знаходзіўся на Магілёўшчыне, напрыклад, 18.02.1893 г.; 1909–1913 гг.; 1915 г.; лета 1925 г.; люты 1926 г. – верасень 1927 г.

2. Прадуктыўны ўзровень прадугледжвае выкананне дадатковай самастойнай работы здольнымі студэнтамі. Напрыклад, рэкамендуецца вызначыць, як магілёўская зямля адбілася ў творчай спадчыне Гарэцкага, паўплывала на выбар пісьменнікам пэўных тэм, матываў і вобразаў. Даследаванне рэкамендуецца весці па наступным плане:

а) Магілёўшчына ў мастацкай творчасці Гарэцкага (апавяданні зборніка «Рунь» («У лазні», «Роднае карэнне»); драматызаваная аповесць «Антон»; раман «Камароўская хроніка» і інш.);

б) дзейнасць Гарэцкага як краязнаўцы, этнографа і фалькларыста (цыкл нарысаў пра Магілёўшчыну: «Магілёў», «Хоцімка», «Амціслаўшчына» цыкл «Сібірскія абразкі»; зборнік «Народныя песні з мелёдыямі» і інш.).

3. Рэцэпцыйны ўзровень прадугледжвае ўспрыманне новай інфармацыі. Выкладчык паведамляе, што Максім Гарэцкі з’яўляецца адным з пачынальнікаў беларускай лексікаграфіі. Ён аўтар «Руска-беларускага слоўніка» 1918 г. і 1921 г. (разам з братам Гаўрылам Гарэцкім), «Беларуска-расійскага слоўнічка» 1925 г. (першая рэдакцыя пад назвай «Невялічкі беларуска-маскоўскі слоўнік» была выдадзена ў 1919 г.), «Практычнага расійска-беларускага слоўніка» 1924 г. і 1926 г. (разам з Міколам Байковым).

Прапанаваныя вышэй формы працы спрыяюць дасягненню наступных адукацыйных задач:

а) ствараць падмурак для належнага асэнсавання праблемнага поля іншых дысцыплін гуманітарнага цыкла праз паэтапнае назапашванне фактаў гісторыка-культурнага і краязнаўчага характару;

б) фарміраваць навыкі адбору з вядомага матэрыялу актуальных для пэўнага праекта фактаў і ўменне найбольш эфектыўна іх выкарыстоўваць;

в) садзейнічаць рацыянальнай арганізацыі працы навучэнцаў (самастойнай падрыхтоўчай і на занятках), а таксама размеркаванню працы педагога і навучэнцаў.

Таксама падобны прыклад сінтэзу праграманага матэрыялу і звестак гісторыка-краязнаўчага і духоўна-культурнага характару бачыцца прадуктыўным у кантэксце вырашэння першайыхаваўчай задачы, пастаўленай Кодэксам аб адукацыі Рэспублікі Беларусь, – «фарміраванне грамадзянскасці, патрыятызму і нацыянальнай самасвядомасці на аснове дзяржаўнай ідэалогіі» [1]. Агульнадзяржаўная самасвядомасць грамадзянінаыхоўваецца на ўсіх этапах сацыялізацыі асобы, у тым ліку ў працэсе навучання ва ўніверсітэце.

СПІС ВЫКАРЫСТАНАЙ ЛІТАРАТУРЫ

1. Кодекс Рэспублікі Беларусь аб адукацыі [Электронны ресурс] / Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk1100243>. – Дата доступа: 30.01.2022.

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Материалы Международной
научно-технической конференции
(Могилев, 21–22 апреля 2022 года)

**Авторы несут персональную ответственность
за содержание тезисов докладов**

Корректоры *И. В. Голубцова, Т. А. Рыжикова,
А. А. Подошевка*

Компьютерный дизайн *М. М. Дударева, Е. В. Ковалевская,
Н. П. Полевничая*

Подписано в печать 14.04.2022. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 29,67. Уч.-изд. л. 32,96. Тираж 30 экз. Заказ № 158.

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.