

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, 23–24 апреля 2026 года)

Могилев
«Белорусско-Российский университет»
2026

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, доц. *С. В. Данилов*; канд. физ.-мат. наук, доц. *В. Г. Замураев*; канд. техн. наук, доц. *А. С. Коваль*; канд. техн. наук, доц. *А. О. Коротеев*; канд. техн. наук, доц. *И. В. Лесковец*; канд. физ.-мат. наук, доц. *И. И. Маковецкий*; канд. техн. наук, доц. *А. П. Прудников*; канд. техн. наук *М. А. Рабыко*; канд. техн. наук, доц. *С. С. Сергеев*; канд. ист. наук, доц. *Е. П. Цумарева*; 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 Международной научно-технической конференции, Могилев, 23–24 апреля 2026 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Бел.-Рос. ун-т ; редкол.: *М. Е. Лустенков* (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорусско-Российский университет, 2026. – 426 с. : ил.
ISBN 978-985-492-325-3.

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 978-985-492-325-3

© Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарное заседание

АКУЛОВ П. А., ПЕТРЕШИН Д. И., ФЕДОНИН О. Н., ХАНДОЖКО А. В. Автоматизация процесса испытания электрических соединителей.....	18
ДОВГАЛЕВ А. М. Технологии и инструменты для комбинирован- ной магнитной и деформационной обработки.....	23
ОРЛОВСКИЙ П. С., БЫЗОВ А. П. Учет мнения экспертов при проведении количественной оценки риска.....	32

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

АНТОНОВА Е. Н., МИРОНОВА М. Н. Сравнительный анализ эффективности использования робота и станка с ЧПУ для процесса сверления.....	36
АНТОНЮК В. Е., САНДОМИРСКИЙ С. Г., ТИМОШЕНКО Н. П. Возможности маркетинга белорусских кольцевых заготовок.....	37
АНТОНЮК В. Е., САНДОМИРСКИЙ С. Г., ТИМОШЕНКО Н. П. Синхронизация загрузки оборудования кольцераскатного комплекса.....	39
ДОВГАЛЕВ А. М., СВИРЕПА Д. М., ТАРАДЕЙКО И. А. Модифицирование поверхности валов комбинированной магнитной и ударно-деформационной обработкой.....	41
ИЛЬЮШИНА Е. В., ЮШКЕВИЧ Н. М., КООВИТ В. С., МУХА А. В. Оптимизация технологии комплексной обработки заготовок пневмо- ударным инструментом.....	42
КАПИТОНОВ А. В. Разработка комплексов контроля точности изготовления планетарных передач с промежуточными телами качения.....	43
КАПИТОНОВ А. В. Расчет точности сборки механических передач с учетом погрешностей монтажа и использованием размерного анализа.....	44
КОРОЛЁВ А. Ю., ИВАНОВ А. И. Влияние импульсных режимов на плотность тока при электролитно-плазменном нагреве титана.....	45
КОРОЛЁВ А. Ю., НИСС В. С., ИВАНОВ А. И. Влияние электро- литно-плазменной обработки на коррозионную стойкость нитинола.....	47
МОРГАЛЕНКО Т. А. Обработка поверхностей пар трения сколь- жения с целью уменьшения износа их поверхностей.....	49
OZDEMİR B., ШЕМЕНКОВ В. М., СТАЦЕНКО А. А. Пороговая модель человеческой усталости для анализа производительности в условиях взаимодействия «человек – робот» в рамках реализации концепции Индустрии 5.0.....	51

ПАШКЕВИЧ В. М., ШИШОВ С. П. Создание моделей анализа коллизий коллаборативных и промышленных роботов.....	53
ПОЛЬСКИЙ Е. А., СКАЧКОВ П. В., ШВЫРЯЕВ М. В., БОХАН Д. С. Конструкторско-технологическое обеспечение показателей надежности узлов с учетом влияния технологических переделов.....	55
ПОПОВ В. Б., КУРАКОЛОВ К. В., ЛЕПЕШКИН Д. Д. Установка по обработке внутренней поверхности отливок, полученных методом направленного затвердевания.....	57
ПОПОК Н. Н., ПОРТЯНКО С. А., ШЕЛЕПЕНЬ Д. А. К вопросу о подходе к проектированию фрезы с решетчатыми структурами.....	58
РАБЫКО М. А., ЮМАНОВА А. Н., ПЕЧКОВСКАЯ О. Е. Упрочнение изделий тлеющим разрядом с полым катодом.....	60
РОМАНОВА В. В., АБИЕВ Р. Ш. Исследование массопереноса снарядного режима течения несмешивающихся жидкостей в микроканале.....	62
СВИРЕПА Д. М., СВИРЕПА Н. Д. Актуальность модифицирования внутренних цилиндрических поверхностей деталей из высокопрочного чугуна магнитно-динамическим раскатыванием.....	64
СОРОКИН С. В., ШЕСТЕРОВ Ю. В., РЯБОК Д. В. Разработка автоматизированной системы выбора вида и режимов термообработки стальных заготовок.....	65
ФЕДОРЕНКО А. М. Повышение экономической эффективности токарной обработки на станках с ЧПУ.....	67
ФЕДОСЕНКО А. С., БЕЛЯКОВИЧ В. А. Исследование эффективности получения композиционных керамических порошков сухим смешиванием.....	68
ФЕДОСЕНКО А. С., ОЛЕНЦЕВИЧ А. С. Структура и свойства аустенитной стали, полученной плазменной наплавкой механически легированного порошка.....	69
ФЕДОСЕНКО А. С., ОЛЕНЦЕВИЧ А. С., СЕЛИВАНОВА Ю. В. Влияние температуры стенок камеры механореактора на характеристики синтезируемых порошков.....	71
ШИШОВА О. Н. К вопросу применения методов искусственного интеллекта для минимизации смещения оси отверстий.....	72

Секция 2. Машиноведение, детали машин и прикладная механика

БЛАГОДАРНАЯ О. В., ПОНОМАРЕВА О. А. Анализ вынужденных колебаний автомобиля при движении по гармоническим неровностям дороги.....	73
ГОБРАЛЕВ Н. Н. Анализ влияния на КПД ременной передачи ее конструктивных элементов.....	74

ГОТТО И. И. Оценка вариантов структуры циклоидально-цевочной передачи с двухрядным сателлитом на основе силового анализа.....	76
ГОТТО И. И., СКАРЫНО Б. Б. Оценка факторов, влияющих на КПД циклоидально-цевочной передачи с двухвенцовым сателлитом.....	77
ИШАМБУЛОВА Л. А. Влияние скорости движения подвижной силы на напряженно-деформированное состояние пластины.....	78
КАТКАЛО А. А. Снижение массы конструкции балки при сохранении ее грузоподъемности.....	80
КУЦЕПОЛЕНКО А. В. Динамический анализ центробежного ограничителя скорости при движении лифта с номинальной скоростью.....	82
МАКАРЕВИЧ Д. М., ЦЫГАНОВА К. А., ДРОЗДОВА М. В. Применяемые в ветрогенераторах мультипликаторы.....	84
МАЛКОВА В. В, ХАБИБУЛЛИН Ф. Ф. Переход от традиционных методов к аддитивным технологиям в производстве светопроводящего бетона.....	86
НАУМЕНКО А. Е. Определение требуемого вылета зубчатых секторов в плавнорегулируемой планетарной передаче с двухвенцовым сателлитом.....	88
ПРУДНИКОВ А. П. Методика проектирования плоской винтовой передачи с параллельным расположением валов.....	90
ПРУДНИКОВ А. П., ЦЫГАНОВА К. А. Оценка работоспособности винтовой передачи скольжения по контактным напряжениям.....	91
ПУЗАНОВА О. В. Особенности применения метода последовательных приближений при решении обратной задачи кинематики манипулятора.....	93
ХАТЕТОВСКИЙ С. Н., ПУСКОВ О. М., ГАЛЮЖИН Д. С., ГАЛЮЖИН М. А. К вопросу определения особых точек зубчатой поверхности сателлитного колеса прецессионной передачи методом Эйлера – Савари.....	95
ЯКУБОВИЧ Е. Д. Моделирование и изготовление многоцветного трафарета.....	96

Секция 3. Технологии получения новых материалов и покрытий

БАРАНОВ К. Н., ГРУША В. П., ГУТЕВ А. П. Применение антифрикционного силумина для повышения износостойкости подшипников скольжения балансирных тележек прицепных сельскохозяйственных машин.....	97
БЕЛОЗЕРОВ М. Д., ЛАГОВСКАЯ Е. В. Барьеры развития аддитивных технологий и пути их преодоления.....	99

БУЗОВ А. А., ТРУБИЦЫН М. А., БЕЛОУСОВА А. А. Влияние интенсификаторов помола стекла на свойства стеклоиономерного цемента.....	101
ВИНИДИКТОВА Н. С., ШАПОВАЛОВ В. М., КОНАКОВА О. В. Биоразлагаемые композиционные материалы на основе компонентов из возобновляемых источников сырья.....	102
ГОНОРОВА С. В. Анализ факторов, влияющих на механические свойства ABS-пластиков при испытаниях на сжатие.....	104
КОНСТАНТИНОВ В. М., ЛЕШОК В. А. Некоторые пути энергоресурсосбережения при цементации и нитроцементации сталей.....	105
КОРОЛЁВ А. Ю., НИСС В. С., СОРОКА Е. В. Влияние высокочастотных режимов микродугового оксидирования титана на состав формируемых покрытий.....	107
КРИВОНОГОВА Е. Г., ГАЛЮЖИН Д. С., ШЕВЦОВ В. В. Обоснование актуальности использования аддитивных технологий при изготовлении зубчатых колес узлов МФУ.....	109
КРИВОНОГОВА Е. Г., ШЕВЦОВ В. В. Анализ материалов, которые могут использоваться для изготовления зубчатых колес узлов МФУ методами аддитивных технологий.....	111
КУДИНОВ Е. А., СКЛЯР В. А., ШАПОВАЛОВ А. И. Оптимизация технологических параметров при обкатывании электроискровых покрытий.....	112
ЛАПИН И. В., ГИЛЬМУТДИНОВ И. М., ГРЕБЕНЩИКОВА М. М. Получение композитных пеноматериалов с ресурсосберегающим порофором.....	114
ЛЕОНОВИЧ И. А., ЕВМЕНЕНКО Д. И. Аппроксимация опытных данных, полученных при испытании ABS-пластика на растяжение.....	116
ЛОЗИКОВ И. А., ДОБРОВОЛЬСКИЙ А. Д. Производственные испытания модифицированных хромовых бронз.....	117
ОВЧИННИКОВ Е. В., ДАВИДОВИЧ А. С., КИЗИК А. В. Композиционные покрытия на основе сшивающихся смол для строительной техники.....	119
ОВЧИННИКОВ Е. В., ЧЕКАН Н. М., КОСТЮКОВИЧ Г. А., АКУЛА И. П., СУЛЕЙМАНОВА Л. А., ПОПРУКАЙЛО А. В. Антифрикционные покрытия на основе фторсодержащих алтинов.....	121
ПОПРУКАЙЛО А. В., КОСТЮКОВИЧ Г. А., ОВЧИННИКОВ Е. В. Материалы и технологии формирования полимерных покрытий шлицевых соединений карданных передач.....	123
РУДЕНКО С. П., ВАЛЬКО А. Л., САНДОМИРСКИЙ С. Г. Требования к материалу деталей бурового инструмента.....	125
СВИСТУН А. Ч., ЛИННИК Д. А., ФАЛЁСА В. Ю., ОВЧИННИКОВ А. Е. Фторсодержащие электроискровые покрытия.....	127

СУНДУКОВ С. К., НЕЧАЙ А. А., РАХМАТУЛАЕВ А. А. Влияние ультразвуковой обработки на свойства полимерных композиционных материалов.....	129
СУХОЦКИЙ С. А., ГРУША В. П., ДУВАЛОВ П. Ю., ГУТЕВ А. П. Разработка жаростойкого чугуна для термоциклически нагруженных деталей.....	131
ТУРСУНБОВЕВ Л. Э., РАХМОНОВ Х. Н. Оценка эффективности процесса шлифования волокнистых материалов.....	132
ФАТЮХИН Д. С., НИГМЕТЗЯНОВ Р. И., КОЛЬДЮШОВ В. К., БАТОВА Л. В. Ультразвуковой инструмент для реализации ультразвуковой аддитивной технологии.....	134
ХАБИБУЛЛИН А. И., КИСЕЛЕВИЧ Н. Б. Получение модифицирующей лигатуры для литья стали в окислительной газовой среде методом реакционного механического легирования.....	136
ШАБЛОВСКИЙ А. В., ЯКУБОВИЧ Д. И. Исследование влияния мелкодисперсного карбида кремния на структурообразование сварных швов при ручной дуговой сварке.....	138
ШАПОВАЛОВ В. М., ЗОТОВ С. В., ОВЧИННИКОВ К. В., КОВАЛЕНКО М. А. Влияние неорганических наполнителей на свойства покрытий из дисперсных термопластов.....	140

Секция 4. Сварка, родственные процессы и технологии

БОЛОТОВ С. В., ЮМАНОВ Д. Н., ПРУДНИКОВ П. А. Экспериментальные исследования и количественная оценка снижения энергопотребления сварочной машины при контактной рельефной сварке нахлесточных соединений.....	142
ЖУЛДЫБИН А. А., ВЛАДИМИРОВ А. А., ШАПОВАЛОВ А. И. Влияние количества проходов на сплошность твердосплавного ЭИЛ-покрытия, сформированного в аргоне.....	144
КОРОТЕЕВА А. А., КОРОТЕЕВ А. О. Дуговая сварка с двухструйной подачей модифицированной газовой смеси	146
ЛУПАЧЕВ А. Г., КОРОТЕЕВ А. О. Исследование свариваемости стали QUARD 450	148
ЛУПАЧЕВ А. Г., ШУКАН Н. М. Лазерная сварка с присадочной проволокой стальных металлоконструкций	149
ЛЯПИН А. И. Давление ионной составляющей разрядного тока на «холодный» катод электрической сварочной дуги.....	150
ЛЯПИН А. И. Модель элементарных процессов в анодной области сварочной дуги с «холодным» катодом при нормальном давлении.....	152
МИХЕЕВ Р. С., БЫКОВ П. А., КАЛАШНИКОВ И. Е., КОБЕЛЕВА Л. И. Разработка наплавочных композиционных материалов системы Sn-Sb-Cu-TiNi для формирования антифрикционных покрытий.....	154

НОВОТОЧИНОВ А. П., КУДИНОВ Е. А., ВЛАДИМИРОВ А. А. Зависимость стойкости инструмента от количества тугоплавких компонентов наплавочной проволоки.....	156
ПАНТЕЛЕЕНКО Ф. И., ОКОВИТЫЙ В. В., ДЕВОЙНО О. Г., ЛИТВИНКО А. А. Современное применение и особенности создания материалов для нанесения многослойных плазменных покрытий, работающих в условиях высоких температур и интенсивного износа	158
ПАХОМОВ Д. К., КУЗЬМИЧЕВ Е. Н., НИКИТИН Д. Н. Снижение неподрессоренной массы локомотивов за счет применения аддитивных технологий.....	161
СЕРГЕЙЧИК А. О., ФУРМАНОВ С. М., МИХАЛЮТО А. Д. О результатах механических испытаний опытных образцов, полученных с использованием системы адаптивного управления рельефной сваркой.....	163
СИНИЦА А. Н., СИНИЦА М. А. Особенности проектирования сварных ограждающих объектов строительства методами 3D-моделирования.....	165
СТАЛЕНКОВ С. А. Об аттестации сварщиков в Республике Беларусь.....	166
ФЕТИСОВА Е. А., КОРОТЕЕВ А. А., КУЛИКОВ В. П. Термодинамическое моделирование процессов взаимодействия компонентов защитной газовой смеси $Ar + CO_2 + SF_6$ при дуговой сварке.....	167
ФУРМАНОВ С. М., СЕРГЕЙЧИК А. О., МИХАЛЮТО А. Д. Исследование влияния формы рельефа на характер формирования соединения «пластина + втулка» при адаптивном управлении рельефной сваркой	169
ЧЕШКО М. Ю. Испытания сварных соединений криогенных сосудов для подтверждения соответствия в форме сертификации.....	171
ШУКАН Н. М., СЕРДЮКОВА К. Н. Аддитивная наплавка электротехнической меди на стальную подложку.....	172
ШУКАН Н. М., ЦЫГАНКОВ И. И., СЕРДЮКОВА К. Н. Влияние параметров режима лазерной сварки на геометрические параметры наплавки.....	173

Секция 5. Транспортные и технологические машины

БЕРЕСНЕВ В. В. Определение рационального количества рабочих элементов на первом ярусе дробилки ударного действия с вертикальным валом в зависимости от скорости частицы.....	174
БОРОВИК И. А., ЛАГОВСКАЯ Е. В. Применение аддитивного прототипирования при создании учебно-инженерного макета поршневого двигателя LS3 V8.....	176
ИГНАТОВИЧ Н. С. Интеграция канатных дорог в существующие транспортные системы.....	178

КИШКАНОВ Н. Г., МАТЮХИН К. Н., ДОБРОДЕЕВА Л. В. Организация процесса автоматизации технологических процессов технического обслуживания воздушных судов.....	180
КОВАЛЕНКО Н. А. Моделирование работы светофорных объектов.....	182
КУЗНЕЦОВ Е. В. Оптимизация затрат при испытаниях автомобилей.....	184
КУЛАБУХОВ А. В., СМОЛЯР А. П. Анализ методик расчета сопротивления грунта при заглублении отвалов землеройной техники.....	186
ЛЕСКОВЕЦ И. В., ГРАЧЕВ А. А. Имитационное моделирование динамических нагрузок на ведущие колеса гусеничного бульдозера.....	187
МЕЛЬНИКОВ А. А. Относительный тормозной момент как критерий сравнительной оценки тормозных механизмов.....	189
МЕЛЬНИКОВ А. А., МЕЛЬНИКОВ А. С. Влияние углов наклона опорной пластины на уравнивание сил, действующих на самоустанавливающиеся тормозные колодки.....	190
МЕЛЬНИКОВ А. А., МЕЛЬНИКОВ А. С. Зависимость числа зубьев регулятора зазора тормозных колодок от угла поворота разжимного кулака.....	191
МОИСЕЕВ Е. А. Методы снижения времени срабатывания пневматического тормозного привода магистральных АТС.....	192
МОИСЕЕВ Е. А. Электрохимическая десульфатация свинцово-кислотных аккумуляторов импульсными асимметричными токами.....	194
НАУМЕНКО А. Е. Диагностирование редукторов грузоподъемных кранов.....	196
ПЕТРЕНКО М. Л., ФЕДОСОВ В. Д. Повышение эффективности работы комбинированной тормозной системы двухколесного транспортного средства.....	197
ПОНОМАРЕВА О. А. Прогнозирование долговечности амортизаторов транспортного средства категории М1.....	199
РЫНКЕВИЧ С. А. Разработка интеллектуальной системы регулирования тормозов электромобиля.....	201
СЁМЧЕН В. И. Способ и устройство для измерения колеи подкранового пути козловых кранов.....	202
ХАРИТОНОВ Ю. М., ШАШЕНКО С. Ф. Волновой аппарат с динамическим уравниванием колебаний.....	203
ЮШКЕВИЧ А. В. Проектирование портативного устройства для анализа параметров работы двигателя и электронных систем автомобиля.....	204
ЮШКЕВИЧ А. В. Разработка противобуксовочной системы для двухколесного транспортного средства на основе механического осциллятора	205

Секция 6. Строительство и техносферная безопасность

АГЕЕВА Т. Н., ПУСКОВА В. М. О проблемах качества питьевой воды из разных источников водоснабжения в Могилевской области.....	206
БОЛЬТ А. С., БОЛЬТ П. С., ВЛАСОВА А. В. Перспективы развития аэропортовой инфраструктуры при переходе на биотопливо.....	208
БРАНОВИЦКИЙ А. М. Применение биологических прудов для очистки сточных вод автомобильных дорог.....	210
БРАНОВИЦКИЙ А. М. Современные тенденции использования металлических материалов в мостостроении.....	212
ГОЛУШКОВА О. В. Сравнительный анализ определения нормативной продолжительности строительства объектов.....	214
ГОЛУШКОВА О. В., ГОЛУШКОВ М. Л. Особенности жилого фонда сталинской эпохи.....	216
ДАНИЛОВ С. В., МОСКАЛЬКОВА Ю. Г. Восстановление стенового ограждения воздухозаборной камеры.....	218
КОЗУНОВА О. В., ТЧОНАНГ Б. С. К расчету ленточных фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях Республики Камерун.....	220
КУРНОСЕНКО Л. В., ЦЫГАНКОВА Д. Д. Особенности технологии изготовления МАФ из композитного материала на основе вторичных ресурсов.....	222
КУРНОСЕНКО Л. В., ШАКИРОВА В. А. Преимущества МАФ из композитного материала на основе бытовых и производственных отходов.....	223
ЛАТУН Т. С., БЕЛЯСОВ И. В., ВЛАДЫКО Н. С. Перспектива использования отходов из ячеистого бетона.....	224
ЛАТУН Т. С., ВЛАДЫКО Н. С., МЕЗЕН А. Н. Влияние формы и размера наполнителя из боя ячеистого бетона на прочность конгломератов.....	225
ЛОБИКОВА О. М., ШАКИРОВА В. А. Изготовление МАФ на основе строительных отходов: SWOT-анализ.....	226
ЛОБИКОВА О. М., ЦЫГАНКОВА Д. Д. Изготовление МАФ с использованием строительных отходов: анализ рынка.....	228
МЕЛЬЯНЦОВА И. И., МИХАЛЬКОВ В. С., НЕМЧЕНКО И. В. Повышение прочности бетонов и растворов при введении активных минеральных добавок.....	230
МИХАЛЬКОВ В. С., МЕЛЬЯНЦОВА И. И., НЕМЧЕНКО И. В. Экспериментальные исследования процесса тонкого измельчения активной минеральной добавки.....	231
ПЕТРОВ М. М. Анализ результатов моделирования приточно-вытяжной установки со встроенным тепловым насосом.....	232
ХМЕЛЬНИЦКИЙ Е. С. Виды повреждений несущих деревянных конструкций и основные причины их возникновения.....	234

ШИЛОВА И. В. Анализ доз облучения персонала изотопной лаборатории на уровне рук.....	236
ШИЛОВА И. В. Сравнительный анализ доз облучения медсестер изотопных лабораторий учреждений здравоохранения г. Могилева.....	237
ШКИЛЬНЮК М. А. Исследование теплотехнических свойств фрагментов стен из газобетона и сэндвич-панелей.....	238

Секция 7. Контроль и диагностика промышленных объектов и окружающей среды

АФАНАСЬЕВ А. А., ПРОКОПЕНКО Е. Н. Переносной турбидиметр для определения марки дизельного топлива	239
БАЛЫКИН И. В., РЫЖЕВИЧ А. А., ЖЕЛЕЗНЯКОВА Т. А. Формирование световых пучков с квазистационарным осевым распределением интенсивности	241
БУРАК В. А., БОГДАН Д. Ю., ОСИПОВ А. А. Повышение чувствительности оценки анизотропии магнитных свойств листового проката сталей импульсным магнитным методом.....	243
KOVSHOV E. E., KUVSHINNIKOV V. S., SUDAREV A. V. Digital radiographic images preliminary processing for generating training samples.....	245
КОНЦЕВИЧ Г. В., ПОПЕЛЕВ И. Д., СЕРГЕЕВ С. С. Исследование возможности неразрушающего контроля качества соединения слоев в биметаллических вкладышах подшипников.....	247
КРЕНЬ А. П., МАЦУЛЕВИЧ О. В., ПРОТАСЕНЯ Т. А., ЛАНЦМАН Г. А., ПАНТЕЛЕЕВ К. В., ВОРОБЕЙ Р. И., МИКИТЕВИЧ В. А., НИКИФОРОВ А. В. Лабораторный комплекс для инструментального индентирования материалов.....	249
КРЕНЬ А. П., ПРОТАСЕНЯ Т. А., МАЦУЛЕВИЧ О. В., ЛАНЦМАН Г. А., MIN Z., ДЕЛЕНДИК М. Н., НИКИФОРОВ А. В. Методика определения показателя деформационного упрочнения алюминиевых сплавов.....	251
КУРОЧКИН Н. В. О возможности применения визуального обследования ограждающих конструкций зданий на основе методов компьютерного зрения.....	253
ПАНТЕЛЕЕВ К. В., ЖАРИН А. Л., ВОРОБЕЙ Р. И., МИКИТЕВИЧ В. А., ГУСЕВ О. К., СВИСТУН А. И., ТЯВЛОВСКИЙ А. К. Бесконтактные методы зондовой электрометрии в диагностике полупроводников	254
ПАНТЕЛЕЕВ К. В., СВИСТУН А. Л., СЁМИН Д. Н. Мониторинг ранних стадий коррозии стали методом сканирующего зонда Кельвина.....	256
ПАНТЮШИНА В. Г., НОВИКОВ В. А. Предпосылки для разработки универсальной методики магнитографического контроля ферромагнитных объектов	258
ПАСТУШКОВ В. А. Проблематика использования ВИЭ в транспортном секторе.....	260

ПОЗДНЯКОВ В. Ф., ПОЗДНЯКОВА Е. В. Исследование характера процесса излучения в нестабилизированном лазере.....	262
САНДОМИРСКИЙ С. Г., ВАЛЬКО А. Л., РУДЕНКО С. П. Анализ достижимой точности определения эффективной толщины цементированного слоя сталей.....	264
САФРОНЕНКОВА В. С., ДАВЫДОВА Е. А. Квалификация персонала как ключевой фактор обеспечения достоверности и безопасности при неразрушающем контроле промышленных объектов.....	266
СЕРГЕЕВ С. С. Особенности структурного построения волоконно-оптических преобразователей перемещений и вибраций.....	268
СТАСЬКОВ Н. И., ПАРАШКОВ С. О., ПЕТЛИЦКИЙ А. Н., ПИЛИПЕНКО В. А., МЕЛЬНИКОВ С. А., ШЕСТОВСКИЙ Д. В. Многоугловая монохроматическая эллипсометрия термических диоксидных слоев на кремниевых пластинах КДБ-12.....	269
ЧУДЕНКОВ А. М., НОВИКОВ В. А. Анализ экспериментальных исследований по выявлению дефектов в объектах без выпуклости шва магнитными методами контроля.....	271
ШАРАНДО В. И., ЗАГОРСКИЙ И. Е., ПОЛОНЕВИЧ А. А. Магнитодинамическая толщинометрия немагнитных покрытий на деформированном и отожженном никеле	273
ШАРАНДО В. И., ЧЕРНЫШЕВ А. В. Магнитодинамическая и электромагнитная толщинометрия слоев сплава ковар.....	275
 Секция 8. Автоматизация, электропривод и электрооборудование	
БОБКОВ Н. К., КОВАЛЬ А. С. Трехуровневый источник напряжения для инверторов с регулируемым напряжением шины постоянного тока.....	277
ГРОМЫКО И. Л., ГАЛУШКО В. Н. Разработка программного обеспечения для частотного анализа состояния трансформатора.....	278
ИГНАТЧЕНКО А. М., ЛЕНЕВСКИЙ Г. С. Цифровые двойники в системах электроснабжения.....	280
КАПИТОНОВ О. А., ТРЕТЬЯКОВ А. С. Алгоритмы плавного частотного пуска электроприводов на базе матричных преобразователей частоты.....	281
КОВАЛЬЧУК В. М., СТОЛЯРОВ Ю. Д. Оценка эффективности потребления электроэнергии по маржинальным показателям.....	283
МАНЦЕРОВА Т. Ф., ПАНТЕЛЕЙ Н. В., КОРСАК Е. П. Обеспечение надежности работы энергетического оборудования.....	285
РЕБРОВ Д. В., ЛЕНЕВСКИЙ Г. С. Повышение эффективности эксплуатации электроприводов на базе цифровых двойников.....	287
ТРЕТЬЯКОВ А. С., КАПИТОНОВ О. А. Разработка системы управления матричным преобразователем частоты с учетом работы независимой вентиляции	288

ЧЕРКАСОВА И. А., ГЕРАСИМЕНКО Н. В. QUCS-S в качестве инструмента моделирования электрических цепей в образовательном процессе.....	290
ЧЕРНАЯ Л. Г., САЗОНКО А. Е., КАЗАК Е. М. Оборудование для работы во взрывоопасных газовых средах в автоматизированном производстве.....	291
ЧЕРНАЯ Л. Г., САЗОНКО А. Е., КАЗАК Е. М. Особенности выбора оборудования для взрывоопасной пылевой среды.....	293
ШНИП Д. В., ЛЕНЕВСКИЙ Г. С. Исследование тепловых процессов в рабочей емкости с перемешивающим устройством в среде SolidWorks.....	295

Секция 9. Информационные и интеллектуальные технологии, системы и средства

БЕРЕЗОВСКИЙ В. В., ВЫГОВСКАЯ Н. В., ПАШКЕВИЧ М. В. Архитектура и инструменты медицинского программного обеспечения для интеграции с моделями искусственного интеллекта: сравнительный анализ современных решений.....	297
ВОРОЖЕЙКИН А. С., АЛДОШИН А. И., ПОРТНОВ А. В., МАТЮХИН К. Н. Разработка нейросетевого метода для поиска людей по тепловизионным снимкам.....	299
ВЫГОВСКАЯ Н. В., ФЕДОРОВА Ю. А., СИМОЧКОВА В. В. Разработка веб-приложения для автоматизированной диагностики заболеваний уха на основе модели YOLO.....	301
ГОЛЯС А. С. Система распознавания дактильного алфавита с использованием нейронных сетей в реальном времени.....	303
МИКАЛУЦКИЙ Д. В., ПЛИСКО И. Г., ТИМАШКОВА Л. А. Применение методов искусственного интеллекта в задачах автоматизации оценки знаний студентов.....	305
МИЩЕНКО И. И. Веб-приложение «Организайка»: инклюзивное решение для поддержки детей с расстройством аутистического спектра в повседневной жизни.....	307
МИЩЕНКО И. И. Параллельная нейросетевая коррекция рентгеновских снимков для диагностики НР-SPINE-синдрома.....	309
МРОЧЕК Т. В. Управление случайным поиском в Firefly Algorithm.....	311
ПОЛЯКОВА Т. А., СЕРГЕЕВА А. М. О разработке промтов при составлении тестовых заданий.....	313
СТОЛЯРОВ Ю. Д., КОВАЛЬЧУК В. М., САДОВСКИЙ В. Т. Структура виртуальной лаборатории для изучения компонентов архитектуры ЭВМ.....	314
ЯКИМОВ А. И., СМЫЧКОВ Я. В. Интеллектуальные технологии в контексте цифровизации управления.....	316

ЯКИМОВ А. И., ЯКИМОВ Е. А., ЧИГИЛОВ Н. А. Оптимизационная задача исследования цифрового кластера «ВУЗ-Производство».....	318
ЯСЮКОВИЧ Э. И. Принципы построения киберфизических систем информационно-коммуникационных технологий.....	320

Секция 10. Математическое моделирование и конструктивный анализ математических моделей

БОНДАРЕВ А. Н. Многоточечная задача управления с многоточечным неразделенным краевым условием на функцию состояний.....	322
БОРЧИК Е. М., АЛЕКСЕЙКОВ М. В. Анализ данных рентгенологических снимков поясничного отдела позвоночника.....	324
ЗАМУРАЕВ В. Г. Существование оптимального управления процессом, описываемым задачей выпуклой минимизации.....	327
КАШПАР А. И. Краевая задача Валле-Пуссена для обобщения нелинейного матричного уравнения Ляпунова второго порядка	329
ЛАПТИНСКИЙ В. Н., РОМАНЕНКО А. А. Об одном подходе к решению задачи Фолкнера – Скэн.....	331
МАКОВЕЦКАЯ О. А. Периодическая краевая задача для обобщенного матричного уравнения Риккати.....	333
МАКОВЕЦКИЙ И. И. Двухточечная краевая задача для возмущенного матричного уравнения Риккати.....	335
ПРИМАК И. У., РЫЖАНКОВ Р. Ю. Моделирование внутрирезонаторного просвечивания анизотропной пластины.....	337
ПРИМАК И. У., ХОМЧЕНКО А. В. О разделении механических напряжений в закаленном стекле.....	338
РОГОЛЕВ Д. В. Левосторонняя регуляризация периодической краевой задачи для системы матричных уравнений типа Риккати.....	339
СОТСКАЯ Л. И., МАТКОВ М. А., ПРОЧУХАНОВ Д. Е. Вычисление цилиндрических функций больших порядков в теории изгибов открытых волноводов.....	341
СОТСКИЙ А. Б., ШИЛОВ А. В., ГАРКОВСКИЙ И. А. Энергия электромагнитного импульса в полупространстве.....	343
ШИЛОВ А. В., ШОЛКОВ П. А. Модовые характеристики микроструктурных волокон с несоприкасающимися капиллярами в оболочке.....	345

Секция 11. Производство, экономика и логистика в цифровую эпоху

АЛЕКСАНДРОВ А. В. PESTEL-анализ факторов, влияющих на инновационную деятельность.....	347
АЛЕКСАНДРОВ А. В. Цифровая трансформация белорусских организаций.....	349

АЛЕКСАНДРОВА С. А. Актуальные технологичные и цифровые тренды в развитии локальной и международной логистики.....	351
АЛЕКСАНДРОВА С. А., ЗАДОЛЯ Е. С. Развитие функционала и интерактивности сайта транспортной компании как способ повышения доступности и качества транспортных услуг.....	353
БАРАНОВСКИЙ А. Г. Инвестпривлекательность Юго-Восточного региона Могилевской области и перспективы финансирования развития региона	355
БОРОДИЧ Т. А., ТАРАСОВА А. М. Оптимизация бизнес-процессов автотранспортного предприятия.....	357
ГРИНЕВИЧ М. Н. Пути повышения надежности транспортной системы региона.....	359
ГРИНЕВИЧ М. Н. Пути повышения эффективности транспортной системы Могилевской области	360
ЖЕСТКОВА Е. С. К вопросу оценки экономической безопасности предприятия	361
ЖИДКОВА А. М., ОЛЬХОВИК Е. О. Задачи развития цифровизации внутренних водных путей речного транспорта	363
ЗУБКОВ А. С. Использование искусственного интеллекта в бухгалтерском учете	365
ЗУБКОВ А. С. Цифровой бухгалтерский учет: этапы и перспективы развития	367
КАЗАНСКИЙ А. В. Источники финансирования Государственной программы «Дороги Беларуси» на 2026–2030 гг.	369
КЛИМОВА Л. А., КОЗЛОВА Д. А. Информационно-сенсорная перегрузка как фактор ограничения рационального выбора потребителя...	371
КЛИМОВА Л. А., КОЗЛОВА Д. А. Трансформация потребительского поведения в условиях цифровизации	372
КОМАРОВА С. Л., САКОВИЧ М. Д. Бенчмаркинг результативности научной деятельности как основа оценки конкурентных позиций вузов	374
ЛОБАНОВА Т. М. Модель учета предрасположенности к риску при формировании инвестиционного портфеля	375
МАКАРЕВИЧ Д. М., РУБАНОВА Н. В. Анализ динамики и детерминант экономической безопасности строительной отрасли Республики Беларусь	377
МЕДВЕДСКАЯ Т. В., БЛИННИКОВА А. В. Направления совершенствования налогового контроля в Республике Беларусь.....	379
НАРКЕВИЧ Л. В., ЖИВЕЛЮК К. И. Анализ стратегических приоритетов по видам услуг аудиторской компании.....	381
НАРКЕВИЧ Л. В., ЖУКОВА С. В. Блок анализа производственных возможностей инновационного обновления основных средств организации.....	383

НАРКЕВИЧ Л. В., ПРОКОПЕНКО Т. А. Блок анализа качественных параметров основных средств в системе проектного управления организации.....	385
НЕЧАЕВА Т. Г., БОРОДИЧ Т. А. Разработка направлений развития транспортной системы Могилевской области с применением элементов прогнозирования.....	387
НЕЧАЕВА Т. Г., МОРОЗОВА К. В. Пути повышения эффективности пассажирских перевозок автотранспортного предприятия.....	389
ПУЗАНОВА Т. В. Обоснование решений по управлению проектами на основе имитационного моделирования их реализации.....	391
ПУЗАНОВА Т. В. Оптимизация производственных бизнес-процессов на основе их моделирования и анализа.....	393
РОМАНЬКОВА Т. В. Экологическая составляющая экономической безопасности региона.....	395
РУБАНОВА Н. В., МАКАРЕВИЧ О. Д. Анализ финансовых трендов для белорусских промышленных предприятий.....	396
САКОВИЧ М. Д., КОМАРОВА С. Л. Сравнительный анализ конкурентоспособности вузов на основе показателей научно-исследовательской работы студентов.....	398
ШАДРАКОВ А. В. Стратегические направления развития экономики Могилевской области на период до 2040 г.	399

Секция 12. Проблемы и перспективы развития гуманитарной составляющей в вузах технико-технологического профиля

АЛЕКСЮТИНА Г. Я. Психологическая устойчивость студентов технических вузов в условиях цифровой перегрузки.....	401
БОЛОТОВ С. В. О работе первичной организации РОО «Белая Русь» Белорусско-Российского университета.....	403
БУДАЕВ М. Л., ГРИГОРЬЕВ М. Ф. Инновационные технологии в армрестлинге.....	405
ВАСИЛЕНКО Ю. В. Основы иноязычной подготовки будущих инженеров: индивидуальный и профессиональный подходы.....	407
КАЗАНСКИЙ А. В., ЧЕРКАСОВ А. П. О гражданском и патриотическом воспитании обучающихся.....	409
КАЗЮКО И. П., ПЕРЕЦ А. Н., ПЕРЕЦ Н. А. Комплексный мониторинг функциональных возможностей в процессе физического воспитания.....	411
КОВАЛЕНКО О. Е., МЕДВЕДСКАЯ Т. В. Организация учебного процесса в техническом вузе с использованием концепции BYOD.....	412
КОПЫЛОВА Е. А. Донорство в студенческой среде как проявление социальной ответственности – перспективы развития.....	413
МЕЛЬНИКОВА Е. Н. Использование аутентичных материалов в процессе обучения иностранному языку.....	415

ПИНЧУКОВА Т. П. The pedagogical development of knowledge.....	416
ПУСКОВА В. М. Дополнительное образование взрослых: опыт Белорусско-Российского университета.....	417
САДОВСКАЯ Л. А. Туризм как фактор патриотического воспитания студенческой молодежи.....	418
САМАРЦЕВ С. Б., КАМИНСКАЯ С. О., САМАРЦЕВ К. С. Релевантность технологий непрерывного обучения в образовании взрослых.....	420
САМУЙЛОВ Д. Н., ПИСАРЕНКО В. Ф., ТАПОРЧИКОВА М. В. Анализ показателей физической подготовленности студентов первого курса Белорусско-Российского университета.....	422
ШАРАПАВА А. В. Фарміраванне асобы навучэнца ў межах вывучэння дысцыплін філалагічнага профілю.....	424

УДК 681.518.5: 658.562.47

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ**П. А. АКУЛОВ¹, Д. И. ПЕТРЕШИН², О. Н. ФЕДОНИН², А. В. ХАНДОЖКО²¹Дубненский завод коммутационной техники

Дубна, Россия

²Брянский государственный технический университет

Брянск, Россия

Введение

В настоящее время подавляющее большинство электронных систем проектируется на основе блочно-модульного подхода. Взаимодействие отдельных блоков и модулей обеспечивается за счет разнообразных электрических соединителей (ЭС) [1]. Ключевая задача таких соединителей – создать стабильный электрический контакт, который обеспечит корректную передачу сигналов даже в сложных условиях эксплуатации. К числу неблагоприятных факторов относятся:

- вибрационные нагрузки;
- запыленность среды;
- температурные колебания;
- повышенные токовые нагрузки.

Таким образом, работоспособность всей электронной системы напрямую зависит от качества электрического контакта в соединении типа «вилка – розетка».

Важный этап производства электрических соединителей – контрольная операция [2]. Ее цель – проверить, соответствует ли изделие установленным техническим требованиям. Эти требования фиксируются:

- в технических условиях (ТУ) на продукцию;
- в государственных стандартах (ГОСТ).

Для верификации соответствия применяются различные виды испытаний. В частности, проводится проверка сил, необходимых для сочленения и расчленения соединителей [3, 4].

Постановка задачи

При внедрении автоматизации контроля силы сочленения-расчленения соединителей возникает потребность в разработке специальной методики. Она должна гарантированно фиксировать момент полного сочленения пары «вилка – розетка» в ходе испытаний.

На рис. 1 продемонстрированы возможные сценарии сочленения электрического соединителя.

Полное сочленение (см. рис. 1, а) определяется по следующему признаку: изоляторы розетки и вилки соприкасаются без возникновения механического

напряжения в зоне контакта. Это оптимальный сценарий, при котором следует измерять силу сочленения.

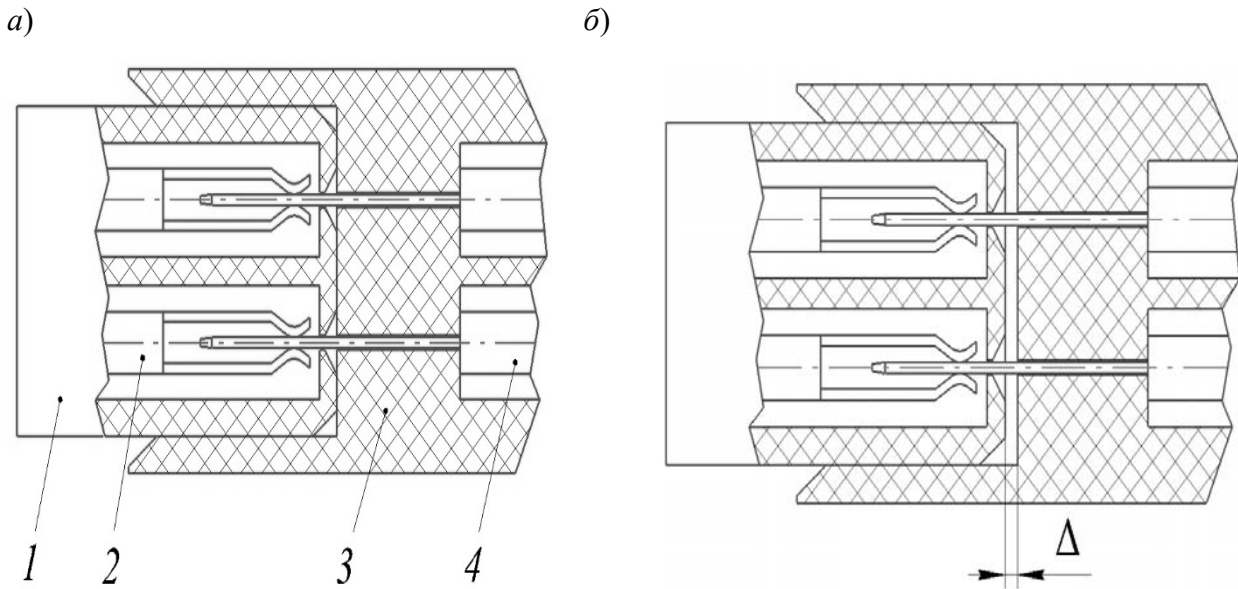


Рис. 1. Варианты сочленения электрического соединителя: *а* – полное сочленение; *б* – неполное сочленение: 1 – изолятор розетки; 2 – гнездовой контакт; 3 – изолятор вилки; 4 – штыревой контакт; Δ – зазор в соединении

Неполное сочленение (см. рис. 1, *б*) характеризуется наличием воздушного зазора Δ между изоляторами розетки и вилки. Такая ситуация считается нежелательной: измерение силы сочленения в этом случае даст недостоверные результаты.

Еще один неблагоприятный сценарий – пересочленение. Он возникает, если после достижения полного сочленения продолжает действовать сила, приводящая к механическому напряжению в зоне контакта изоляторов. Это вызывает их деформацию. На рис. 1 данный вариант не показан. При пересочленении измеренное значение силы сочленения окажется завышенным.

В условиях ручного контроля оператору крайне сложно точно определить момент полного сочленения – когда в зоне контакта отсутствует как механическое напряжение, так и зазор Δ . По этой причине ручной метод измерения силы сочленения нередко приводит к получению некорректных данных [5, 6].

Решение поставленной задачи

Для повышения производительности при контроле сил сочленения и расчленения контактных пар ЭС и минимизации влияния человеческого фактора предлагается создать две автономные автоматизированные системы управления (АСУ) операциями контроля (ОК) ЭС [5].

Функциональное разделение систем:

- первая АСУ предназначена для контроля сил сочленения-расчленения отдельных контактов ЭС со штырем-калибром (рис. 2);
- вторая АСУ ориентирована на работу с парой «вилка – розетка».

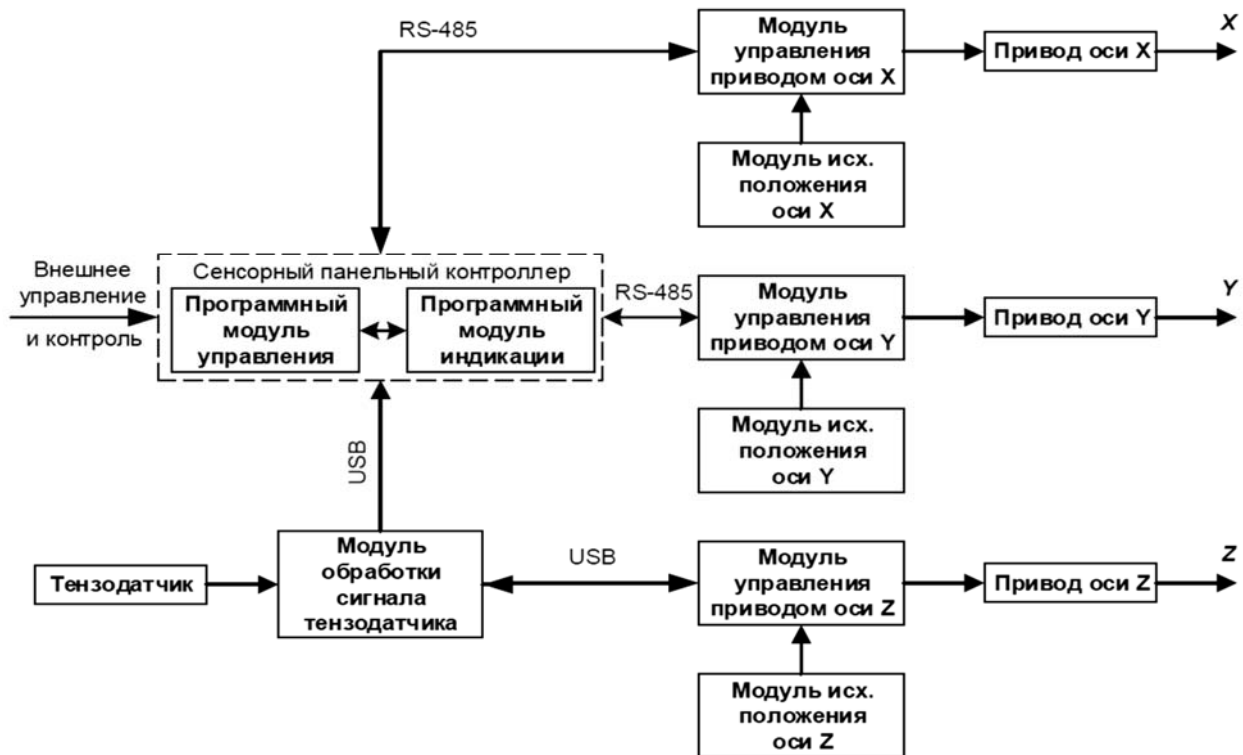


Рис. 2. Структурная схема АСУ ОК сил сочленения-расчленения гнездовых контактов ЭС

Обе системы должны обеспечивать реализацию следующего набора базовых функций [6].

1. Управление кинематикой испытательного процесса:

- точное задание и поддержание требуемого расстояния перемещения подвижных элементов;
- регулирование скорости движения узлов;
- контроль ускорения в процессе испытаний.

2. Универсальность применения: возможность проведения испытаний для различных типов электронных систем на единой технологической установке.

3. Интерактивный интерфейс мониторинга и настройки:

- визуализация хода испытательного процесса в реальном времени;
- оперативный ввод и корректировка параметров измерений;
- сохранение заданных значений для последующего использования.

4. Автоматизированная обработка данных:

- непрерывная фиксация текущих параметров в ходе испытаний;
- алгоритмическая обработка полученных значений;
- формирование протоколов испытаний;
- представление актуальных данных в удобной для анализа форме.

Каждая из АСУ включает следующие основные компоненты [7]:

- 1) базовая механическая платформа с интегрированными управляемыми электроприводами;
- 2) сменная технологическая оснастка, обеспечивающая адаптацию к различным типам испытуемых изделий;

3) система визуализации и управления, реализующая интерфейс взаимодействия оператора с оборудованием;

4) измерительный модуль, ответственный за сбор и первичную обработку данных.

Автоматизированная система контроля силы сочленения и расчленения ЭС реализует поэтапное введение калибровочного штыря во все гнезда разъема с параллельным фиксированием силы его вставки и извлечения из гнездового контакта.

Механическая подсистема данной автоматизированной установки состоит из трех линейных осей:

- 1) ось X отвечает за перемещение между гнездами в пределах одного ряда;
- 2) ось Y обеспечивает переход между рядами гнезд;
- 3) ось Z непосредственно задействована в измерении силы, требуемой для ввода и извлечения калибровочного штыря из проверяемого гнезда.

Автоматизированное устройство для оценки силы сочленения и расчленения пар электрических соединителей содержит одну линейную ось, на которой размещены подвижная и неподвижная плиты, оснащенные общими направляющими элементами. На подвижной плите посредством специальной оснастки закреплен тестируемый ЭС. Неподвижная плита, соединенная с тензодатчиком, также оснащена ответной частью ЭС через соответствующую оснастку.

Система визуализации и управления для обеих разрабатываемых автоматизированных систем контроля ЭС включает следующие функциональные модули [7].

1. Модуль управления приводом – реализован на базе контроллера шагового двигателя, обеспечивающего точное позиционирование подвижных элементов.

2. Модуль определения исходного положения – включает набор датчиков, фиксирующих начальную позицию подвижной плиты на линейной оси установки.

3. Модуль индикации – выполнен в виде сенсорного панельного контроллера, который позволяет:

- вводить и корректировать параметры испытаний;
- отображать текущее состояние технологического процесса;
- визуализировать результаты проведенных тестов.

4. Модуль управления установкой – представляет собой микропроцессорную систему, реализующую управление оборудованием в соответствии с заданным алгоритмом работы.

Разработанные автоматизированные методы испытания электрических соединителей существенно отличаются от существующих аналогов благодаря комплексному применению:

- оригинального подхода к автоматизированному контролю сил сочленения и расчленения ЭС;
- оригинальных технических решений в области автоматизации;
- специализированных АСУ, обеспечивающих точное перемещение подвижных элементов.

Ключевые технические характеристики системы:

- строгое соблюдение параметров перемещения (расстояние, скорость, ускорение) в соответствии с требованиями ГОСТ 23784–98;
- объективная фиксация реальных значений сил сочленения-расчленения;
- полная автоматизация процесса, исключая влияние человеческого фактора.

Достигнутые результаты

Внедрение предложенного решения позволило добиться следующих результатов [7].

1. Рост производительности контрольных операций:

- для гнездовых контактов ЭС с использованием контрольного штыря-калибра (на примере ЭС типа СНП388) – увеличение на 24 %;
- для пар разъемов – увеличение на 176 %.

2. Повышение точности измерений:

- сокращение среднего отклонения регистрируемых значений сил сочленения-расчленения до 8 %...15 % (против 33 %...56 % при ручном контроле);
- снижение погрешности измерений с 18 % (при жестком креплении тензодатчика) до 1 % благодаря оригинальной конструкции крепления тензометрического датчика к неподвижной плите.

Таким образом, разработанные системы обеспечивают значительное улучшение ключевых показателей процесса контроля как в плане производительности, так и в отношении точности измерений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пивоваров, В.** Анализ мировых тенденций развития и проблем производства электрических соединителей / В. Пивоваров, Л. Сафонов, И. Хохлов // Компоненты и технологии. – 2007. – № 2. – С. 1–4.
2. **Сафонов, А. Л.** Общие принципы организации и технологии испытаний электрических соединителей / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2008. – № 7. – С. 44–51.
3. Соединители низкочастотные, низковольтные и комбинированные. Технические условия : ГОСТ 23784–98. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 24 с.
4. Изделия электронной техники. Правила приемки : ГОСТ 25360–82. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 14 с.
5. **Акулов, П. А.** Автоматизация контрольной операции проверки электрических соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Автоматизация. Современные технологии. – 2019. – Т. 73, № 6. – С. 257–262.
6. Патент RU 177529. Установка для измерения усилия сочленения и расчленения соединителей: № 2017130135 : заявлено 25.08.2017 / Сырых А. Д., Акулов П. А.
7. **Акулов, П. А.** Повышение производительности при выполнении контрольных операций в технологическом процессе изготовления электрических соединителей за счет применения автоматизированных систем управления : дис. ... канд. техн. наук : 2.3.3 / Акулов Павел Александрович. – Брянск, 2023. – 252 л.

УДК 621.787

ТЕХНОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ
МАГНИТНОЙ И ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

А. М. ДОВГАЛЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Для машиностроения Республики Беларусь обеспечение конкурентоспособности выпускаемых изделий на основе повышения износостойкости поверхностей входящих в них ответственных деталей является первостепенной комплексной задачей. Ее решение невозможно без применения инновационных методов, технологий и инструментов для отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей машин.

В Белорусско-Российском университете формируется новое научное направление, связанное с разработкой и исследованием технологий отделочно-упрочняющей обработки с использованием низкоэнергетических магнитных полей с индукцией 0,05...1,9 Тл в сочетании со статическими и динамическими методами поверхностного пластического деформирования [1]. Для реализации инновационных технологий разработан новый класс инструментов, деформирующие элементы которых свободно установлены в кольцевой камере и взаимодействуют с магнитной системой, содержащей постоянные магниты различной конфигурации из редкоземельных материалов.

В настоящее время разработаны, исследованы и внедрены в условиях мелкосерийного производства следующие технологии комбинированной магнитной и деформационной обработки внутренних цилиндрических поверхностей ответственных деталей машин, каждая из которых имеет свои особенности и соответствующую область технологического применения.

1. Магнитно-центробежное раскатывание.

При реализации технологии магнитно-центробежного раскатывания энергия магнитного поля инструмента используется для создания силового взаимодействия деформирующих шаров с поверхностью цилиндрического отверстия упрочняемой детали. На рис. 1 изображена конструкция инструмента для осуществления предложенной технологии упрочнения [2].

В процессе отделочно-упрочняющей обработки ферромагнитные деформирующие шары 7 под действием вращающегося магнитного поля, создаваемого источниками 3, 4, вращаются относительно продольной оси инструмента, прижимаются центробежной силой к обрабатываемой поверхности детали и осуществляют ее поверхностное пластическое деформирование.

Сегодня ведутся исследования по определению влияния режимов процесса магнитно-центробежного раскатывания на качественные и эксплуатационные характеристики упрочняемых деталей, изготовленных из различных материалов.

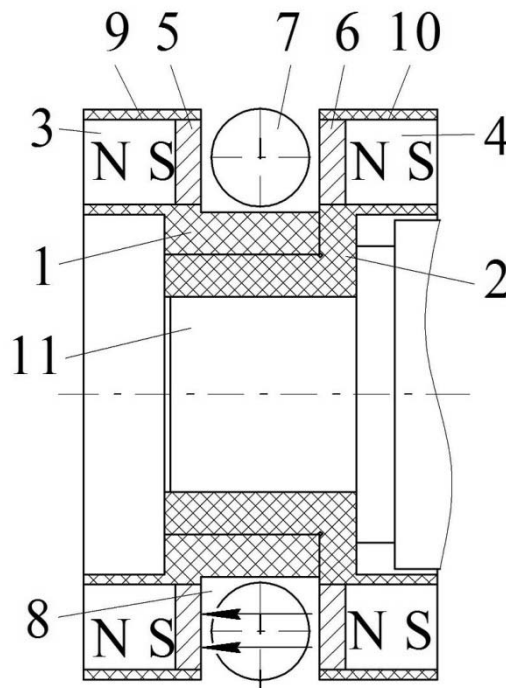


Рис. 1. Конструкция инструмента для магнитно-центробежного раскатывания: 1, 2 – стаканы; 3, 4 – постоянные магниты; 5, 6 – магнитопроводы; 7 – ферромагнитные деформирующие шары; 8 – кольцевая камера; 9, 10 – аксиальные отверстия; 11 – ротор

2. Магнитно-динамическое раскатывание.

В соответствии с технологией магнитно-динамического раскатывания, схема реализации которой представлена на рис. 2, ферромагнитные деформирующие шары 1 и цилиндрические постоянные магниты 2, установленные с равномерным угловым шагом на скалке 3, вводят в цилиндрическое отверстие 4 гильзы 5, вращают и перемещают с осевой подачей. Цилиндрические постоянные магниты 2, вращаясь вместе со скалкой 3, создают переменное магнитное поле с индукцией $0,2 \dots 1,2$ Тл и частотой $60 \dots 2000$ Гц. Под действием переменного магнитного поля ферромагнитные деформирующие шары 1 вращаются в плоскости 6, колеблются в радиальном направлении и осуществляют динамическое поверхностное пластическое деформирование, формируя на поверхности новый микрорельеф в виде сетки пересекающихся микролунок и обеспечивая высокие эксплуатационные свойства упрочняемой гильзы 5 [3].

Технология магнитно-динамического раскатывания обеспечивает: упрочнение поверхностного слоя деталей из стали 45 на глубину до $0,6$ мкм; увеличение микротвердости упрочненных поверхностей на $18 \% \dots 31 \%$; снижение исходной шероховатости поверхности до 8 раз; повышение износостойкости упрочненного поверхностного слоя в $2,1 \dots 2,3$ раза [4].

В технологиях магнитно-центробежного и магнитно-динамического раскатывания магнитное поле инструмента выполняет только транспортную функцию, сообщая деформирующим шарам кинетическую энергию, необходимую для осуществления процесса поверхностного пластического деформирования.

ферромагнитных деталей по параметру R_a с 6,3...0,4 до 0,60...0,08 мкм; повышение геометрической точности обработки на 10 %...27 % и удельной маслоемкости поверхности в 1,4–2,8 раза; увеличение глубины модифицированного поверхностного слоя в 1,6–3,1 раза; формирование наноструктурированного поверхностного слоя толщиной до 4,5 мкм с мелкодисперсной субзеренной структурой наноразмерного диапазона (15...100 нм), характеризующегося увеличением плотности дислокаций и остаточных напряжений сжатия (до минус 1162 МПа), обеспечивающих в совокупности повышение износостойкости упрочненных поверхностей (как жестких, так и нежестких ферромагнитных деталей) в 3,8–4,9 раза [7].

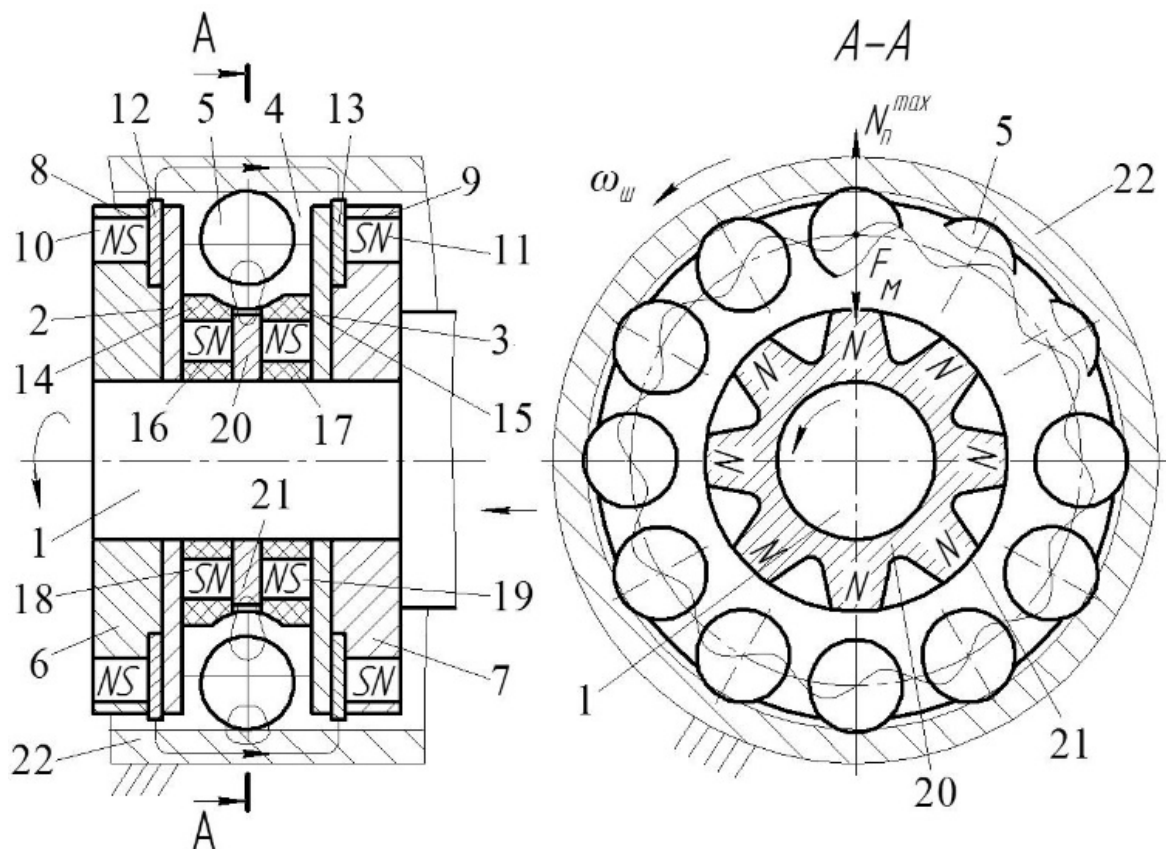


Рис. 3. Комбинированный инструмент для совмещенной магнитно-динамической обработки: 1 – оправка; 2, 3 – шайбы; 4 – кольцевая камера; 5 – ферромагнитные деформирующие шары; 6, 7 – диски; 8, 9 – аксиальные отверстия; 10, 11, 16, 17 – магнитопроводы; 14, 15 – обоймы; 20 – магнитопроводный диск; 21 – периодическая поверхность; 22 – ферромагнитный цилиндр

Осуществление процесса совмещенной магнитно-динамической обработки в специальной технологической среде, состоящей из соединений мягких металлов (окислы, соли и т. д.) или ультра- и мелкодисперсных порошков мягких металлов, а также веществ, восстанавливающих металлы из имеющихся соединений и активизирующих процесс растворения химически стойких окислов, обеспечивает (помимо получения на деталях поверхностных наноструктур)

формирование на поверхности упрочненных ферромагнитных деталей антифрикционных металлических покрытий толщиной 1,7...3,6 мкм с высокими эксплуатационными свойствами [8].

Основными направлениями усовершенствования вышепредставленных технологий отделочно-упрочняющей обработки являются: дальнейшее снижение исходной шероховатости поверхности упрочняемых деталей; увеличение глубины упрочненного поверхностного слоя; приращение толщины наноструктурированного поверхностного слоя; увеличение производительности процесса упрочнения и получения антифрикционных металлических покрытий; повышение характеристик качества и эксплуатационных свойств упрочненных поверхностей.

Для достижения поставленных целей разработаны, исследуются и проходят лабораторные испытания следующие инновационные технологии.

4. Комбинированная магнитная, ударно-деформационная и центробежно-деформационная обработка.

Согласно разработанной технологии, поверхность ферромагнитной детали последовательно упрочняют импульсным магнитным полем (в момент взаимодействия деформирующих шаров с упрочняемой поверхностью) и ударно-деформационной обработкой, формируя основные характеристики качества упрочненного слоя (глубину упрочнения, толщину наноструктурированного слоя, остаточные напряжения сжатия и др.), а затем осуществляют магнитно-центробежную обработку, обеспечивая тонкое поверхностное пластическое деформирование и окончательное формирование микрорельефа поверхности.

Для реализации технологии разработан инструмент, изображенный на рис. 4, позволяющий совместить в одной операции (в одном технологическом переходе) три вида энергетического воздействия на поверхность упрочняемой ферромагнитной детали.

В процессе обработки инструменту сообщают вращение и движение осевой подачи. Ферромагнитные деформирующие шары 8 намагничиваются от цилиндрических постоянных магнитов 16 и 17, воздействуют на поверхность ферромагнитной детали 20 импульсным магнитным полем и осуществляют одновременно ударно-деформационную обработку, а деформирующие шары 9 под действием возникающей центробежной силы выполняют сглаживание имеющихся микронеровностей и окончательно формируют микрорельеф упрочняемой поверхности.

5. Комбинированная импульсно-ударная, магнитная и центробежно-деформационная обработка.

Технология предусматривает последовательное упрочнение поверхности импульсно-ударной, затем центробежно-деформационной обработкой в магнитном поле. Инструмент для реализации технологии изображен на рис. 5.

В процессе комбинированной отделочно-упрочняющей обработки деформирующие шары 8 осуществляют импульсно-ударное деформирование (получая импульс от вращающихся под действием магнитного поля шаров-ударников 10), увеличивая глубину упрочненного слоя, а деформирующие шары 9 осуществляют тонкое поверхностное пластическое деформирование во вращающемся магнитном поле, создаваемом цилиндрическими постоянными магнитами 12 и 13, эффективно сглаживая имеющиеся микронеровности.

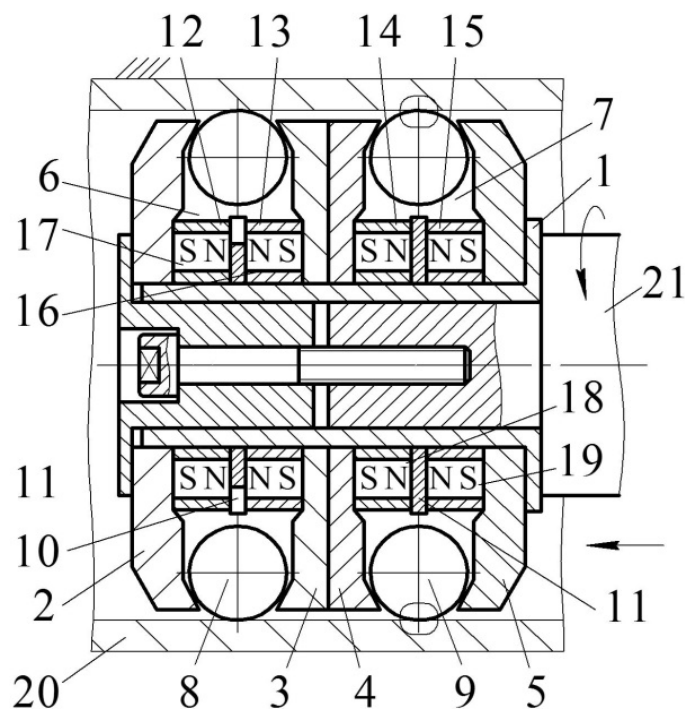


Рис. 4. Инструмент для комбинированной магнитной, ударно-деформационной и центробежно-деформационной обработки: 1 – корпус; 2–5 – диски; 6, 7 – кольцевые камеры; 8, 9 – ферромагнитные деформирующие шары; 10 – зубчатый магнитопровод; 11 – кольцевой магнитопровод; 12–15 – цилиндрические держатели; 16–19 – цилиндрические постоянные магниты; 20 – ферромагнитная деталь; 21 – шпиндель станка

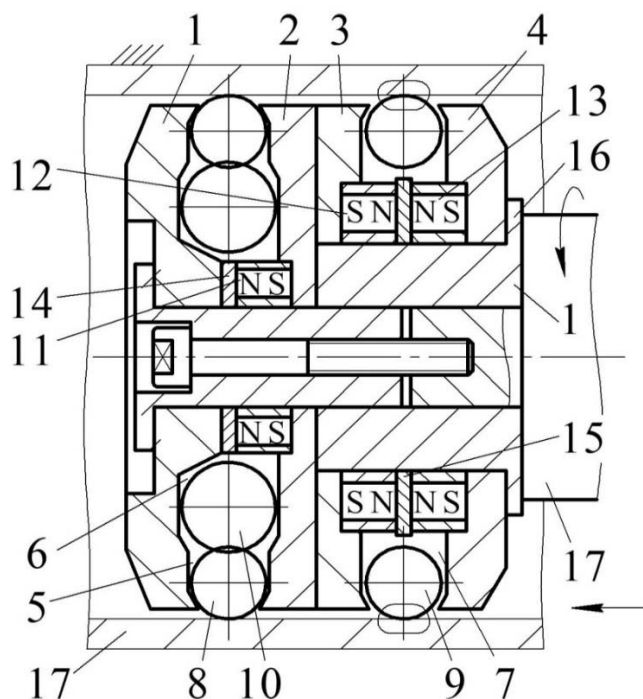


Рис. 5. Инструмент для комбинированной импульсно-ударной, магнитной и центробежно-деформационной обработки: 1–4 диски; 5–7 – кольцевые камеры; 8, 9 – деформирующие шары; 10 – шары-ударники; 11–13 – цилиндрические постоянные магниты; 14, 15 – кольцевые магнитопроводы; 16 – корпус; 17 – оправка; 18 – упрочняемая деталь

6. Комбинированная ударно-деформационная, совмещенная магнитная и центробежно-деформационная обработка.

Технология также предусматривает последовательное упрочнение поверхности детали ударно-деформационной обработкой и последующей магнитно-центробежной обработкой, совмещенной с дополнительным магнитным упрочняющим воздействием, создаваемым специальной магнитной системой инструмента (рис. 6).

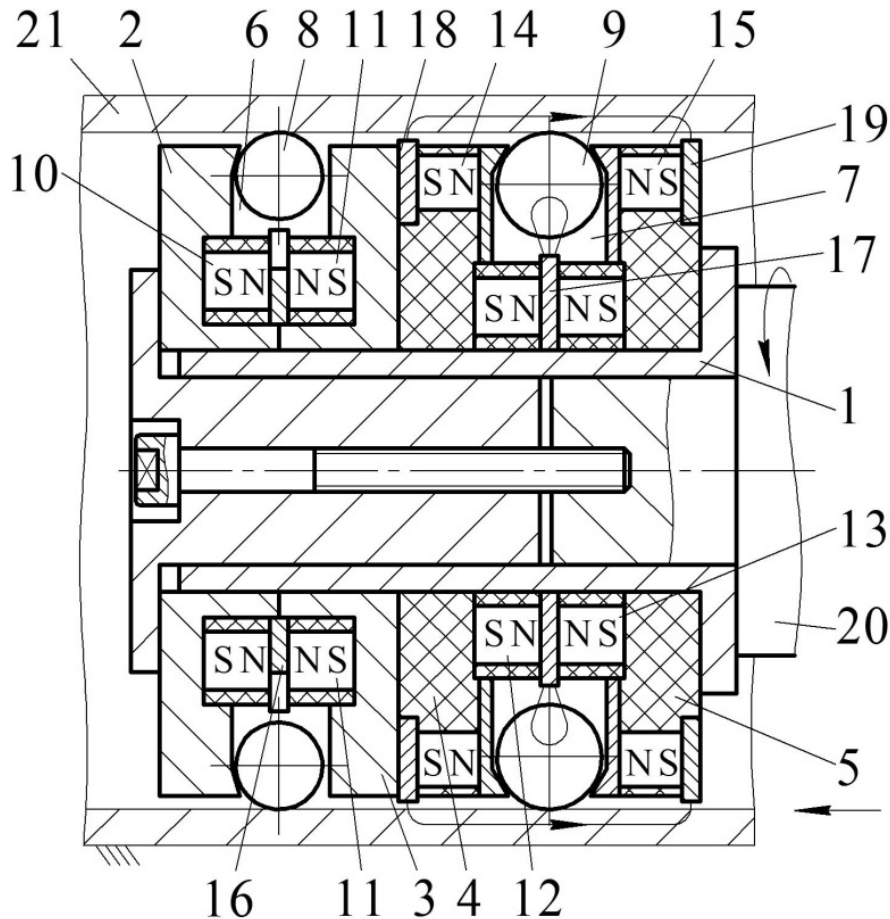


Рис. 6. Инструмент для комбинированной ударно-деформационной, совмещенной магнитной и центробежно-деформационной обработки: 1 – центрирующая втулка; 2–5 – ступицы; 6, 7 – кольцевые камеры; 8, 9 – деформирующие шары; 10–15 – цилиндрические постоянные магниты; 16 – зубчатый магнитопровод; 17–19 – кольцевые магнитопроводы; 20 – оправка; 21 – ферромагнитный цилиндр

В процессе комбинированного упрочнения деформирующие шары 8 осуществляют предварительное ударно-деформационное упрочнение. Затем на предварительно упрочненную поверхность ферромагнитного цилиндра одновременно воздействуют вращающееся магнитное поле от цилиндрических постоянных магнитов 14, 15 и деформирующие шары 9, осуществляющие тонкое поверхностное пластическое деформирование и окончательно формируя высокие характеристики качества и эксплуатационные свойства упрочняемой детали 21.

7. Комбинированная термомагнитная, совмещенная магнитная и ударно-деформационная, центробежно-деформационная обработка.

Технология предусматривает предварительный разогрев поверхностного слоя ферромагнитной детали переменным магнитным полем от цилиндрических постоянных магнитов с чередующимся расположением полюсов N и S, последующую ударно-деформационную обработку, совмещенную с магнитной обработкой, и окончательную центробежно-деформационную обработку. Для реализации технологии комбинированного упрочнения разработан специальный инструмент (рис. 7), магнитная система которого содержит постоянные цилиндрические магниты на основе алюминия, никеля и кобальта (AlNiCo) с высокой магнитной индукцией и термостойкостью более 550 °С.

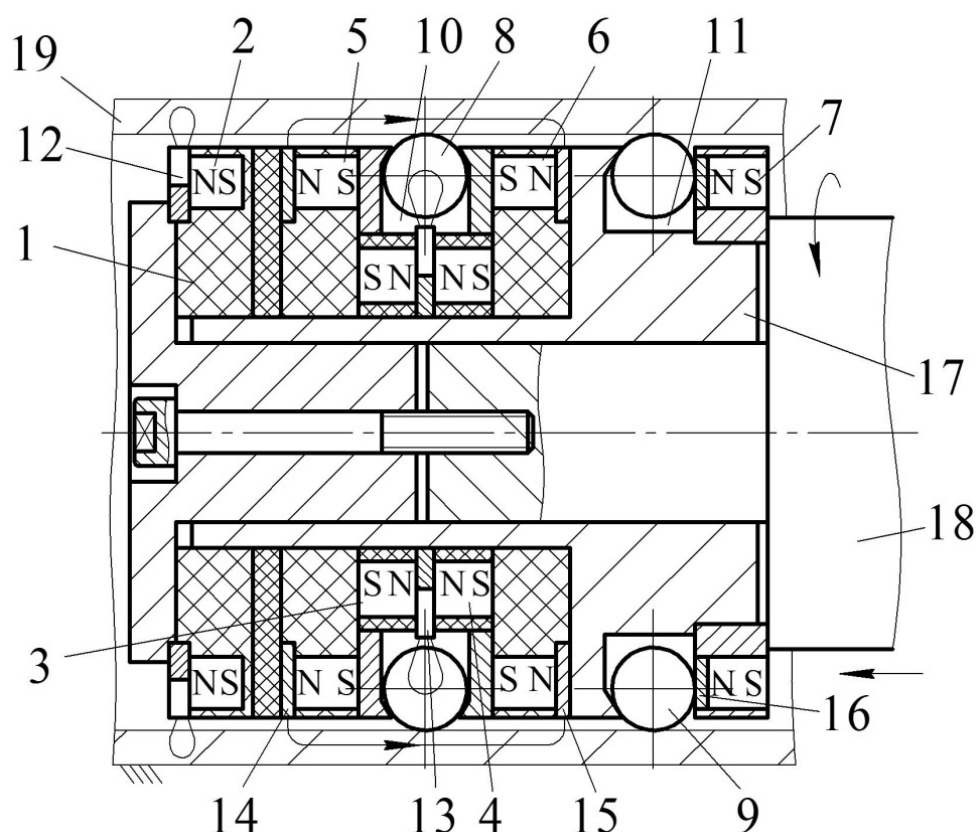


Рис. 7. Инструмент для комбинированной термомагнитной, совмещенной магнитной и ударно-деформационной, центробежно-деформационной обработки: 1 – диск; 2–7 – цилиндрические постоянные магниты; 8, 9 – ферромагнитные деформирующие шары; 10, 11 – кольцевые камеры; 12, 13 – зубчатые магнитопроводы; 14, 15 – кольцевые магнитопроводы; 16 – магнитопроводы; 17 – корпус; 18 – штанга; 19 – ферромагнитная деталь

При работе инструмента вначале поверхность ферромагнитной детали 19 разогревается переменным магнитным полем, создаваемым источниками магнитного поля 2, расположенными с чередованием полюсов N и S. При этом обеспечивается активация движения атомов кристаллической решетки материала упрочняемой детали. Затем на разогретый поверхностный слой воздействуют вращающимся

магнитным полем, создаваемым источниками магнитного поля 5, 6 и ферромагнитными деформирующими шарами 8, осуществляющими ударно-деформационное упрочнение. Ферромагнитные деформирующие шары 9 инструмента осуществляют окончательное центробежно-деформационное упрочнение.

Как показали экспериментальные исследования, разработанные инновационные технологии комбинированной отделочно-упрочняющей обработки поверхностей ферромагнитных деталей позволяют получить более значимый синергетический упрочняющий эффект от используемых видов энергетического воздействия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Довгалец, А. М.** Магнитно-динамическое и совмещенное накатывание поверхностей нежестких деталей / А. М. Довгалец. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2017. – 266 с.
2. Патент ВУ 18153, МПК В24В 39/02 (2006.01). Способ и инструмент для магнитно-центробежного раскатывания внутренней поверхности круглого отверстия в металлической детали : № а 2011513 : заявлено 11.11.2011 : опубл. 30.04.2014 / Довгалец А. М., Рыжанков Д. М. ; заявитель Бел.-Рос. ун-т. – 6 с.
3. Патент ВУ 17976, МПК В24В 39/02 (2006.01). Способ магнитно-динамического упрочнения внутренней поверхности круглого отверстия в металлической детали : № а 20120052 : заявлено 16.01.2012 : опубл. 28.02.2014 / Довгалец А. М., Свирепа Д. М.; заявитель Бел.-Рос. ун-т. – 6 с.
4. **Свирепа, Д. М.** Технологическое обеспечение качества внутренней цилиндрической поверхности деталей магнитно-динамическим раскатыванием : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Свирепа Дмитрий Михайлович ; Бел.-Рос. ун-т. – Могилев, 2013. – 26 с.
5. Патент RU 2068770, МПК В24В 39/02 (2006.01). Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления : № 4922542/27 : заявлено 29.03.1991 : опубл. 10.11.1997 / Довгалец А. М. ; заявитель Довгалец А. М. – 7 с.
6. Патент RU 2089373, МПК В24В 39/0 (2006.01). Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления : № 4924841/02 : заявлено 05.04.1991 : опубл. 10.09.1997 / Довгалец А. М. ; заявитель Довгалец А. М. – 7 с.
7. **Довгалец, А. М.** Теоретические и технологические основы отделочно-упрочняющей совмещенной магнитно-динамической обработки поверхностей нежестких деталей из ферромагнитных материалов : дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.07 / Довгалец Александр Михайлович ; Бел.-Рос. ун-т. – Могилев, 2024. – 303 л.
8. Патент ВУ 22193, МПК В24В 39/02 (2006.01). Способ и устройство для отделочно-упрочняющей обработки внутренней поверхности отверстия ферромагнитной детали : № а 20140015 : заявлено 03.01.2014 : опубл. 30.10.2018 / Шелег В. К., Довгалец А. М., Жолобов А. А., Свирепа Д. М., Сухоцкий С. А., Мовчан М. В. ; заявитель Бел.-Рос. ун-т. – 8 с.

УДК 614.8

УЧЕТ МНЕНИЯ ЭКСПЕРТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РИСКА

П. С. ОРЛОВСКИЙ¹, А. П. БЫЗОВ²¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Россия

В условиях недостатка статистических данных количественная оценка риска аварий на опасных производственных объектах требует интеграции в расчет экспертных оценок. В работе представлена методика формализации экспертной информации через анкетные опросы с применением метода анализа иерархий (МАИ) и шкалы Томаса Саати (1–9) [1]. С помощью созданной формы опрос прошли 44 специалиста, ответы которых приведены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты анкетных опросов парных сравнений

Пары	–4	–3	–2	–1	0	1	2	3	4
F ₆₁ –F ₆₂	1	4	6	5	17	3	4	1	3
F ₆₁ –F ₆₃	1	3	4	4	9	6	7	6	4
F ₆₁ –F ₆₄	2	1	5	8	11	7	2	4	4
F ₆₂ –F ₆₃	2		9	6	10	3	2	6	6
F ₆₂ –F ₆₄	3	2	2	6	13	11	3	2	2
F ₆₃ –F ₆₄	3	8	3	1	17	4	7		1

Вносятся полученные ответы экспертов в матрицу в соответствии со шкалой важности [2, 3]. Подход основан на определении среднего значения полученных ответов экспертов с его последующей трансформацией в рамках принятых дискретных значений (табл. 2) [4–6].

Табл. 2. Оценка средних значений

Пары сравнения	Среднее значение результатов анкетных опросов парных сравнений	Принятая оценка для матрицы парных сравнений
F ₆₁ –F ₆₂	0	1
F ₆₁ –F ₆₃	0,5	1/2
F ₆₁ –F ₆₄	0	1
F ₆₂ –F ₆₃	0,5	1/2
F ₆₂ –F ₆₄	0	1
F ₆₃ –F ₆₄	–0,5	2

В табл. 3 представлены матрица парных сравнений и полученные весовые коэффициенты для группы факторов наземного резервуара со сжиженным

углеводородным газом «Природные воздействия» [7].

Табл. 3. Попарное сравнение факторов на основе проведенного опроса

Фактор	F ₆₁	F ₆₂	F ₆₃	F ₆₄	Произведение П	Корень 4-й степени из произведе- ния $\sqrt[4]{\Pi}$	Приоритет	$\lambda_{\max}$
F ₆₁	1	1	1/2	1	0,50	0,84	0,20	1,00
F ₆₂	1	1	1/2	1	0,50	0,84	0,20	1,00
F ₆₃	2	2	1	2	8,00	1,68	0,40	1,00
F ₆₄	1	1	1/2	1	0,50	0,84	0,20	1,00
Сумма	5,00	5,00	2,50	5,00	Итого	4,20	1,000	4,00
U _c								0,00
CC								0,9
OC								0,00

Однако бывают случаи, когда необходимо расширить систему факторов. Это может быть обусловлено необходимостью учета индивидуальных особенностей эксплуатации рассматриваемых объектов, которые связаны с уникальностью конструкции, необходимостью отступления от требований или особыми условиями расположения объекта. В рассматриваемом случае может быть учтена ветровая нагрузка для регионов с повышенными значениями этих показателей, где скорость ветра может превышать 30 м/с либо значения ветрового давления превышают 55 кгс/м² [8], и введен фактор F₆₅ «Ветровая нагрузка». Логика расширения числа факторов приведена в табл. 4 и 5.

Табл. 4. Попарное сравнение факторов с учетом нового введенного фактора

Фактор	F ₆₁	F ₆₂	F ₆₃	F ₆₄	F ₆₅	Произведение П	Корень 5-й степени из произведения $\sqrt[5]{\Pi_i}$	Приоритет
F ₆₁	1	1	1/2	1	1/a	П ₁	$\sqrt[5]{\Pi_1}$	$\frac{\sqrt[5]{\Pi_1}}{S}$
F ₆₂	1	1	1/2	1	1/b	П ₂	$\sqrt[5]{\Pi_2}$	$\frac{\sqrt[5]{\Pi_2}}{S}$
F ₆₃	2	2	1	2	1/c	П ₃	$\sqrt[5]{\Pi_3}$	$\frac{\sqrt[5]{\Pi_3}}{S}$
F ₆₄	1	1	1/2	1	1/d	П ₄	$\sqrt[5]{\Pi_4}$	$\frac{\sqrt[5]{\Pi_4}}{S}$
F ₆₅	a	b	c	d	1	П ₅	$\sqrt[5]{\Pi_5}$	$\frac{\sqrt[5]{\Pi_5}}{S}$
Итого							4,20	1,000
U _c								$\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$
CC								ИЗ [9]
OC								$\frac{U_c}{CC} \cdot 100 \%$

Табл. 5. Попарное сравнение факторов с учетом нового введенного фактора

Фактор	F ₆₁	F ₆₂	F ₆₃	F ₆₄	F ₆₅	Произведе- ние П	Корень 5-й сте- пени из произве- дения $\sqrt[5]{П}$	Приоритет	$\lambda_{\max}$
F ₆₁ «Подвиж- ки и дефор- мации грун- та»	1	1	1/2	1	5	2,5	1,20	0,20	1,04
F ₆₂ «Состав грунта с точки зрения его несущей способности»	1	1	1/2	1	3	1,5	1,08	0,18	0,95
F ₆₃ «Грозная активность»	2	2	1	2	7	56	2,24	0,38	1,00
F ₆₄ «Аварии и отказы, имев- шие место по причине при- родных воз- действий»	1	1	1/2	1	2	1	1	0,17	0,94
F ₆₅ «Ветровая нагрузка»	1/5	1/3	1/7	1/2	1	0,005	0,35	0,07	1,26
Сумма	5,2	5,3	2,64	5,5	18	Итого	5,87	1,000	5,19
U _c									0,05
CC									1,12
OC									4,46

В условиях дефицита статистических данных по авариям на опасных производственных объектах количественная оценка риска неизбежно опирается на экспертные суждения.

В работе проанализированы методы формализации экспертной информации для оценки частот инициирующих событий, включая метод анализа иерархий (МАИ) и балльно-факторную корректировку.

Предложен подход к снижению субъективности экспертных оценок через комбинирование анкетных опросов с последующей статистической обработкой и применение принципа открытой архитектуры при формировании систем факторов влияния.

Приведен пример определения весовых коэффициентов для факторов группы «Природные воздействия», влияющих на вероятность аварий на наземных емкостях автомобильных газозаправочных станций.

Также было рассчитано отношение согласованности (ОС) матрицы после расширения числа факторов с целью оценки качества экспертов. Получено значение ниже 10 %, что является приемлемым. Однако по причине того, что после введения в матрицу нового фактора парное сравнение производилось уже не 44 экспертами, а одним, то значение ОС уже получилось не близким к нулю,

как было ранее, а чуть более 4 %. Сравнение результатов, представленных в табл. 6, показывает незначительное изменение полученных значений весовых коэффициентов.

Табл. 6. Значения весовых коэффициентов до и после введения в группу нового фактора

Фактор	Вес фактора	Фактор	Вес фактора
F ₆₁	0,20	F ₆₁	0,20
F ₆₂	0,20	F ₆₂	0,18
F ₆₃	0,40	F ₆₃	0,38
F ₆₄	0,20	F ₆₄	0,17
—	—	F ₆₅	0,07

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Андреев, А. В.** Методика балльно-факторной оценки частоты инициирующих пожароопасные ситуации событий для подземных емкостей автомобильной газозаправочной станции / А. В. Андреев, А. П. Бызов, П. С. Орловский // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2023. – № 4 (68). – С. 131–141.
2. **Орловский, П. С.** Методика балльно-факторной оценки частоты инициирующих пожароопасные ситуации событий для надземных емкостей АГЗС / П. С. Орловский, А. П. Бызов, А. В. Андреев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 3 (63). – С. 141–146.
3. **Орловский, П. С.** Методика балльной оценки факторов влияния на возникновение пожароопасной ситуации для надземных емкостей АГЗС / П. С. Орловский, А. П. Бызов // Siberian Fire and Rescue Bulletin. – 2024. – № 2 (33). – С. 157–167.
4. **Орловский, П. С.** Определение коэффициентов важности с помощью метода анализа иерархий / П. С. Орловский // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев, 2023. – С. 121.
5. **Орловский, П. С.** Определение значимости факторов, влияющих на вероятность аварии на автомобильных газозаправочных станциях с надземной емкостью для сжиженных углеводородных газов / П. С. Орловский // Молодежь в науке – 2024 : тез. докл. XXI Междунар. науч. конф. молодых ученых. – Мн., 2024. – С. 368–369.
6. **Орловский, П. С.** Корректировка весов балльно-факторной оценки частоты аварий на АГЗС методом опроса экспертов / П. С. Орловский // III Респ. форум молодых ученых учреждений высшего образования : сб. материалов. – Брест, 2024. – С. 46.
7. **Орловский, П. С.** Влияние условий природной среды на безопасное функционирование предприятий нефтепродуктообеспечения / П. С. Орловский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2024. – С. 268–269.
8. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия : СН 2.01.05–2019. – Мн. : Минстройархитектуры, 2020. – 127 с.
9. **Тимченко, Н. Ю.** Выбор оптимальных альтернатив развития транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК» методом анализа иерархий / Н. Ю. Тимченко // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия : Экономика. – 2014. – № 2 (141). – С. 207–212.

УДК 621.787

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОБОТА И СТАНКА С ЧПУ ДЛЯ ПРОЦЕССА СВЕРЛЕНИЯ

Е. Н. АНТОНОВА, М. Н. МИРОНОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Исследование эффективности процесса сверления проводилось с использованием промышленного робота и станка с числовым программным управлением при выполнении идентичной операции. Критерием сравнения выбрано основное (машинное) время на изготовление ряда однотипных отверстий. Для выполнения операции использовались высокопрецизионный сверлильный станок с ЧПУ модели XYZ-123 и промышленный робот KUKA KR 16.

Процедура исследований строилась в два этапа. Сначала выполнялось сверление на станке с ЧПУ: заготовка фиксировалась в приспособлении, запускалась управляющая программа, фиксировалось суммарное машинное время сверления пяти отверстий. Затем, на второй заготовке, операция повторялась на роботе при тех же настройках инструмента и сопоставимом зажиме.

В обоих случаях использовались одно и то же сверло диаметром 5 мм, СОЖ и параметры резания, чтобы исключить влияние сторонних факторов. Дополнительно контролировались корректность расположения отверстий по чертежу и отсутствие аномалий процесса (застревание стружки, перегрев), однако детальная метрология качества отверстий в данной серии не проводилась.

Полученные результаты показали преимущество роботизированного варианта по времени: суммарное машинное время на выполнение пяти отверстий составило 90 с против 120 с на станке с ЧПУ, что эквивалентно сокращению длительности операции на 30 с и приросту производительности на 25 % для заданной конфигурации. При этом структура цикла оставалась сопоставимой: различие достигалось за счет более динамичных перемещений между точками и сокращенных переходов при работе робота при сохранении тех же режимов резания в зоне сверления.

Выявлены положительные моменты от применения робота в задачах позиционного сверления: выше гибкость переналадки и конфигурирования траекторий без трудоемкого постпроцессинга, проще интеграция в ячейку с автоматической подачей деталей, ниже потери на смену инструмента и подготовительные перемещения.

Таким образом, в сопоставимых условиях промышленный робот показал меньшую длительность цикла сверления ряда из пяти отверстий по сравнению со станком с ЧПУ, что свидетельствует о целесообразности рассмотрения роботизированных решений для операций с многопозиционным сверлением и частой сменой номенклатуры.

УДК 621.7

ВОЗМОЖНОСТИ МАРКЕТИНГА БЕЛОРУССКИХ КОЛЬЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК

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

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Маркетинг предполагает разработку продукта с заданными свойствами, изучение рынка сбыта и построение долгосрочных отношений с клиентами с целью получения прибыли. Для решения этих задач надо знать возможных конкурентов в производстве продукта, потенциальных потребителей продукта, технические показатели и пути повышения качества продукта с целью повышения конкурентоспособности и расширения рынка сбыта.

Кольцевые заготовки востребованы в транспортном машиностроении, авиационной, космической, оборонной, химической, нефтедобывающей и газовой промышленности при производстве крупногабаритных подшипников, специальных зубчатых колес, опорных колец, дисков турбин, элементов ветряных установок. С появлением современных систем адаптивного управления и систем ЧПУ, позволяющих контролировать и корректировать процесс кольцераскатки с учетом свойств каждого кольца, изменились возможности организации производства кольцевых заготовок. С использованием систем ЧПУ производство кольцевых заготовок становится конечной продукцией специализированного предприятия, поставляющего продукцию для разных производств. В этом случае становится актуальным маркетинг кольцевых заготовок.

В Беларуси на ОАО «Минский подшипниковый завод» (ОАО «МПЗ») в 2017 г. введен в эксплуатацию автоматизированный комплекс для изготовления кольцевых заготовок с диаметром до 600 мм, поставленный компанией MURARO S. r. a [1]. На ОАО «БЕЛАЗ» создается автоматизированный кольцераскатной комплекс для производства кольцевых заготовок с диаметром до 3000 мм [2]. С самого начала создаваемый на ОАО «БЕЛАЗ» кольцераскатной комплекс был сориентирован на производство кольцевых заготовок и для собственных нужд, и для экспортных поставок.

В результате два автоматизированных кольцераскатных комплекса в Беларуси позволяют полностью удовлетворить потребности в кольцевых заготовках не только самих производителей ОАО «МПЗ» и ОАО «БЕЛАЗ», но остается возможность для экспортных поставок кольцевых заготовок за пределы Белоруссии. Исходя из сложившейся ситуации, наиболее вероятна поставка кольцевых заготовок в Россию. Сравнение технических параметров кольцераскатного оборудования белорусских и пяти наиболее мощных российских производителей кольцевых заготовок приведено в табл. 1.

Проведенное сравнение кольцераскатных производств белорусских и российских изготовителей кольцевых заготовок позволяет сделать выводы:

– технические параметры кольцераскатного производства белорусских изготовителей кольцевых заготовок ОАО «МПЗ» и ОАО «БЕЛАЗ» находятся внутри диапазона технических параметров кольцераскатного производства

российских изготовителей кольцевых заготовок по геометрическим параметрам и маркам сталей, что позволяет прогнозировать значительные трудности при поставках обычных кольцевых заготовок в Российскую Федерацию;

– в кольцераскатных производствах белорусских и российских изготовителей кольцевых заготовок отсутствует информация об использовании стабилизационной обработки для уменьшения остаточных напряжений, что является одним из условий изготовления и поставок кольцевых заготовок для авиационной и космической промышленности;

– в кольцераскатных производствах белорусских и российских изготовителей кольцевых заготовок отсутствует информация об использовании контроля внутренних дефектов, что является одним из условий изготовления и поставок ответственных кольцевых заготовок для производства крупногабаритных подшипников, специальных зубчатых колес, опорных колец, дисков турбин, элементов ветряных установок.

– возможности кольцераскатных производств белорусских изготовителей кольцевых заготовок ОАО «МПЗ» и ОАО «БЕЛАЗ» для экспортных поставок следует искать в использовании при изготовлении кольцевых заготовок способов стабилизационной обработки с контролем внутренних дефектов и остаточных напряжений.

Табл. 1. Сравнение технических возможностей кольцераскатных производств белорусских и российских изготовителей кольцевых заготовок

Технические параметры кольцераскатного производства	ОАО «БЕЛАЗ»	ОАО «МПЗ»	ПАО «Русполимет»	ПАО «ВСМПО-АВИСМА»	ПАО «КУМЗ»	АО «МЗ «Электросталь»	ПАО «Уральская кузница»
Максимальный наружный диаметр, мм (и масса, кг) кольцевой заготовки	3000 (3000)	600 (220)	6000 (12000)	2400 (2000)	4500 (3000)	4000 (3000)	4000 (2000)
Максимальное радиальное (осевое) усилие кольцераскатного оборудования, кН	1600 (1250)		4000 (4000)		1600 (2000)		1600 (2000)
Марки сталей	Легированные	Подшипниковые	Любые	Любые	Легированные	Легированные	Жаропрочные
Механическая обработка	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется
Термическая обработка	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется
Стабилизационная обработка	Отсутствует		Информация отсутствует				
Контроль внутренних дефектов	Отсутствует		Информация отсутствует				
Контроль остаточных напряжений	Отсутствует		Информация отсутствует				

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Антонюк, В. Е.** Кольцераскатка в условиях автоматизированного производства / В. Е. Антонюк, П. А. Пархомчик, В. В. Рудый. – Мн. : Бел. наука, 2021. – 245 с.
2. ОАО «БЕЛАЗ» построит современный комплекс кольцераскатки в Орше. – URL: <https://vitvesti.by/economy/belaz-postroit-v-orshe-sovremennyyi-koltceraskatnyi-kompleks.html> / (дата обращения: 12.01.2026).

УДК 621.7

СИНХРОНИЗАЦИЯ ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ КОЛЬЦЕРАСКАТНОГО КОМПЛЕКСА

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

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Белорусский автомобильный завод (ОАО «БЕЛАЗ») создает автоматизированный комплекс для производства и термической обработки кольцевых заготовок наружным диаметром до 3000 мм и массой до 3000 кг [1].

Цель работы – разработка основных положений синхронизации загрузки кольцераскатного комплекса, состоящего из автоматизированной линии для производства кольцевых заготовок [2, 3] и автоматизированного участка термической обработки этих заготовок [4].

Основным положением синхронизации загрузки принято, что загрузка оборудования для термической обработки находится в зависимости от работы автоматизированной линии кольцераскатки и термическое оборудование будет загружаться по мере поступления с нее кольцевых заготовок.

Для расчета производительности автоматизированной линии производства кольцевых заготовок использована номенклатура кольцевых заготовок ОАО «БЕЛАЗ» с учетом следующих предпосылок:

- с автоматизированной линии для производства кольцевых заготовок каждая заготовка выходит с тактовым временем порядка 3...7 мин, на автоматизированном участке термической обработки время обработки может достигать от 15 до 60 ч на одну садку;

- оборудование для термической обработки загружается кольцевыми заготовками из одной марки стали с близкими параметрами по массе;

- кольцевые заготовки с годовой программой до 100 шт. изготавливаются за один запуск кольцераскатной линии, с годовой программой от 100 до 500 шт. – за два запуска, с годовой программой от 500 до 3000 шт. – за четыре запуска, с годовой программой более 3000 шт. – за двенадцать запусков линии.

Тактовое время на изготовление кольцевых заготовок приняли равным: для заготовок массой до 100 кг – 4,5 мин, массой более 100 до 500 кг – 5 мин, массой более 500 до 1000 кг – 6 мин, массой более 1000 кг – 7 мин.

На основании расчета суммарного времени на изготовление партии кольцевых заготовок одного запуска рассчитано количество кольцевых заготовок, поступающих после кольцераскатки на участок термической обработки при изготовлении кольцевых заготовок из разных марок сталей.

Для расчета производительности автоматизированного участка термической обработки использована номенклатура кольцевых заготовок ОАО «БЕЛАЗ» с учетом следующих предпосылок:

- для кольцевых заготовок из стали 42CrMo4 будет использована шахтная печь с максимальной массой загрузки 7000 кг;

- для кольцевых заготовок из сталей 20, 35, 45, 55, 09Г2С, 12ХН3А,

20ХН3А, 20Х2Н4А, 18 ХГТ, 40Х, 40ХН, 40ХМФА будет использована камерная печь с выдвижным подом, загружаемой массой до 2500 кг на поддон.

По результатам выполненных расчетов для кольцевых заготовок из стали 42CrMo4 установлено:

- время кольцераскатки кольцевых заготовок от одного запуска кольцераскатной линии составляет 48 ч;
- время термической обработки этой партии – 1224 ч;
- надо предусмотреть места для хранения около 400 шт. кольцевых заготовок после кольцераскатки общей массой свыше 600 т.

По результатам расчетов для кольцевых заготовок из сталей 20, 35, 45, 55, 09Г2С, 12ХН3А, 20ХН3А, 20Х2Н4А, 18 ХГТ, 40Х, 40ХН, 40ХМФА установлено: на изготовление партии одного запуска суммарное время работы кольцераскатной линии составляет 1184 ч; время термической обработки этой партии составляет 7 256 ч; для хранения поступивших кольцевых заготовок после кольцераскатки надо предусмотреть места для хранения около 12000 шт. кольцевых заготовок общей массой свыше 3000 т.

Выводы

1. Количество поступающих кольцевых заготовок с линии кольцераскатки за смену в несколько раз превышает количество подвергаемых термообработке кольцевых заготовок на участке термической обработки.

2. Для максимальной загрузки термического оборудования надо создавать склад для хранения поступающих с кольцераскатной линии заготовок.

3. По предварительным расчетам объем склада для хранения кольцевых заготовок из стали 42CrMo4 составляет 400 шт. общей массой свыше 600 т и для хранения кольцевых заготовок из сталей 20, 35, 45, 55, 09Г2С, 12ХН3А, 20ХН3А, 20Х2Н4А, 18 ХГТ, 40Х, 40ХН, 40ХМФА – около 12 тыс. кольцевых заготовок общей массой около 3000 т.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОАО «БЕЛАЗ» построит современный комплекс кольцераскатки в Орше. – URL: <https://vitvesti.by/economy/belaz-postroit-v-orshe-sovremennyyi-koltceraskatnyi-kompleks.html> (дата обращения: 11.01.2025).

2. **Антонюк, В. Е.** Кольцераскатка в условиях автоматизированного производства / В. Е. Антонюк, П. А. Пархомчик, В. В. Рудый. – Мн. : Бел. 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.

4. Разработка основных требований к автоматизированному участку термической обработки кольцераскатного комплекса / В. Е. Антонюк, С. Г. Сандомирский, С. О. Никифорович [и др.] // Литье и металлургия. – 2022. – № 2. – С. 97–103.

УДК 621.787

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ВАЛОВ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНОЙ И УДАРНО-ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ

А. М. ДОВГАЛЕВ, Д. М. СВИРЕПА, И. А. ТАРАДЕЙКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В работе современных технических систем для передачи вращательного движения применяются сплошные и полые валы, к рабочим поверхностям которых предъявляются высокие требования по износостойкости, усталостной прочности и коррозионной стойкости. Достаточно широкая номенклатура таких валов различного целевого назначения изготавливается на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь в условиях серийного производства.

Для повышения характеристик качества и эксплуатационных свойств ферромагнитных валов разработана технология модифицирования их поверхностного слоя, основанная на последовательном воздействии импульсным магнитным полем, ударно-деформационной обработкой и переменным магнитным полем [1].

Технологию модифицирования поверхности валов предложено осуществлять на станках токарной группы с применением высокоэффективного комбинированного инструмента.

Инструмент снабжен двумя независимыми приводами вращения соответственно магнитного индуктора, обеспечивающего импульсное магнитное воздействие, деформирующего и магнитного блоков. В состав деформирующего блока входят ферромагнитные деформирующие шары, свободно установленные в кольцевой камере и взаимодействующие со специальной магнитной системой. Магнитный блок включает цилиндрический держатель из немагнитопроводного материала и аксиально установленные цилиндрические постоянные магниты из редкоземельных материалов.

Наличие независимых приводов вращения магнитного индуктора и деформирующего блока инструмента позволяет устанавливать оптимальные режимы для осуществления магнитной и ударно-деформационной обработки.

В работе представлены результаты исследований шероховатости поверхности, физико-механических характеристик и эксплуатационных свойств поверхностного слоя ферромагнитных валов, модифицированных комбинированной и ударно-деформационной обработкой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент ВУ 23295, МПК В24 В39/04 (2006.01). Способ комбинированной отделочно-упрочняющей обработки наружной цилиндрической поверхности детали : № а 20180518 : заявлено 17.12.2018 : опубл. 28.02.2021 / Довгалева А. М., Тарадейко И. А.; заявитель Бел.-Рос. ун-т. – 7 с.

УДК 621.923.4

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ
ЗАГОТОВОК ПНЕВМОУДАРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Е. В. ИЛЮШИНА, Н. М. ЮШКЕВИЧ, В. С. КООВИТ, А. В. МУХА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Ранее проведенные исследования позволили установить новые закономерности влияния режимов пневмоударной обработки на микротвердость и параметры шероховатости поверхности образцов из алюминиевого сплава Д16Т [1]. Выявлено, что в качестве предварительной обработки под упрочнение пневмоударом предпочтительнее фрезерование, поскольку шлифованная поверхность обеспечивает лишь незначительный прирост эксплуатационных характеристик.

Микротвердость исходной поверхности образцов составляла 110...120 HV. После комплексной обработки, включающей фрезерование и последующее пневмоударное упрочнение, зафиксировано её повышение до 140...160 HV. Получены математические модели, описывающие влияние технологических режимов пневмоударной обработки на поверхностную микротвердость. Установлено, что наибольшее влияние на увеличение микротвердости оказывает давление сжатого воздуха, а минутная подача стола станка и зазор между основанием инструмента и плоскостью заготовки влияют в меньшей степени.

Рентгеноструктурный анализ подтвердил формирование на упрочненной поверхности характерного макрорельефа, измельчение субструктуры, увеличение плотности дефектов кристаллической решетки, а также уширение дифракционных линий за счет микронапряжений. Максимум физического уширения дифракционной линии Al 222, составляющий $5,1173 \cdot 10^{-3}$ рад, соответствующий наиболее упрочнённому состоянию поверхности, позволил определить оптимальные режимы обработки.

Определены оптимальные режимы комплексной обработки с предварительным фрезерованием и последующим упрочнением пневмоударным инструментом, обеспечивающие стабильное повышение микротвердости и качества поверхности. Фрезерование (торцевая фреза Ø80 мм): скорость резания – 200...400 м/мин, частота вращения – 800...1200 мин⁻¹, подача – 380...800 мм/мин, глубина резания – 4 мм с получением шероховатости Ra, равной 2,70...3,00 мкм. Пневмоударная обработка (пневмоинструмент с шарами ШХ15): давление воздуха – 0,1 МПа, подача стола – 80...200 мм/мин, зазор инструмента – 1...1,4 мм, что обеспечивает шероховатость Ra = 1,20...1,60 мкм, микротвердость – 140...160 HV. Установлены оптимальные режимы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология упрочняющей обработки пневмоударом поверхностей алюминиевых заготовок / Е. В. Ильюшина, Н. М. Юшкевич, В. С. Коовит, А. В. Муха // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2025. – № 3 (88). – С. 5–16.

УДК 621.83

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСОВ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

А. В. КАПИТОНОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время нет единой системы контроля точности изготовления планетарных передач с промежуточными телами качения [1]. Не разработаны стандарты на допуски показателей точности для этих передач. При их производстве контролируют в основном геометрические параметры деталей зацепления, при этом остается неизвестной при проектировании кинематическая погрешность, которая характеризует кинематическую точность и плавность работы механизма. При отсутствии комплексного контроля механизмов в сборе не известно соотношение между степенями точности планетарных передач с телами качения и зубчатых передач.

Для обеспечения заданной кинематической точности при проектировании и повышения качества при изготовлении планетарных передач с телами качения разработаны комплексы, включающие показатели точности, допуски на эти показатели, методы и средства контроля.

Установлены комплексные показатели для контроля механической передачи в сборе: кинематическая погрешность, среднее арифметическое абсолютных значений кинематической погрешности, местная кинематическая погрешность, суммарное отклонение от параллельности осей, суммарный перекося осей, циклические погрешности. Установлены дифференцированные показатели, обеспечивающие точность деталей зацепления и характеризующие точность геометрических параметров: среднего радиуса, амплитуды, шага периода беговой дорожки. Показатели точности и установленные на них допуски связаны с погрешностями изготовления и сборки передачи. При этом погрешности и показатели рассматриваются в радиальном, тангенциальном и осевом направлениях.

Контроль точности планетарных передач по всем разработанным показателям и допускам может выполняться на универсальных высокоинформативных современных устройствах с возможностью контроля большого количества показателей: на автоматизированном стенде и координатно-измерительной машине. В этом случае не требуется контроль каждого показателя на отдельном специальном измерительном приборе или приспособлении. Разработанные комплексы контроля позволяют повысить качество проектирования и изготовления планетарных передач с промежуточными телами качения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капитонов, А. В. Методика оценки и анализ кинематических погрешностей планетарных роликовых передач / А. В. Капитонов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2009. – № 2. – С. 88–97.

УДК 621.83

РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТЕЙ МОНТАЖА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА

А. В. КАПИТОНОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При проектировании и изготовлении механических передач (зубчатых, шариковых, роликовых, волновых и др.) [1, 2] необходимо учитывать погрешности монтажа. Эти погрешности включают биения валов, подшипников, зубчатых колес, деталей зацепления в зависимости от типа передачи. Они относятся к радиальным погрешностям и проявляются в амплитудно-частотном спектре кинематической погрешности передачи в гармонических составляющих с первыми номерами и номерами, равными передаточным отношениям. В стандартах ГОСТ погрешности монтажа не нормируются (на них не установлены допуски). В ГОСТ 21098–82 приводятся методики их расчета, при этом показатели точности рассматриваются от измерительной оси, что не согласуется с ГОСТ 1643–81, в котором эти показатели указаны от рабочей оси. Таким образом, стандарты ГОСТ не представляют однозначно погрешности монтажа и допуски на них. Теоретические и экспериментальные исследования разных типов механических передач позволили разработать методику расчета кинематической погрешности с учетом погрешностей монтажа. При этом получены математические зависимости расчета кинематической погрешности и суммарной погрешности монтажа. Исследования показали, что погрешности монтажа могут значительно увеличить кинематическую погрешность передачи при неточной сборке, увеличении допусков сопрягаемых посадочных поверхностей.

При проектировании точности сборки зубчатой цилиндрической передачи и планетарной передачи с телами качения в основном использовался теоретико-вероятностный метод расчета размерных цепей. Для многоступенчатых передач с большими передаточными отношениями использовался метод полной взаимозаменяемости, учитывая практически отсутствие соседних частот значимых гармоник циклических погрешностей. Метод групповой взаимозаменяемости может обеспечить высокую точность сборки за счет уменьшения погрешностей монтажа и при этом повысить степень точности передачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование кинематической погрешности планетарного эксцентрикового редуктора / А. В. Капитонов, Д. В. Непша, М. В. Гончаров [и др.] / Вестник Белорусско-Российского университета. – 2014. – № 3. – С. 14–24.
2. Капитонов, А. В. Исследование кинематической точности планетарных роликовых передач методами гармонического анализа и контроля в сборе / А. В. Капитонов, С. Г. Черняков / Вестник Белорусско-Российского университета. – 2011. – № 4. – С. 40–50.

УДК 621.785

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМОВ НА ПЛОТНОСТЬ ТОКА ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОМ НАГРЕВЕ ТИТАНА

А. Ю. КОРОЛЁВ, А. И. ИВАНОВ

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

Минск, Беларусь

Электролитно-плазменный нагрев (ЭПН) относится к методам высокоскоростного термического воздействия, обеспечивает разогрев изделий до 1200 °С со скоростью 200...250 °С/с. Недостатком ЭПН является наличие температурного градиента по высоте обрабатываемой детали. Данный факт связан с расширением парогазовой оболочки (ПГО), формирующейся вокруг активного электрода (анода), преимущественно в вертикальном направлении. Толщина ПГО влияет на эффективное электрическое сопротивление межэлектродной области и, как следствие, на распределение плотности тока по высоте. Одним из возможных способов снижения температурного градиента является реализация ЭПН в управляемых импульсных режимах [1]. Целью работы являлось установление закономерностей изменения среднего значения плотности тока при ЭПН в управляемых импульсных режимах.

В качестве образцов использовались прямоугольные пластины с размерами 10 × 30 × 1 мм из технически чистого титана ВТ1-0. Обработка производилась в водном электролите, содержащем хлорид аммония (10 %) и аммиак водный (5 %), с продолжительностью 5 мин. Температура электролита на протяжении всего процесса поддерживалась на уровне (30 ± 2) °С. Наличие аммиака водного при нагреве в электролите такого состава позволяет осуществлять процесс азотирования титана. Для этого рабочее напряжение устанавливалось таким образом, чтобы осуществить нагрев образцов до температуры 850 °С...900 °С.

Обработка образцов проводилась в стационарном и импульсных режимах. Для импульсных режимов нагрева были выбраны следующие параметры [1]:

- длительность импульсов – 120, 240, 480 мс;
- длительность паузы – 0,05, 0,25, 0,5 мс.

Для каждого из рассматриваемых режимов регистрировались осциллограммы тока с использованием осциллографа Tektronix TDS 3012 и токоизмерительного шунта. Их снимали через 15 с и 5 мин после полного погружения образца в электролит.

Зависимости средней плотности тока установившегося режима ЭПН от длительности паузы между импульсами, а также при ЭПН в стационарном режиме представлены на рис. 1.

Анализ полученных данных показывает, что при длительности импульса 120 мс в начальный момент импульсного ЭПН (через 15 с после полного погружения образца в электролит) плотность тока возрастает на 10 %...15 % по сравнению со стационарным режимом. Увеличение длительности импульсов до 240 мс несколько снижает эту разницу – плотность тока возрастает на 4 %...9 % по сравнению со стационарным режимом.

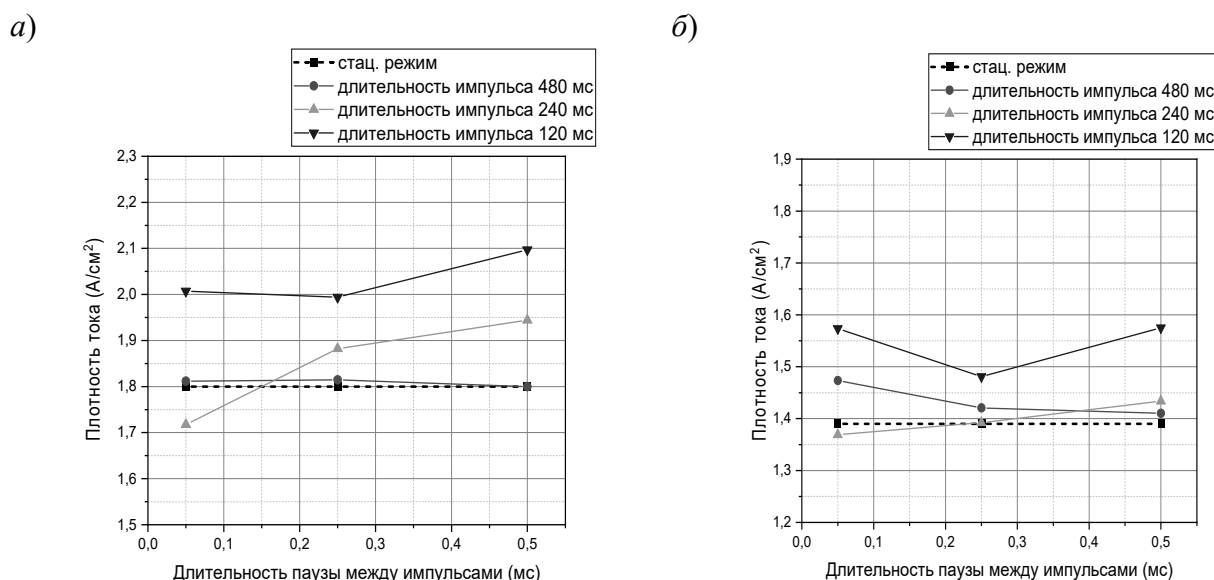


Рис. 1. Величина плотности тока установившегося режима ЭПН при импульсном и стационарном режимах обработки, зафиксированная через 15 с (а) и 5 мин (б) после полного погружения образца в электролит

При увеличении длительности импульса до 480 мс плотность тока практически не зависит от длительности паузы и близка к значениям, характерным для стационарного ЭПН (рост плотности тока составляет 1 %...2 %). Схожая картина наблюдается и в установившемся режиме через 5 мин после начала обработки: при длительности импульса 240 и 480 мс плотность тока вырастает на 2 %...7 % по сравнению со стационарным режимом, тогда как при 120 мс она превышает её на 7 %...15 %. Следует также отметить, что с увеличением времени обработки наблюдается снижение среднего значения плотности тока. При ЭПН в стационарном режиме плотность тока через 5 мин обработки уменьшалась примерно на 22 % по сравнению со значением, зарегистрированным через 15 с после начала процесса. В импульсных режимах обработки снижение плотности тока составляло 19 %...26 %.

Таким образом, применение ЭПН в импульсных режимах позволяет, в зависимости от выбранных параметров, повысить среднюю плотность тока до 15 % по сравнению со стационарным режимом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асташинский, В. М. Влияние импульсных режимов электролитно-плазменной обработки на равномерность нагрева титана ВТ1 / В. М. Асташинский, А. И. Иванов, А. Ю. Королёв // Молодежь в науке. – 2024. – С. 303–306.

УДК 621.923.7

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ
НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ НИТИНОЛАА. Ю. КОРОЛЁВ, В. С. НИСС, А. И. ИВАНОВ
Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»
Минск, Беларусь

Благодаря сочетанию таких характеристик, как память формы, сверхупругость, высокая коррозионная стойкость, нитинол относится к приоритетным металлическим биоматериалам для применения в медицине. Важнейшим направлением является его использование для изготовления ответственных изделий для малоинвазивной эндоваскулярной хирургии, в том числе предназначенных для восстановления проходимости кровеносных сосудов. Высокая упругость и эффект памяти формы позволяют эффективно применять нитинол при производстве стентов – каркасов сосудистых стенок. Изделия из нитинола получают, как правило, лазерной резкой или плетением из проволоки. Для финишной обработки нитинола перспективным является метод электролитно-плазменной обработки (ЭПО), обеспечивающий удаление дефектного слоя, полирование поверхности и скругление кромок. Метод характеризуется высокой эффективностью, безопасностью за счет использования в качестве рабочей среды слабоконцентрированных (3 %...5 %) водных растворов электролитов. В данной работе представлены результаты исследования влияния ЭПО на коррозионную стойкость поверхности нитинола.

Для исследования использовались образцы в виде продольных элементов шлифованной трубы диаметром 12 мм с толщиной стенки 0,5 мм, вырезанных методом лазерной резки. Длина образцов составляла 22 мм. Наружная дуга кольцевого сегмента имела длину 11 мм (угол сегмента – 105°). В качестве электролита использовался водный раствор, основным компонентом которого являлся фторид аммония. Концентрация фторида аммония изменялась в диапазоне 3 %...6 % с шагом 1 %. Температура электролита варьировалась в диапазоне 75 °С...95 °С с шагом 5 °С. ЭПО выполнялась при значениях напряжения 260, 280, 300, 320 и 340 В с продолжительностью 5 мин.

По результатам потенциодинамических испытаний установлено, что ЭПО приводит к значительному повышению защитных свойств формируемой на нитиноле поверхности. При этом из всех исследованных параметров ЭПО только напряжение оказывает влияние на значение показателей коррозионной стойкости исследуемых образцов. На рис. 1 представлены поляризационные кривые образцов, обработанных с продолжительностью 5 мин при различных напряжениях, а в табл. 1 – установленные значения потенциала коррозии $E_{корр}$, плотности тока коррозии $i_{корр}$ и потенциала питтингообразования $E_{питт}$. Потенциал коррозии образцов, независимо от напряжения обработки, смещается в сторону положительных значений, что свидетельствует об улучшении защитных свойств поверхности и снижении ее коррозионной активности. Обработка при низких значениях напряжения приводит к незначительному снижению плотности тока

коррозии $i_{корр}$ относительно исходного состояния: величина $i_{корр}$ уменьшается с 0,524 мкА/см² для исходного образца до 0,380 и 0,331 А/см² для образцов, обработанных соответственно при 260 и 280 В.

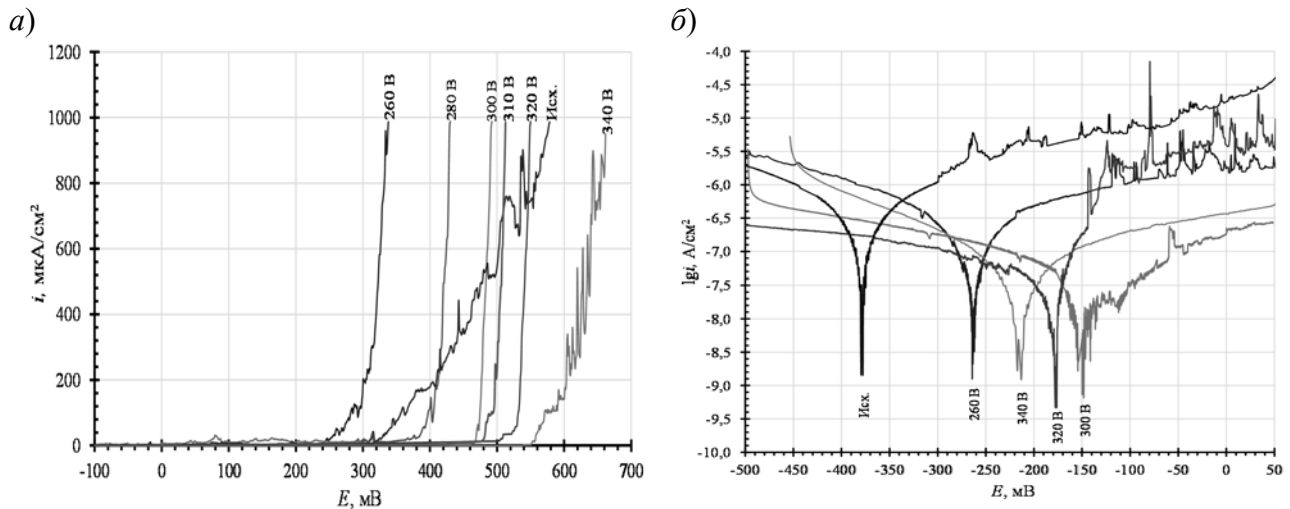


Рис. 1. Поляризационные кривые образцов, обработанных при различных значениях напряжения: *а* – в координатах $E-i$; *б* – в координатах $E-lgi$

Табл. 1. Значения потенциала коррозии $E_{корр}$, плотности тока коррозии $i_{корр}$ и потенциала питтингообразования $E_{питтм}$ в зависимости от напряжения обработки U

U , В	$E_{корр.}$, мВ	$i_{корр.}$, мкА/см ²	$E_{питтм.}$, мВ
Исходное (без обработки)	-377	0,524	313
260	-264	0,380	248
280	-231	0,331	358
300	-152	0,078	465
320	-178	0,064	504
340	-214	0,074	550

В результате повышения напряжения до 300...340 В происходит резкое снижение плотности тока коррозии – в среднем в 7,5 раза по сравнению с исходным состоянием. При этом полученные значения $i_{корр}$ находятся в узкой области (0,064...0,078 мкА/см²). Обработка при напряжении 260 В приводит к снижению потенциала питтингообразования с 313 (в исходном состоянии) до 248 мВ. В диапазоне 280...340 В с увеличением напряжения повышается потенциал питтингообразования и при 340 В достигает значения $E_{питтм} = 550$ мВ.

УДК 621.9

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ПАР ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ
С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ ИЗНОСА ИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Т. А. МОРГАЛЕНКО

Брянский государственный технический университет

Брянск, Россия

Предлагаемый комбинированный метод обработки заключается в формировании на поверхностях трения деталей машин твердых покрытий на основе нитридов с последующей финишной обработкой методом поверхностно-пластического деформирования (ППД). Основная задача технологического процесса – создание таких условий предварительной обработки, которые обеспечивают параметры качества поверхности, необходимые для получения добротного твердого покрытия. Критериями качества здесь выступают целостность слоя (отсутствие трещин и шелушения), а также высокая прочность сцепления с основным материалом детали.

Учитывая незначительную толщину покрытий, наносимых методом катодно-ионной бомбардировки (КИБ) в вакууме, последующая механическая обработка должна производиться без снятия металла. Поэтому при подготовке поверхности под покрытие технологю необходимо обеспечить высокую точность, используя чистовые и финишные методы. Для деталей с высокой твердостью наиболее эффективными являются тонкое точение инструментами из сверхтвердых синтетических материалов и круглое шлифование периферией круга. Эти способы позволяют достичь нужной точности при сохранении производительности. Однако если металлопокрытие наносится на предварительно выглаженную поверхность, эксплуатационные свойства деталей возрастают еще значительно благодаря эффекту технологического наследования. Следовательно, перед нанесением твердого покрытия рационально выполнить алмазное выглаживание, которое обеспечивает шероховатость $Ra\ 0,16...0,3\ \mu\text{м}$, что создает оптимальные условия для формирования качественного слоя в соответствии с требованиями спецтехнологии.

В ходе экспериментальной работы объектами исследования служили образцы из стали 45, подвергнутые закалке до твердости HRC 48...50. Обработка наружной поверхности образцов велась поэтапно: сначала тонкое точение эльбором (или круглое шлифование) до параметра $Ra\ 0,4...0,6\ \mu\text{м}$, затем алмазное выглаживание до $Ra\ 0,16...0,3\ \mu\text{м}$ и, наконец, нанесение покрытия (нитрид титана). Из числа рабочих переменных контролировались материал покрытия и исходное состояние поверхности, остальные параметры поддерживались на уровне, гарантирующем получение качественного слоя.

Предварительные испытания показали, что наибольшей стабильностью по заданным характеристикам обладают покрытия толщиной от 2 до 6 мкм. При толщине свыше 10 мкм слой становится нестабильным: наблюдается растрескивание покрытия на поверхности детали. Измерение толщины проводилось методом естественной базы с помощью профилографирования

исходной поверхности и поверхности с нанесенным слоем. В итоге толщина покрытия на различных образцах варьировалась в пределах 2,0...3,5 мкм.

Контртела, выполнявшие роль вкладышей, изготавливались из бронзы марки ОЦС 5-5-5 и стали Х12М, закаленной до HRC 62. Их рабочие поверхности обрабатывались тонким точением до шероховатости Ra 0,2...0,3 мкм. Выбор материалов обусловлен целью оценить влияние предлагаемой технологии обработки образца на его истирающую способность при контакте с вкладышами разной твердости. Интенсивность износа фиксировалась методом профилографирования.

В результате экспериментов установлено, что для эффективного применения твердых нитридсодержащих покрытий, сформированных методом ионного осаждения в вакууме, в парах трения скольжения необходима их дополнительная обработка. Она снижает истирающую способность поверхности. Чтобы повысить износостойкость сопряжения, вал с твердым покрытием целесообразно подвергнуть алмазному выглаживанию. Эта операция значительно уменьшает максимальную высоту микронеровностей и увеличивает радиусы их вершин. Применение иных методов ППД нерационально из-за высокой твердости нитридсодержащих слоев.

Поскольку твердое покрытие представляет собой хрупкую оболочку толщиной 2...7 мкм, расположенную на упругопластическом основании, в ходе алмазного выглаживания возникает риск растрескивания или шелушения, что ведет к потере работоспособности поверхности. В связи с этим потребовалось определить верхний предел усилия выглаживания, за которым начинается разрушение слоя. Исследования проводились путем обработки образцов с последующей электронной микроскопией для выявления микротрещин. Покрытие из нитрида титана наносилось на цилиндрические поверхности и обрабатывалось алмазным выглаживанием с различными усилиями, что позволило исключить влияние возможных отклонений в технологии нанесения.

Экспериментально было найдено оптимальное значение усилия алмазного выглаживания твердых нитридсодержащих покрытий, при котором негативные явления на поверхности отсутствуют. Испытания пары трения с трибозлементом, прошедшим предлагаемую комбинированную обработку, показали высокую эффективность метода: за 100 ч изнашивания (что соответствует пути трения $3 \cdot 10^5$ м) износ вкладыша составил всего около 2 мкм, тогда как износ самой поверхности с твердым покрытием оказался пренебрежимо малым – менее 0,01 мкм.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что предлагаемый метод обработки пар трения скольжения, основанный на нанесении на подготовленную поверхность деталей твердого, содержащего нитрид покрытия с последующей обработкой алмазным выглаживанием, является весьма эффективным и способствует уменьшению износа их поверхностей в условиях дальнейшей эксплуатации.

УДК 621

ПОРОГОВАЯ МОДЕЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ ДЛЯ АНАЛИЗА
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
«ЧЕЛОВЕК – РОБОТ» В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ
ИНДУСТРИИ 5.0

В. OZDEMIR, В. М. ШЕМЕНКОВ, А. А. СТАЦЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В области современного машиностроительного производства вследствие цифровизации и автоматизации в настоящее время производительность производственных систем растёт чрезвычайно быстрыми темпами. Концепция Индустрии 4.0, сформированная на основе внедрения киберфизических систем, интернета вещей и методов принятия решений, ориентированных на производственные данные, на сегодняшний день обеспечила высокий уровень автоматизации производственных процессов; однако при таких условиях роль человеческого фактора, по всей видимости, оказывается минимизированной. Указанные недостатки учитываются в рамках концепции Индустрии 5.0, которая не отвергает технологии, ранее разработанные в Индустрии 4.0, а стремится к их дальнейшему развитию и переходу к более ориентированной на человека, устойчивой и кооперативной модели производства. Существенной особенностью Индустрии 5.0 является человеко-роботное взаимодействие вместо полностью автономных производственных систем.

В данной работе рассматривается проблема оценки влияния человеческого фактора на эффективность производственных систем, реализующих принципы Индустрии 5.0. Целью исследования является анализ взаимосвязи между рабочей нагрузкой, уровнем человеческой усталости и производительностью системы в условиях человеко-роботного взаимодействия на основе упрощённой математической модели и численного моделирования. В работе влияние человеческой усталости на производственную эффективность исследовалось аналитически, а результаты моделирования были представлены в графическом виде. Это позволило визуализировать особенности изменения производительности при наступлении определенных критических значений нагрузки.

Математическая модель

В рамках реализации концепции Индустрии 5.0 в работе используется пороговая модель, описывающая влияние рабочей нагрузки на утомляемость человека и производительность системы «человек – робот». Предполагается, что уровень утомляемости возрастает с увеличением рабочей нагрузки и при достижении критического значения приводит к снижению эффективности производственного процесса. До наступления критического порога производительность системы поддерживается за счёт роботизированной поддержки, тогда как при его превышении наблюдается зона потери производительности. Модель основана на предположении о монотонном росте утомляемости и учитывает

положительный вклад роботизированных систем в рамках человеко-ориентированного подхода Индустрии 5.0.

Программная реализация модели

Программная реализация предложенной модели выполнена с использованием языка Python и стандартных библиотек численных расчётов и визуализации. В рамках реализации рабочая нагрузка задаётся в виде дискретного диапазона значений, для каждого из которых автоматически вычисляется уровень утомляемости человека и соответствующий показатель производительности системы «человек – робот». Алгоритм учитывает наличие критического порога утомляемости и автоматически переключает режим расчёта производительности при его превышении. Результаты численного моделирования представляются в графической форме, что позволяет наглядно проанализировать взаимосвязь между рабочей нагрузкой, утомляемостью человека и производительностью системы в условиях реализации концепции Индустрии 5.0.

На рис. 1, полученном в результате численной реализации разработанной модели, показано, что с увеличением рабочей нагрузки уровень утомляемости человека монотонно возрастает, а при превышении критического порога наблюдается заметное снижение производительности системы «человек – робот».



Рис. 1. Анализ взаимосвязи рабочей нагрузки, усталости и производительности в человеко-роботной системе Индустрии 5.0

В данной работе на основе упрощённой математической модели и численного моделирования в рамках концепции Индустрии 5.0 рассматривается взаимосвязь между рабочей нагрузкой, утомляемостью человека и производительностью человеко-роботных производственных систем. Полученные результаты показывают, что человеческий фактор остаётся важным при моделировании и эксплуатации таких систем, а предложенный подход может использоваться как инструмент предварительного анализа и поддержки принятия решений при проектировании гетерогенных человеко-центрированных производственных объектов.

УДК 621: 004.77

СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ АНАЛИЗА КОЛЛИЗИЙ
КОЛЛАБОРАТИВНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВВ. М. ПАШКЕВИЧ, С. П. ШИШОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Одной из типовых задач робототехники является построение оптимальной траектории движения промышленного робота, связанной с перемещением манипулятора между начальной и конечной точками с обходом препятствий по критерию минимизации времени перемещения. Однако базовые системы часто не учитывают статические и динамические препятствия, а существующие перспективные исследования, как правило, рассматривают построение траектории в трёхмерном пространстве без учёта требуемой ориентации инструмента на всем множестве точек траектории.

Таким образом, актуальной задачей является разработка системы построения оптимальной траектории для промышленных и коллаборативных роботов, функционирующей как в декартовом пространстве, так и в пространстве звеньев манипулятора и учитывающей требования не только к положению, но и к ориентации инструмента. В качестве инструментария такой системы может выступать цифровой двойник робота-манипулятора и его рабочей зоны, учитывающий кинематические и массогабаритные параметры, а также модель анализа робота, его оснастки и окружения.

При этом для создания адекватного двойника недостаточно использовать только представление Денавита – Хартенберга [1], описывающее вращающиеся звенья, т. к. необходимо также моделировать и звенья, не добавляющие степеней свободы.

В свою очередь, расширенные параметры можно получить, вычислив матрицы

$$T_{23} = T_3 \cdot T_{RY};$$

$$T_{34} = T_4 \cdot T_{RY},$$

где T_{23} , T_{34} – матрицы преобразования для невращающихся звеньев робота; T_3 , T_4 – матрицы преобразования для третьего и четвертого вращающихся звеньев робота; T_{RY} – матрица преобразования, описывающая вращение вокруг оси Y на угол 90° .

Тогда модель анализа коллизий, построенная на основе цилиндров, заключающих в себя все звенья робота, становится полной и приобретает вид, представленный на рис. 1.

Представленная модель разработана в среде Matlab, прошла численную верификацию в виртуальном 6-мерном пространстве, продемонстрировала возможность создания с ее помощью траекторий без технологических коллизий при перемещении робота-манипулятора ТМ12.

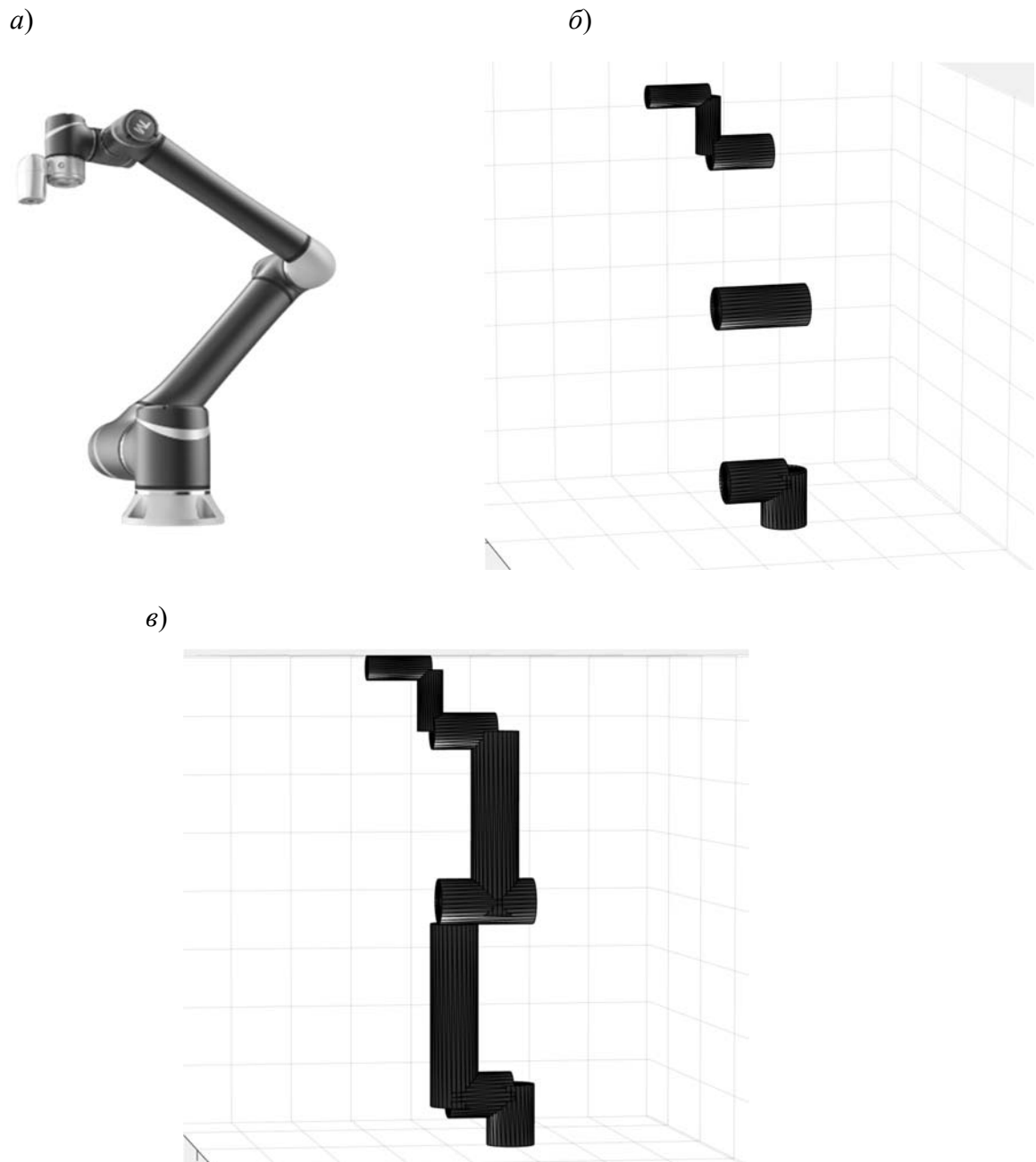


Рис. 1. Робот TM12 и его модель на основе расширенного представления Денавита – Хартенберга: *а* – коллаборативный робот TM12; *б* – модель анализа коллизий робота TM12, составленная только для вращающихся звеньев; *в* – дополненная модель анализа коллизий

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иванов, А. А.** Основы робототехники : учеб. пособие / А. А. Иванов. – М. : ИНФРА-М, 2021. – 223 с.

УДК 62-932.4

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ
С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕДЕЛОВ

Е. А. ПОЛЬСКИЙ, П. В. СКАЧКОВ, М. В. ШВЫРЯЕВ, Д. С. БОХАН

Брянский государственный технический университет
Брянск, Россия

В настоящее время вопрос обеспечения отдельных показателей надежности соединений рассматривается как с точки зрения последовательного проектирования с анализом условий эксплуатации и назначением параметров точности и качества поверхностей, так и одноступенчато, когда на этапе проектирования изделий закладываются технологические методы формирования требуемых эксплуатационных свойств функциональных поверхностей [1, 2, 4].

Для ответственных узлов достаточно часто заложены дополнительные эксплуатационные характеристики, связанные с повышением эксплуатационной технологичности. Для таких изделий характерно наличие в процессе изготовления нескольких технологических переделов. Само понятие «технологический передел» было введено как обозначение минимального набора составляющих его технологических действий в виде законченного этапа как обработки, так и вспомогательных действий. В частности, для узла ходовой части трансмиссии характерно минимум три технологических передела – механическая обработка отдельных деталей, предварительная сборка узла с контролем точности выходного звена сборочной размерной цепи, обкатка узла с контролем акустических и вибрационных показателей. С учетом этого формирование обоснованных рекомендаций по конструкторско-технологическому обеспечению показателей надежности таких узлов является достаточно актуальной научно-практической задачей.

Общей концепцией такого подхода является проектирование технологических операций механической обработки, термической обработки, сборки и испытаний с представлением влияния каждого технологического передела на исполнительные и настроечные размеры сопрягаемых деталей с учетом их влияния на отдельные эксплуатационные свойства (контактная жесткость, износостойкость). При этом предполагается разработка рекомендаций анализа выбора материала и параметров качества поверхностей сопрягаемых деталей с учетом этапов промежуточной сборки подузла и его обкатки с оптимизацией по критерию снижения технологического передела.

Детали дифференциала изготавливают из сталей 30ХГТ, 08кп. Их рабочие поверхности имеют твердость от HB 255...285 до HRC 53...59 и шероховатость поверхности от $R_z = 80$ мкм до $R_a = 1,6$ мкм. На рис. 1 представлены детали, прошедшие три технологических передела. Можно отметить, что к этапу окончательной сборки выявлены значительные изменения, связанные с влиянием контактной деформации и предварительной приработки.

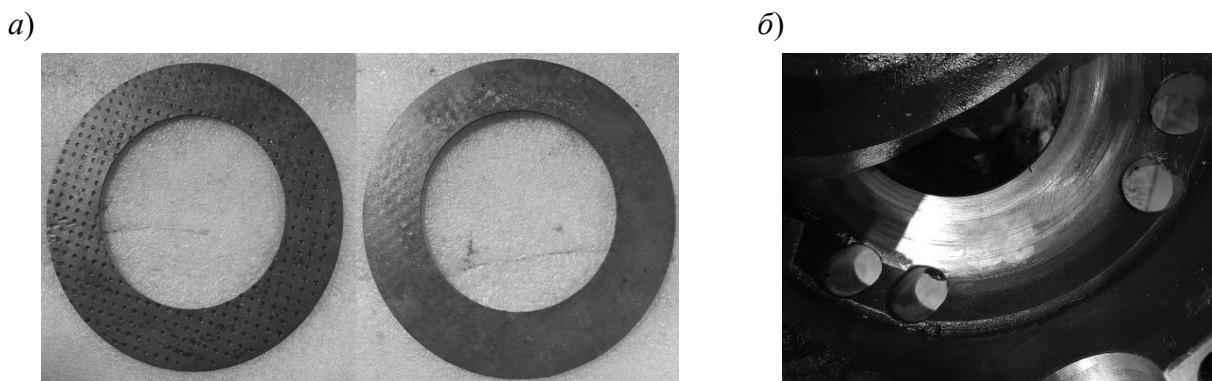


Рис. 1. Сопрягаемые детали после технологических переделов: *а* – предварительная сборка и обкатка; *б* – обкатка с подбором контактирующей детали по критерию вибрационной нагруженности

Для получения экспериментальных зависимостей взаимного влияния нескольких эксплуатационных параметров от показателей точности и качества поверхностей сопрягаемых деталей проведены испытания как натурных образцов (см. рис. 1), так и экспериментальных образцов.

На основе обработки экспериментальных данных представлены расчеты по корректировке верхних и нижних отклонений размеров сопрягаемых деталей, обеспечивающих выполнение условий собираемости узла и показателей надежности (долговечность).

Разрабатываемый подход при реализации этапов разработки и производства изделий, с учетом влияния технологических переделов, предполагает нормирование механических свойств материалов, параметров точности и качества функциональных поверхностей сборочных деталей с помощью элементов разрабатываемых технологических процессов изготовления и сборки [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Суслов, А. Г.** Научноёмкая технология повышения качества сборочных единиц машин на этапах жизненного цикла / А. Г. Суслов, О. Н. Федонин, Е. А. Польский // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2016. – № 5 (59). – С. 34–41.
2. **Польский, Е. А.** Технологическое обеспечение качества сборочных единиц на этапах жизненного цикла на основе анализа размерных связей с учётом эксплуатации / Е. А. Польский, Д. М. Филькин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2014. – № 3. – С. 8–19.
3. **Польский, Е. А.** Повышение надёжности изделий машиностроения за счёт совершенствования точностного анализа размерных цепей / Е. А. Польский, С. В. Сорокин // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2022. – № 6 (132). – С. 38–48.
4. **Scherngell, H.** Generation, development and degradation of the intrinsic two-way shape memory effect in different alloy systems / H. Scherngell, A. C. Kneissl // Acta mater. – 2002. – Vol. 50, № 2. – P. 327–341.

УДК.621.74.047

УСТАНОВКА ПО ОБРАБОТКЕ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ НАПРАВЛЕННОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ

В. Б. ПОПОВ, К. В. КУРАКОЛОВ, Д. Д. ЛЕПЕШКИН

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Характерной особенностью метода непрерывно-циклического литья направленным затвердеванием является неравномерность толщины стенки отливки по высоте, что связано с особенностями ее формирования. Особенно неравномерность проявляется при литье толстостенных отливок, когда толщина отливки по отношению к ее наружному диаметру составляет 25 %...30 %. Время формирования отливки, например, диаметром 100 мм составляет 60...70 с. При таком времени разностенность может достигать 7 мм.

Одним из методов решения проблемы получения отливок с минимальной разностенностью по высоте является обработка внутренней поверхности отливок в горячем состоянии. Такая обработка возможна при наличии двухфазной зоны затвердевания. В этом случае внутренняя поверхность отливки состоит из затвердевшей и жидкой фаз. Срезание части этих участков отливки с применением специального инструмента позволяет улучшить геометрию получаемых заготовок. Следует отметить, что подобная обработка возможна только в первые секунды после извлечения отливки из кристаллизатора.

Для реализации данного процесса была разработана установка по «прошивке» отливок. За базу были взяты заготовки червячных колес диаметром 104 мм и высотой 150 мм. Установка представляет собой раму с установленными на ней вертикально пневмоцилиндром диаметром 300 мм, на штоке которого закреплен режущий инструмент, и горизонтально механизмом зажима отливки, выполненным также с применением пневмоцилиндра диаметром 50 мм.

Установка работает в полуавтоматическом режиме. Отливка после извлечения ее из кристаллизатора подается в механизм зажима, который фиксирует отливку по команде оператора. После срабатывания зажима режущий инструмент подается внутрь отливки и после прохождения по всей высоте сразу же извлекается из нее. После этого происходит разжим и отливка подается в зону вторичного охлаждения. Общее время цикла обработки не превышает 1,2...1,5 с.

Таким образом, после обработки внутренней поверхности разностенность уменьшается до 1 мм по высоте и диаметру.

УДК 621.91.02

К ВОПРОСУ О ПОДХОДЕ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФРЕЗЫ С РЕШЕТЧАТЫМИ СТРУКТУРАМИ

Н. Н. ПОПОК, С. А. ПОРТЯНКО, Д. А. ШЕЛЕПЕНЬ

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой
Новополоцк, Беларусь

Современные процессы фрезерования характеризуются высокими динамическими нагрузками, обусловленными периодическим изменением сил резания, неравномерным входом режущих кромок в заготовку и колебаниями жесткости системы «станок – приспособление – инструмент – деталь». В соответствии с классическими соотношениями механики вращательного движения увеличение массы и удаленность материала от оси вращения приводят к росту момента инерции. Для оценки динамических характеристик инструмента применяются основные соотношения механики [1]. Расчет момента инерции J и кинетической энергии $W_{кин}$ вращения производится по формулам

$$J = \sum_i m_i r_i^2; \quad (1)$$

$$W_{кин} = \frac{J \omega^2}{2}, \quad (2)$$

где m_i – масса элемента, кг; r_i – его расстояние от оси вращения, м; ω – угловая скорость, рад/с.

Это объясняет, почему тяжелые и неуравновешенные фрезы большого диаметра склонны вызывать повышенные вибрации, износ узлов станка и ухудшение качества обработанной поверхности.

Одним из перспективных путей снижения массы фрезы при сохранении её несущей способности является применение решетчатых структур во внутреннем объеме корпуса (рис. 1).

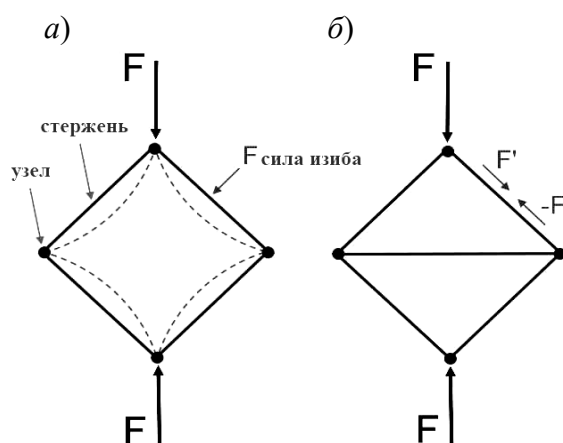


Рис. 1. Морфология структуры: с преобладанием изгиба (а), прочности (б)

Такие структуры представляют собой пространственные каркасы из системы стержней, механические свойства которых определяются материалом, топологией ячеек, числом стержней в узле и их ориентацией относительно действующих нагрузок. Для количественной оценки несущей способности и механического поведения решеток может быть использован расширенный критерий Максвелла, предложенный в [1] для трехмерных стержневых систем. Согласно этому критерию, для устойчивости к сложному нагружению, характерному при фрезеровании, в каждом узле решетки должно сходиться от 6 до 12 стержней на узел:

$$b - 3j + 6 = s - m, \quad (3)$$

где b – количество стержней в структуре; j – количество узлов с идеальными соединениями; s – количество состояний самонапряжения; m – количество степеней свободы.

Эти условия позволяют формировать топологии с высокой удельной жесткостью без избыточного увеличения массы, что является важным при проектировании вращающихся режущих инструментов.

Среди топологий при металлическом аддитивном производстве трехмерных решеток перспективной для применения в корпусах фрез является ВСС-топология, обладающая восьмью стержнями в узле. На данный момент применение таких структур эффективно реализуется в первую очередь с использованием технологий SLM и DMLS.

Снижение массы фрезы за счет применения решетчатого заполнения приводит к уменьшению момента инерции и, как следствие, снижению динамических нагрузок на шпиндель и элементы станка. Экспериментальные исследования показывают [1, 2], что пустотелые решетчатые структуры могут демонстрировать медленное затухание колебаний по сравнению со сплошными телами.

Таким образом, проектирование фрезы с решетчатыми структурами должно рассматриваться как комплексная задача, в которой критерии динамики вращения согласуются с топологическими условиями прочности и жесткости. Совмещение этих подходов с возможностями металлического аддитивного производства позволяет создавать конструкции фрез, обладающих пониженным моментом инерции и повышенной динамической устойчивостью при резании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Hanzl, P.** Benefits of a New Approach to Designing Milling Cutter Using Metal Additive Manufacturing / P. Hanzl, I. Zetková // Manufacturing Technology. – 2019. – Vol. 19, № 3. – P. 385–390.
2. Design and analysis of strut-based lattice structures for vibration isolation / W. P. Syam, Wu Jianwei, Bo Zhao [et al.] // Precision Engineering. – 2018. – Vol. 52. – P. 494–506.

УДК 621.78

УПРОЧНЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ С ПОЛЫМ КАТОДОМ

М. А. РАБЫКО, А. Н. ЮМАНОВА, О. Е. ПЕЧКОВСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Повышение эксплуатационных характеристик инструментальной технологической оснастки обеспечивает рост производительности труда, экономию дорогостоящих и дефицитных сталей, энергетических и трудовых ресурсов, определяющих себестоимость выпускаемой продукции. Повышение эксплуатационной долговечности инструментальных сталей достигается за счёт применения ряда технологических подходов, ориентированных на модификацию их структурно-механических характеристик. В современной инженерной практике широкое распространение получили методы поверхностного упрочнения, включающие термическую, термомеханическую и химико-термическую обработку, а также физико-химические и электрохимические технологии. Однако традиционные методики сопряжены с рядом существенных ограничений: необходимостью использования сложного и дорогостоящего оборудования, специализированных систем создания давления, нагрева и охлаждения. К числу типичных технологических осложнений относятся окисление и обезуглероживание поверхностного слоя, приводящие к образованию окалины, возникновению трещин и росту хрупкости. Кроме того, обработка изделий крупногабаритных или сложноконфигурационных с использованием данных методов часто оказывается технически затруднительной или вовсе нереализуемой.

В качестве перспективной альтернативы для упрочнения инструментальной оснастки рассматривается технология, основанная на использовании тлеющего разряда, генерируемого в остаточной газовой атмосфере, в сочетании с прикатодным магнитным полем. В рамках данного метода обрабатываемая деталь, выполняющая функцию катода, помещается в зону действия постоянного магнитного поля, что интенсифицирует формирование плазменной оболочки на её поверхности [1, 2].

Однако указанный метод имеет недостаточную производительность и не позволяет достичь максимальной энергоэффективности процесса упрочнения тлеющим разрядом для различных условий работы и материалов в зависимости от их удельного сопротивления.

Перед авторами стояла задача увеличения концентрации потока заряженных частиц, интенсивности процесса и уменьшения хаотичного движения заряженных частиц, что приведет к уменьшению времени обработки, за счет чего увеличится производительность и энергоэффективность процесса упрочнения.

Полый катод с источником формирования магнитного поля позволяет сформировать тлеющий разряд большей плотности с требуемыми электротехническими характеристиками. Возникновение магнитной индукции с заданной частотой приводит к изменению частоты горения тлеющего разряда, соответствующей частоте магнитного поля, что позволяет увеличить концентрацию

потока заряженных частиц, интенсивность процесса упрочнения. В результате происходит снижение хаотичности заряженных частиц и, как следствие, уменьшение времени обработки, за счет чего увеличивается производительность и энергоэффективность процесса.

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.

Детали машин и инструмент в процессе эксплуатации работают в сложных условиях, испытывая при этом износ трением, абразивный износ, механические и ударные нагрузки. В этой связи они должны обладать не только высокой прочностью и пластичностью, но и высоким сопротивлением трению и изнашиванию.

Указанный метод, по сравнению с известными, обладает следующими преимуществами: малой длительностью процесса структурно-фазового модифицирования рабочих слоёв инструмента (до 45 мин); возможностью обработки изделий сложной формы; сохранением конструктивных размеров, макрогеометрии инструмента вследствие низких средних температур обрабатываемого изделия (до 423 К); экологической безопасностью, обусловленной тем, что обработка осуществляется в среде остаточных атмосферных газов; использование эффекта полого катода, наряду с прикатодным магнитным полем, позволяет повысить эффективность процесса ионизации и концентрацию положительных ионов у поверхности катода. Это приводит к увеличению интенсивности ионной бомбардировки изделия и значительному росту скорости упрочнения при сокращении времени обработки.

С точки зрения практики производство инструментальной технологической оснастки с повышенными эксплуатационными характеристиками рабочих поверхностей является весьма актуальным, т. к. позволит значительно повысить их производственные ресурсы и, как следствие, их работоспособность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шеменков, В. М.** Структурно-фазовое модифицирование поверхностных слоев изделий из штамповых сталей обработкой тлеющим разрядом в магнитном поле / В. М. Шеменков, М. А. Рабыко // Современные проблемы машиностроения : сб. тр. XIV Междунар. науч.-техн. конф., Томск, 25–30 окт. 2021 г. – Томск : Нац. исслед. Том. политехн. ун-т, 2021. – С. 198–199.
2. **Рабыко, М. А.** Способ упрочнения деформирующих элементов штампов тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем / М. А. Рабыко, А. А. Каплунов, А. Ю. Зененков // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. материалов VIII Междунар. науч. конф. молодых учёных, Гродно, 30 мая 2024 г. – Гродно : Грод. гос. ун-т имени Янки Купалы, 2024. – С. 125–133.

УДК 66.071.5:532.529

ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОПЕРЕНОСА СНАРЯДНОГО РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ
НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ В МИКРОКАНАЛЕВ. В. РОМАНОВА¹, Р. Ш. АБИЕВ²¹Институт аналитического приборостроения РАН²Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)
Санкт-Петербург, Россия

В последние годы микрореакторные технологии активно применяются для интенсификации процессов тепло- и массопереноса в химической технологии за счёт малых характерных размеров каналов и высокой удельной поверхности контакта фаз. Особый интерес представляет экспериментальное исследование режимов течения в системе «жидкость – жидкость» в микроканалах с соосносферическим диспергатором, позволяющим формировать различные устойчивые режимы течения в широком диапазоне расходов фаз [1].

Целью данного экспериментального исследования являлось определение устойчивого формирования снарядного (тейлоровского) режима течения, при котором устанавливается закономерность между коэффициентами массопереноса k_L и k_{La} и гидродинамическими характеристиками потока, описываемыми числами Рейнольдса Re и капиллярным числом Ca . Перед проведением экспериментов обе жидкости модельной системы «н-бутанол – вода» предварительно насыщались друг другом с целью исключения влияния взаимной растворимости фаз на общий массоперенос при экстракции янтарной кислоты из дисперсной органической фазы (н-бутанола) в сплошную водную фазу в условиях устойчивого снарядного режима течения.

Эксперименты проводились в установке со стеклянным микроканалом диаметром 1,3 мм, в начале которого расположен соосносферический диспергатор, куда при помощи шприцевого насоса подавались жидкости через Т-образный блок с помощью трубок подвода фаз. Далее эмульсия поступала в сепаратор, где жидкости из-за разности плотностей разделялись. Концентрация янтарной кислоты определялась титрованием 0,1 М раствором NaOH в водной фазе. Режимы течения фиксировались с использованием цифровой камеры для последующей обработки изображений в программе КОМПАС-3D.

Экспериментально определены диапазоны объёмных расходов фаз 0,67...2,67 мл/мин, соответствующие устойчивому снарядному режиму течения. Число Рейнольдса, основанное на скорости капли U_D , находится в интервале 16...81, а капиллярное число – $1,2 \cdot 10^{-3}$... $6,4 \cdot 10^{-3}$.

В условиях устойчивого снарядного режима течения в микроканале внутри капель и жидкостных слагов формируются замкнутые циркуляционные течения, интенсивность которых может быть охарактеризована частотой циркуляции, определяемой по формуле

$$f_{circ} = \frac{U_{TP} - U_D / 2}{2L_S},$$

где U_{TP} – скорость двухфазного потока, м/с; U_D – скорость капли, м/с; L_S – длина снаряда (слага), м.

Экспериментально установлено, что коэффициенты массопередачи возрастают с увеличением частоты циркуляции f_{circ} (2...9 Гц), обусловленной вихрями Тейлора, в микроканале для системы «вода – янтарная кислота – н-бутанол». Полученные зависимости характеризуются высокой степенью корреляции с коэффициентами детерминации $R^2 = 0,8$ и $R^2 = 0,9$, что указывает на определяющую роль конвекции в общем процессе массопереноса при снарядном режиме течения. Анализ зависимостей k_L и $k_L a$ от капиллярного числа и числа Рейнольдса (рис. 1) показал, что увеличение значений этих критериев, в числитель которых входит скорость движения капель U_D , сопровождается увеличением интенсивности массопереноса.

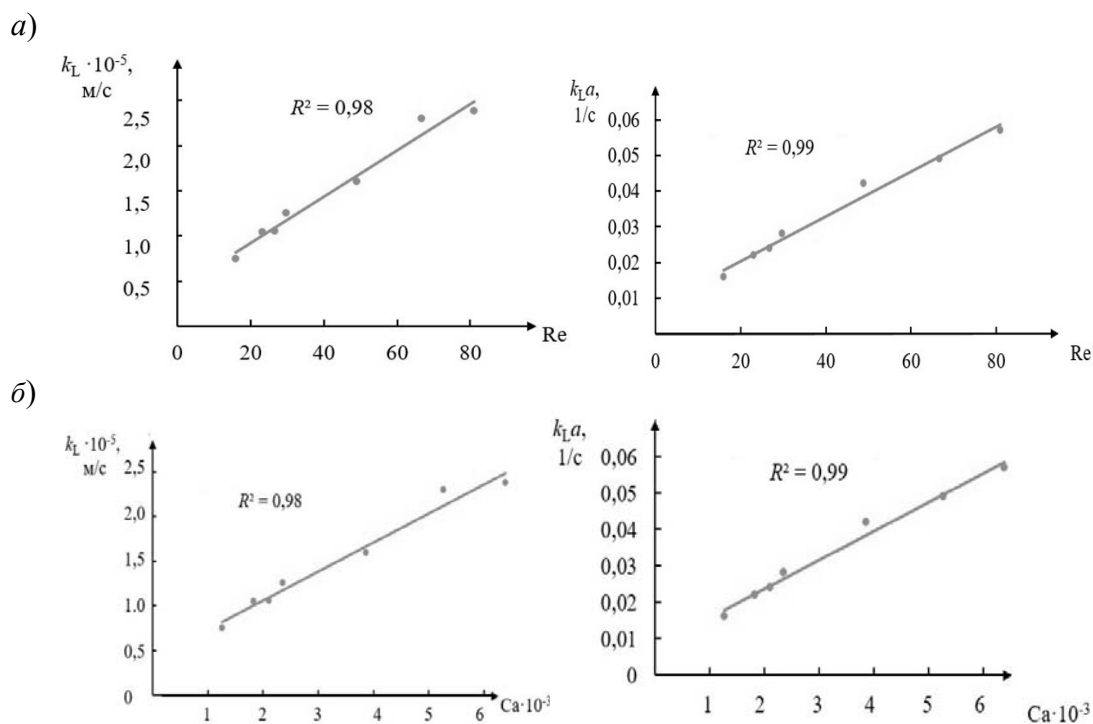


Рис. 1. Зависимости коэффициентов массопередачи $k_L a$ и k_L от Re (а) и Ca (б)

Полученные результаты имеют практическое значение при выборе режимов работы микрореакторов для систем «жидкость – жидкость», обеспечивая целенаправленное управление интенсивностью массопереноса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абиев, Р. Ш. Химические и биохимические реакторы для контролируемого синтеза органических и неорганических веществ (обзор) / Р. Ш. Абиев // Журнал прикладной химии. – 2022. – Т. 95, № 11–12. – С. 1339–1364.

УДК 621.787

АКТУАЛЬНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ
ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА
МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКИМ РАСКАТЫВАНИЕМ

Д. М. СВИРЕПА, Н. Д. СВИРЕПА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В машиностроении существует широкая номенклатура деталей, имеющих отверстия, к качеству поверхности которых предъявляются высокие требования. К числу таких деталей относятся гильзы, цилиндры, втулки и т. д., которые часто изготавливаются из высокопрочного чугуна. Качество этих деталей во многом определяется состоянием их поверхностного слоя, непосредственно участвующего в работе и формируемого на финишных операциях технологического процесса. Окончательная обработка высокопрочного чугуна сопряжена с рядом особенностей. В связи с низкой пластичностью известные методы поверхностного пластического деформирования находят ограниченное применение.

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

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

Для более широкого использования технологии магнитно-динамического раскатывания на предприятиях при обработке высокопрочного чугуна важно иметь обоснованные рекомендации по выбору рациональных режимов модифицирующей обработки. В связи с этим необходимо выполнить исследования, позволяющие оценить влияние основных технологических и конструктивных параметров процесса раскатывания на качественные характеристики модифицируемой поверхности.

В этой связи является актуальной разработка инновационной технологии поверхностной модификации внутренних цилиндрических поверхностей деталей из высокопрочного чугуна магнитно-динамическим раскатыванием.

УДК 004.414

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫБОРА ВИДА И РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

С. В. СОРОКИН, Ю. В. ШЕСТЕРОВ, Д. В. РЯБОК
Брянский государственный технический университет
Брянск, Россия

Эксплуатационные свойства рабочих поверхностей деталей машин определяются рядом факторов, одним из которых, согласно предложенной модели трибологической системы [1, 2], является подсистема трения и изнашивания. Среди переменных, описывающих функционирование узла трения, особое место занимают показатели комплексного параметра, зависящего от механических свойств материала контактирующих деталей. Наибольшее значение играют твердость и микроструктура поверхностного слоя.

Автоматизация поддержки принятия решений при выполнении этапов конструкторско-технологической подготовки производства остается актуальной задачей в настоящее время и приобретает особое значение в связи с необходимостью анализа и обработки больших массивов данных [3].

В ходе работы была спроектирована автоматизированная система выбора вида и режимов термической, термомеханической и химико-термической обработки стальных заготовок (рис. 1).

Деталь	Наконечник горелки
Обозначение	486.111.08
Материал	Сталь 45 (диаметр до 30 мм)
Вид термической обработки	Закалка+низкотемпературный отпуск
Режимная часть	
Температура закаливании, t	830
Среда закаливании	Вода
Температура отпуска, t	250
Среда отпуска	Воздух
Твёрдость по Бринеллю, HB	611-632
Твёрдость по Роквеллу, HRC	60-62
Твёрдость по Викерсу, HV	773-832
Структура	Мартенсит отпуска

Сформировать отчёт Выход

Рис. 1. Рабочее окно автоматизированной системы

Разработанные алгоритмы и спроектированный программный модуль на основе анализа применяемого материала и требуемых параметров твердости поверхностного слоя, микроструктуры рабочих поверхностей рекомендуют вид термообработки, температурные режимы закалки и отпуска, вид охлаждающей среды.

База данных автоматизированной системы содержит десятки обрабатываемых материалов заготовок, рекомендует к применению методы термической, термомеханической и химико-термической обработки, как объемной, так и в поверхностном слое деталей. В зависимости от требований чертежа и условий эксплуатации узла трения система представляет данные по твердости поверхности по трем шкалам (по Бринеллю, HB; по Роквеллу, HRC; по Виккерсу, HV).

Графический модуль автоматизированной системы представляет графики нагрева и охлаждения, а также содержит библиотеку микрошлифов для различных видов термической обработки. Система интегрирована в САПР-модуль подготовки технологической документации механической и термообработки.

В ходе выполнения представленной работы была создана автоматизированная система выбора режимов термической, термомеханической и химико-термической обработки стальных заготовок, которая позволяет сократить время проектирования технологических процессов. САПР может найти применение на предприятиях, а также в учебном процессе студентов всех форм обучения и специальностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сорокин, С. В.** Модель изнашивания подвижных соединений, работающих в условиях смешанной смазки / С. В. Сорокин // Перспективные направления развития отделочно-упрочняющей обработки и виброволновых технологий : сб. тр. науч. семинара, Ростов-на-Дону, 28 февр. 2019 г. – Ростов н/Д : Дон. гос. техн. ун-т, 2019. – С. 136–139.
2. **Polsky, E. A.** Technological support of joint reliability indicators taking into account complex formation of surface quality metrics and physical and mechanical properties of functional surface materials / E. A. Polsky, S. V. Sorokin, V. M. Shemenkov // Journal of Physics : Conference Series, Divnomorskoe, 31 May 2021. – Divnomorskoe, 2021. – P. 052024.
3. **Польский, Е. А.** Автоматизация проектирования деталей, работающих в условиях трения скольжения, с применением интегрированных САПР / Е. А. Польский, С. В. Сорокин // Известия Орловского государственного технического университета. Серия : Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2007. – № 2. – С. 103–110.

УДК 621.9.012.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

А. М. ФЕДОРЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В [1] была показана целесообразность управления стойкостью режущего инструмента для операций, выполняемых на многоцелевых станках с ЧПУ. Целью данных исследований явилось обоснование необходимости управления стойкостью инструмента для токарных операций.

В качестве объекта исследований был принят типовой ступенчатый вал, выполненный из стали 40 и имеющий твердость 230...250 НВ.

Была спроектирована операция токарной обработки, включающая переходы черновой многопроходной и чистовой обработки.

Разработан программный модуль, увязывающий между собой расчет режимов резания и стойкость режущего инструмента для переходов чистового и чернового точения. С помощью данного модуля осуществлялся расчет количества режущего инструмента, необходимого для обработки партии заготовок. Основная концепция идеи заключалась в том, чтобы к обработке последней заготовки партии, варьируя режимы резания, обеспечить полное использование режущего инструмента по стойкости. Тем самым исключается недоиспользование режущего инструмента, повышение производительности операции за счет интенсификации режимов резания.

Была выполнена оценка сокращения времени операций для количества деталей в партии от 250 до 5000 шт. Установлено, что сокращение основного времени за счет полного использования ресурса режущего инструмента для токарной обработки может составлять в идеальном случае порядка 15 %. Установлено, что эффективность предлагаемого решения существенно зависит от объема партии обрабатываемых деталей и их технологических особенностей. Для рассматриваемой типовой детали наибольший экономический эффект достигается при объеме партии 650 шт., что характерно для мелкосерийного производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоренко, А. М. К вопросу выбора оптимальной стойкости инструмента в условиях многоцелевой многоинструментальной обработки / А. М. Федоренко // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2014. – С. 53–54.

УДК 621.762

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ
КЕРАМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ СУХИМ СМЕШИВАНИЕМА. С. ФЕДОСЕНКО, В. А. БЕЛЯКОВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Одним из способов увеличения срока службы деталей машин является нанесение на их поверхности твердых покрытий газотермическим напылением. Для этой цели широко используются композиционные порошки на основе оксида алюминия (Al_2O_3) и оксида титана (TiO_2). Основное их применение – упрочнение деталей, работающих в условиях постоянного интенсивного трения.

Как правило, для напыления используют механические смеси, однако смешивание порошков диоксида титана и оксида алюминия, для создания однородных композитов, сопряжено с определенными трудностями, обусловленными отличиями в характеристиках компонентов. Среди них стоит отметить разность насыпных плотностей, которые для TiO_2 составляют $0,7...1,2 \text{ г/см}^3$, для Al_2O_3 – $1,55...1,65 \text{ г/см}^3$, а также средний размер частиц: диоксид титана (рутил) – $0,3 \text{ мкм}$ при среднем размере частиц Al_2O_3 , равном 30 мкм . Оба порошка обладают высокой поверхностной энергией, при этом диоксид титана склонен к агломерации (образованию комков). Все это существенно усложняет получение гомогенной композиции, пригодной для дальнейшего использования.

Целью проведенных исследований являлось определение эффективности механического метода смешивания порошков оксида алюминия (Al_2O_3) и оксида титана (TiO_2) в сухом состоянии.

При проведении экспериментов использовали нормальный электрокорунд марки F320 и оксид титана (рутил) марки SR-2400. Исследовали процесс получения композиционного порошка состава $87 \% \text{ Al}_2\text{O}_3 + 13 \% \text{ TiO}_2$.

Смешивание проводили с помощью сверлильного станка, оснащенного ступенчатой коробкой скоростей. Инструментом являлась насадка-венчик диаметром 100 мм . Процесс проводили в емкости из нержавеющей стали объемом 1000 мл с внутренним диаметром 108 мм . Частота вращения шпинделя изменялась в интервале $63...250 \text{ об/мин}$, время смешивания достигало 75 мин .

Установлено, что при частоте вращения шпинделя до 180 об/мин в обрабатываемом материале наблюдается образование значительного количества агломератов, состоящих из диоксида титана. Помимо этого, TiO_2 налипает на стенки емкости. Получаемые композиции имеют неоднородную структуру с включениями крупных агломератов диоксида титана, распределенных по всему объему порошка.

При частоте вращения более 180 об/мин наблюдается снижение количества и размеров агломератов диоксида титана. Наибольшая эффективность была достигнута при частоте вращения венчика 250 об/мин и длительности процесса 45 мин . Дальнейшее увеличение продолжительности обработки не оказывает заметного влияния на количество и размер агломератов рутила.

УДК 621.7

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКОЙ МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННОГО ПОРОШКА

А. С. ФЕДОСЕНКО, А. С. ОЛЕНЦЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Плазменная наплавка является одним из высокопроизводительных способов формирования поверхностных слоев и трехмерных объектов. Ее используют для восстановления и упрочнения деталей, создания на заготовках объемных элементов заданной геометрической формы, а также изготовления полноценных трехмерных изделий послойным синтезом. Одним из недостатков технологии, характерной и другим видам наплавки, является формирование грубой крупнозернистой микроструктуры, образование которой приводит к снижению механических свойств изделия. Перспективным путем улучшения микроструктуры является использование наплавляемых материалов, содержащих модификаторы. К ним можно отнести и порошки, синтезируемые способом реакционного механического легирования.

В ходе исследований была изучена микроструктура высоколегированной стали, полученной послойной наплавкой механически легированного порошка. Эксперименты проводили с использованием установки EuTronic GAP 2501 DC с горелкой GAP E150P. Плазмообразующий газ – аргон. Защитный газ – смесь $Ar + 10\% H_2$.

Изучение образцов наплавленного материала позволило установить, что для них характерно формирование микроструктуры, основу которой составляют крупные вытянутые зерна, средний размер которых в поперечном сечении достигает 45 мкм, а длина не менее 100 мкм. При этом размер зерен изменяется в пределах каждого наплавленного слоя. У основания они имеют минимальную величину, увеличиваясь постепенно с удалением. Периферическая область, непосредственно контактирующая с окружающей средой, как правило, мелкозернистая, что, очевидно, обусловлено ускоренной кристаллизацией в результате быстрого охлаждения. Общая микроструктура близка к микроструктуре сварных швов, а также многослойных материалов, получаемых дуговыми способами наплавки.

Сравнение образцов, полученных наплавкой механически легированных порошков (рис. 1, а), и серийно выпускаемого порошка марки 316L (рис. 1, б) показало, что в первом случае размер образующихся зерен в поперечном сечении существенно меньше по сравнению с наплавленным металлом из серийного порошка. Если для слоев из экспериментального материала размер кристаллов в поперечнике не превышает 45 мкм, то для слоев из серийного эта величина значительно превышает 100 мкм (см. рис. 1, б).

Исходя из полученных данных можно утверждать, что применение разра-

ботанных механически легированных порошков позволяет достичь положительного эффекта, заключающегося в формировании более мелкозернистой микроструктуры образцов по сравнению с микроструктурой образцов из серийных порошков.

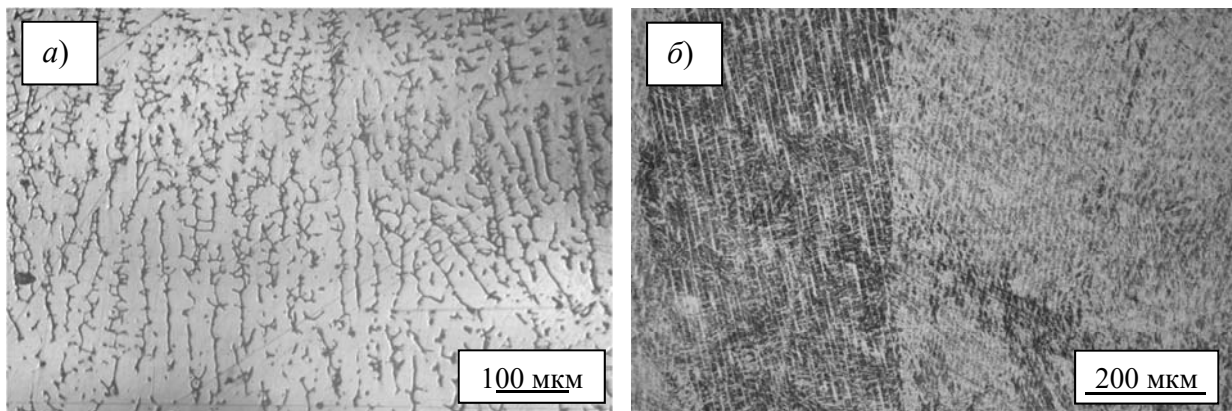


Рис. 1. Микроструктура металла, полученного плазменной наплавкой: *а* – механически легированный порошок; *б* – серийный порошок 316L

Однако размер зерна во всех случаях превышает размер зерна прокатной стали, что неизбежно в силу протекания процесса наплавки при значительном перегреве металла и медленном охлаждении, условиях, способствующих интенсивному росту зерен, а также образованию дендритной структуры.

Изучение микротвердости образцов после наплавки показало, что ее значение существенно превосходит твердость, характерную данному классу сталей, и достигает 350 HV. Длительный отжиг при температурах до 900 °C сопровождается ростом микротвердости, увеличивающейся до 400 HV, что свидетельствует о высокой жаропрочности материала. Микроструктура стали после отжига не претерпевает существенных изменений (рис. 2).

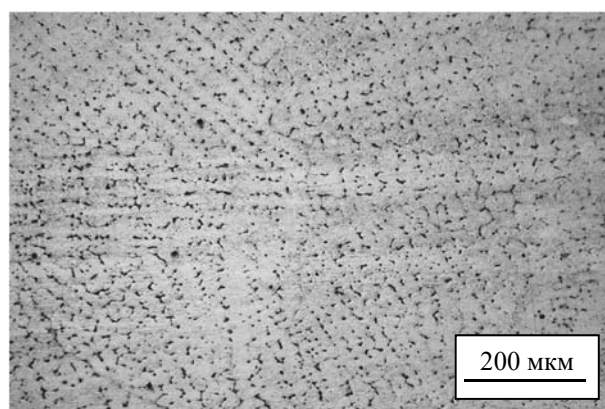


Рис. 2. Микроструктура стали 12X18H10, полученной наплавкой механически легированного порошка и отожженной при 900 °C

Таким образом, порошки, синтезируемые способом реакционного механического легирования, обладают выраженным модифицирующим эффектом, а материалы, полученные из них, высокой жаропрочностью.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕНОК КАМЕРЫ МЕХАНОРЕАКТОРА
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНТЕЗИРУЕМЫХ ПОРОШКОВА. С. ФЕДОСЕНКО¹, А. С. ОЛЕНЦЕВИЧ¹, Ю. В. СЕЛИВАНОВА²¹Белорусско-Российский университет²Могилевский государственный политехнический колледж

Могилев, Беларусь

Температура оказывает значительное влияние на пластичность, твердость, прочность металлов. С ее увеличением растет подвижность атомов кристаллической решетки, что, в общем, способствует снижению механических свойств. На основании этого было выдвинуто предположение, что данный фактор должен влиять на формирование микроструктуры, морфологию, а также свойства порошков, синтезируемых способом реакционного механического легирования.

В ходе экспериментов была изучена корреляция между температурой стенок рабочей камеры механореактора и характеристиками порошков высоколегированной коррозионно-стойкой стали, а также сплавов на основе системы «никель – алюминий». Нагрев камеры осуществляли водой, непрерывно циркулирующей между внешней стороной стенки помольной камеры и внутренней стороной стенки рубашки охлаждения. Температура изменялась в интервале 20 °С...95 °С. Заполнение камеры рабочими телами – 70 %, масса загрузки – 200 г.

В ходе экспериментов было установлено, что нагрев камеры сопровождается существенным ростом среднего размера частиц порошка. Наиболее заметный эффект наблюдается на базовых композициях, не содержащих легирующих добавок в виде оксидов. По склонности к увеличению среднего размера частиц с ростом температуры исследуемые композиции в порядке возрастания можно расположить в следующей последовательности: композиции, легированные оксидами, высоколегированные стали, никелевые сплавы. При этом стоит отметить, что механосинтез порошков высоколегированной стали при повышенных температурах, сопровождается заметным сокращением количества фракции с размером частиц менее 25 мкм.

На гранулометрический состав композиций, дополнительно легированных оксидами, увеличение температуры стенок механореактора также оказывает значительное положительное влияние. Морфология поверхности частиц с увеличением температуры не изменяется. Они сохраняют форму, близкую к правильной. Микроструктура однородная. Аналогично механосинтезу при стандартных условиях (температура стенок камеры – 20 °С) с увеличением длительности обработки при повышенных температурах наблюдается образование частиц с менее развитым рельефом поверхности.

УДК 621.914.1

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ СМЕЩЕНИЯ ОСИ ОТВЕРСТИЙ

О. Н. ШИШОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Одной из основных погрешностей, возникающих при обработке гладких отверстий, в том числе и относительно длинных ($l/d > 5...10$), является смещение их действительной оси от теоретической, рассмотренное в [1–3], где его прогнозирование и минимизация осуществлялись путем автоматизированных расчетов с ручным перебором основных факторов. К геометрическим факторам относятся: диаметральный зазор между сменной втулкой и сверлом S_1 ; вылет сверла за нижний торец кондукторной втулки l_{xv} ; длина этой втулки l_{vt} ; зазор между сменной и постоянной втулками S_2 ; несоосность наружной и внутренней поверхностей сменной втулки e ; допуск на размер отверстия сменной втулки TA ; допуск на размер направляющей части сверла TB ; допуск на величину обратной конусности T_k . К параметрическим факторам относятся: подача S ; глубина резания t ; скорость резания V . Вместе с тем существует возможность подбора вышеуказанных факторов при помощи методов оптимизации и искусственного интеллекта, среди которых наиболее перспективными являются гибридные подходы на основе генетического алгоритма и метода TOPSIS.

Генетический алгоритм (Genetic Algorithm – GA) представляет собой симуляцию механизмов, аналогичных естественному отбору, обеспечивая эффективный поиск в многомерном пространстве параметров. Метод TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) – это метод многокритериального принятия решений, основанный на оценке близости альтернатив к идеальному решению и удаленности от антиидеального.

Интеграция указанных методов позволяет реализовать принципиально новую схему оптимизации: генетический алгоритм генерирует множество допустимых решений (комбинаций геометрических и параметрических факторов), а метод TOPSIS ранжирует полученные варианты, выбирая наилучшее компромиссное решение с учетом всех критериев качества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кляус, О. Н.** К вопросу смещения осей спиральных сверл при формировании относительно длинных отверстий / О. Н. Кляус, А. А. Жолобов, А. М. Федоренко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2021. – № 3 (72). – С. 14–23.
2. **Кляус, О. Н.** Теоретическое обоснование направления осей отверстий при их рассверливании и зенкерованиях / О. Н. Кляус, А. А. Жолобов // Горная механика и машиностроение. – 2021. – № 4. – С. 67–73.
3. **Рассел, С.** Искусственный интеллект. Современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2006. – 1408 с.: ил.

УДК 629.113

АНАЛИЗ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ГАРМОНИЧЕСКИМ НЕРОВНОСТЯМ ДОРОГИ

О. В. БЛАГОДАРНАЯ, О. А. ПОНОМАРЕВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Неровности опорной поверхности являются основным фактором вынужденных колебаний автомобиля. Асфальтированная дорога при долгой интенсивной эксплуатации имеет неровности длиной 4...8 м с глубиной впадин до 50 мм. Статистическая обработка неровностей дорог показывает, что изменение их профилей на определенном участке длиной l можно описать гармоническими функциями. Ординаты поверхности при этом отсчитываются от средней линии, а изменение профиля от перемещения по дороге описывается гармонической функцией – косинусоидой:

$$q(l) = q_0(1 - \cos(2\pi\lambda l)),$$

где q_0 – наибольшее отклонение (амплитуда) поверхности от средней линии; λ – циклическая (путевая) частота.

Принимая, что автомобиль передвигается по участку с постоянной скоростью v_a , воздействие неровностей с длиной волны l_n на движущийся автомобиль можно выразить формулой

$$q(v_a, t) = q_0 \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi v_a t}{l_n} \right) \right), \quad (1)$$

а их частоту

$$\omega = \frac{2\pi v_a}{l_n}. \quad (2)$$

Принимая глубину впадины неровности асфальтированной дороги 50 мм и длину одной волны 8 м, резонансную скорость автомобиля можно найти, как отношение частоты свободных колебаний центра масс автомобиля $\omega_c = 1,25$ Гц и частоты воздействий со стороны дороги, описанной формулой (2):

$$v = \frac{\omega_c}{\omega} = \frac{1,25 \cdot 8}{2 \cdot 3,13} = 1,59 \text{ м/с}. \quad (3)$$

От воздействия возмущающих сил при проезде неровностей в упругой системе возникают динамические напряжения, которые определяются амплитудой вынужденных колебаний, изменяющейся в зависимости от частоты колебаний. Зависимость амплитуды колебаний от частоты возмущающей силы определяется коэффициентом динамичности, который оценивает во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний больше статического отклонения от максимального. Возрастание скорости движения ведет к снижению коэффициента динамичности. Полученные зависимости можно использовать для оптимизации скоростных режимов и оценки динамической нагруженности автомобиля при проектировании подвесок и диагностики дорожных покрытий.

УДК 621.852

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НА КПД РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ЕЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Н. Н. ГОБРАЛЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Ременные передачи считаются одним из наиболее распространенных видов механических передач благодаря простоте своей конструкции, способности обеспечивать плавность хода при пуске привода, возможности демпфирования нагрузки и сравнительно низкой стоимости. И хотя для многих механизмов влияние диссипативных сил трения считается главным недостатком, снижающим их эффективность, принцип работы ременных передач основывается именно на этих силах.

Основными конструктивными элементами этой передачи являются ведущий и ведомый шкивы, а также непосредственно гибкая связь между ними – ремень. Сила трения возникает в месте контакта ремня с поверхностями ручьев на шкивах. Величина этой силы определяется главным образом силой прижатия ремня к шкиву, но имеет значение и площадь поверхности контакта. Кроме того, не менее важным для величины силы трения является также и значение коэффициента трения-скольжения для контактирующей пары.

Прижатие ремня к шкивам осуществляется за счет его натяжения путем раздвигания шкивов или применения специальных натяжных роликов. Повышение площади контакта достигается выбором профиля поперечного сечения ремня (например, плоского, клинового или поликлинового), а также созданием достаточного угла охвата ремнем ведущего и ведомого шкивов. Увеличению же значения коэффициента трения-скольжения способствует внесение в материал ремня смолистых добавок или же натирание его рабочей поверхности, например, канифолью.

Каждый из этих способов имеет как положительное действие на работоспособность передачи, так и негативное.

В общем случае эффективность функционирования ременной передачи оценивается величиной КПД, определяемого по формуле

$$\eta = (1 - \xi) \cdot \eta_1 \cdot \eta_2,$$

где ξ – коэффициент упругого скольжения (зависит от передаваемой нагрузки, предварительного натяжения ветвей ремня и коэффициента трения-скольжения

в паре «ремень – шкив»); η_1 – КПД узла подшипников (снижается с ростом предварительного натяжения ремня и величиной передаваемого крутящего момента); η_2 – коэффициент, учитывающий потери на гистерезис при огибании ремнем шкивов (практически не зависит от величины натяжения, но существенно зависит от диаметров шкивов и типа ремня).

Дополнительным элементом ременной передачи может быть натяжное устройство. Его функция – подбор оптимального значения предварительного натяжения ремня, т. к. при недотянутом ремне коэффициент упругого скольжения будет большим, что приведет к падению КПД, а при перетянута ремне увеличивается сила давления на подшипники, что снижает КПД подшипникового узла и, в итоге, также уменьшает общий КПД передачи.

Увеличение площади контакта поверхности ремня с ручьем шкива однозначно эффективно в отношении подбора целесообразного профиля поперечного сечения. А вот в отношении углов обхвата также следует искать оптимальные значения, т. к. их недостаточные величины приводят к проскальзыванию ремня по шкивам, а завышенные углы – к росту гистерезисных потерь на изгиб ремня, т. е. снижению. Улучшает ситуацию для клинового ремня выполнение на его рабочей поверхности секторных сегментов.

Выводы.

1. Натяжные устройства ременных передач статического действия просты по конструкции и на первых порах обеспечивают приемлемые показатели для стабильного КПД передачи. Но по мере эксплуатации из-за вытяжки и износа ремня показатели снижаются.

2. Подбор целесообразных значений углов обхвата ремнем шкива в условиях производства обеспечить затруднительно.

3. Реализация оптимальных условий по площади контакта поверхностей ремня и ручьев шкива уже успешно отработана. В практике конструирования профиль поперечного сечения ремня и его материал подбираются в зависимости от величины передаваемого крутящего момента, скорости пробегания ремня, типа ременной передачи (открытая/закрытая), диаметров шкивов и межосевого расстояния.

4. Наибольшая эффективность функционирования ременной передачи возможна при применении не простых натяжных устройств, а с возможностью автоматического регулирования силы натяжения.

УДК 621.83.06

ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ СТРУКТУРЫ ЦИКЛОИДАЛЬНО-ЦЕВОЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ С ДВУХРЯДНЫМ САТЕЛЛИТОМ НА ОСНОВЕ СИЛОВОГО АНАЛИЗА

И. И. ГОТТО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Циклоидально-цевочные передачи (ЦЦП), спроектированные по схеме $2k-h$ с двухрядным сателлитом (рис. 1, а), обеспечивают большие передаточные отношения при малых массогабаритных показателях. Целью данной работы являлось проведение силового анализа [1] с возможностью последующей автоматизации вычислений и определение наиболее рациональной конструктивной схемы передачи.

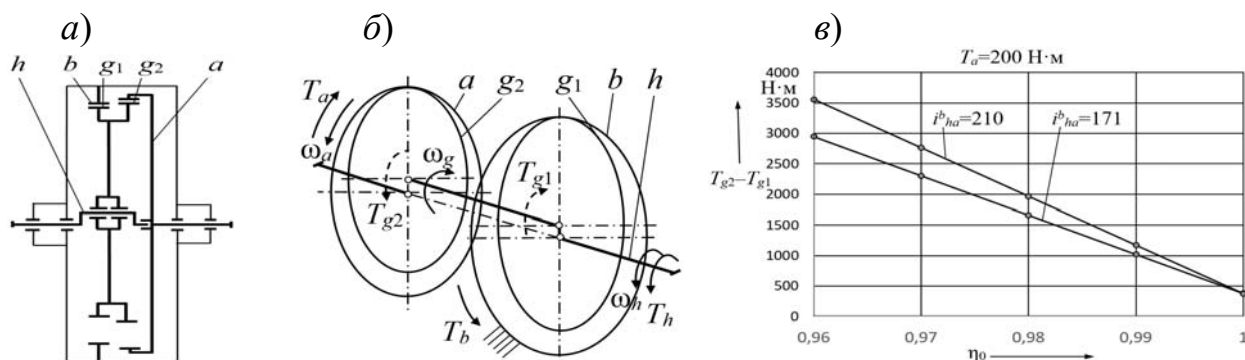


Рис. 1. К анализу кинематических возможностей планетарных ЦЦП с двухрядным сателлитом: а – кинематическая схема планетарного редуктора с двухрядным сателлитом; б – схема воздействия силовых и кинематических факторов; в – зависимость разности моментов на сателлите от КПД обращенного механизма при $T_a = 200 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Из двух вариантов $z_b > z_a$ и $z_a > z_b$ предпочтительным является первый, т. к. обеспечивает сонаправленность вращения ведущего и ведомого валов, а также меньший по значению момент на корпусе редуктора (рис. 1, б). Общим недостатком передач такого типа помимо низкого КПД являются большие значения внутренних моментов на сателлите. Так, для передачи с числами зубьев $z_a = 20$, $z_b = 22$, $z_{g1} = 19$, $z_{g2} = 21$ и передаточным отношением $i^b_{ha} = 210$ при заданном полезном моменте на ведомом валу $T_a = 200 \text{ Н} \cdot \text{м}$ разница противоположно направленных моментов на сателлите составляет $380 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при общем КПД в зацеплениях обращенного механизма, равном единице ($\eta_0 = 1,0$). Разница моментов равна $1174 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при $\eta_0 = 0,99$ (рис. 1, в). Это приводит к значительным деформациям зубьев и снижению работоспособности передачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лустенков, М. Е. Силовой анализ передач с промежуточными телами качения / М. Е. Лустенков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – № 10. – С. 26–31.

УДК 621.83.06

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КПД ЦИКЛОИДАЛЬНО-ЦЕВОЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ С ДВУХВЕНЦОВЫМ САТЕЛЛИТОМ

И. И. ГОТТО, Б. Б. СКАРЫНО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Задачами исследования являлись теоретическое определение КПД циклоидально-цевочных передач (ЦЦП) с двухвенцовым сателлитом [1] и оценка влияющих на него факторов. Получены зависимости КПД ЦЦП от КПД обращенного механизма η_0 , чисел зубьев остановленного z_b , ведомого z_a центральных колес, а также чисел зубьев венцов сателлита z_{g1} и z_{g2} , контактирующих с соответствующими центральными колесами (рис. 1) [2]. Установлено, что для обеспечения работоспособности передачи необходимо обеспечить КПД в зацеплениях 0,99 и выше, с учетом умножения: $\eta_0 = \eta_{b-g1} \cdot \eta_{g2-a}$. Применяемая схема с $z_a > z_b$ или $z_b > z_z$ не оказывает влияние на КПД.

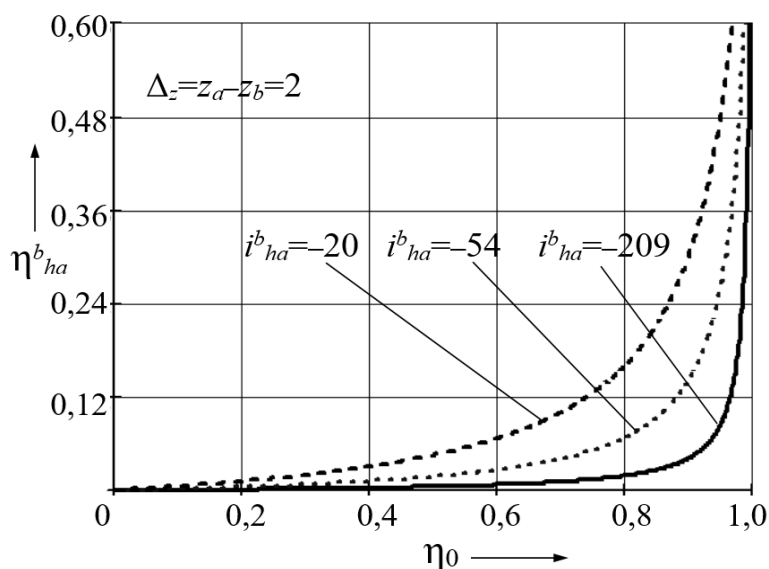


Рис. 1. Зависимость КПД ЦЦП с двухвенцовым сателлитом от КПД обращенного механизма и разницы чисел зубьев центральных колес

Установлено, что параметр $\Delta_z = z_a - z_b$ не влияет на КПД. Наибольшее влияние оказывает модуль передаточного отношения i_{ha}^b : с его ростом потери мощности возрастают.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лустенков, М. Е. Детали машин. Расчет и проектирование : учеб. пособие / М. Е. Лустенков. – Мн. : РИВШ, 2025. – 400 с.
2. Лустенков, М. Е. Силовой анализ передач с промежуточными телами качения / М. Е. Лустенков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – № 10. – С. 26–31.

УДК 539.3

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОЙ СИЛЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАСТИНЫ

Л. А. ИШАМБУЛОВА

Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)
Москва, Россия

Рассматривается динамическое нагружение вязкоупругих пластин классической теории, шарнирно закрепленных по периметру. Процесс деформирования возникает в результате действия подвижной силы, скорость движения которой в рамках каждого численного эксперимента неизменна (рис. 1).

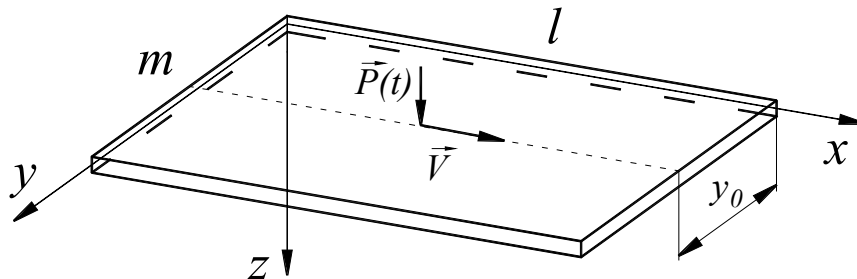


Рис. 1. Схема нагружения пластины

Целью проведенного исследования являлось установление зависимостей между величиной подвижной нестационарной безынерционной нагрузки и перемещениями центра упругой прямоугольной плиты при различных значениях скорости движения точки приложения нагрузки. Рассмотрение аналогичных задач с описанием примененного к их решению аналитического подхода можно найти в [1–4].

Рассмотрение поставленной задачи проводится на основе уравнения классической теории, а именно

$$\left(1 + \alpha \frac{\partial}{\partial t}\right) D \Delta \Delta w(x, y, t) + \rho h \frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial t^2} = q_z(x, y, t), \quad (1)$$

где α – время релаксации деформаций.

Решение уравнения (1) при нагрузке, учитывающей подвижность силы и реакцию основания, осуществлено с применением рядов Фурье, операционного исчисления и приведено в [3].

Результаты численного эксперимента. Расчеты были проведены для пластины со следующими характеристиками: длина $l = 7$ м; ширина $m = 3$ м; толщина $h = 0,2$ м; плотность материала пластины $\rho = 7950$ кг/м³; модуль упругости материала пластины $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па; коэффициент Пуассона материала пластины $\nu = 0,3$; модуль силы $P = 1$ кН.

На рис. 2 приведены результаты расчета перемещений точки с координатой $(l/2, m/2)$ для пластины, время релаксации деформации материала которой $\alpha = 10^{-3}$ с. При этом приведенные на рис. 2 кривые соответствуют следующим значениям скорости движения силы V : 10, 20, 40 и 80 м/с.

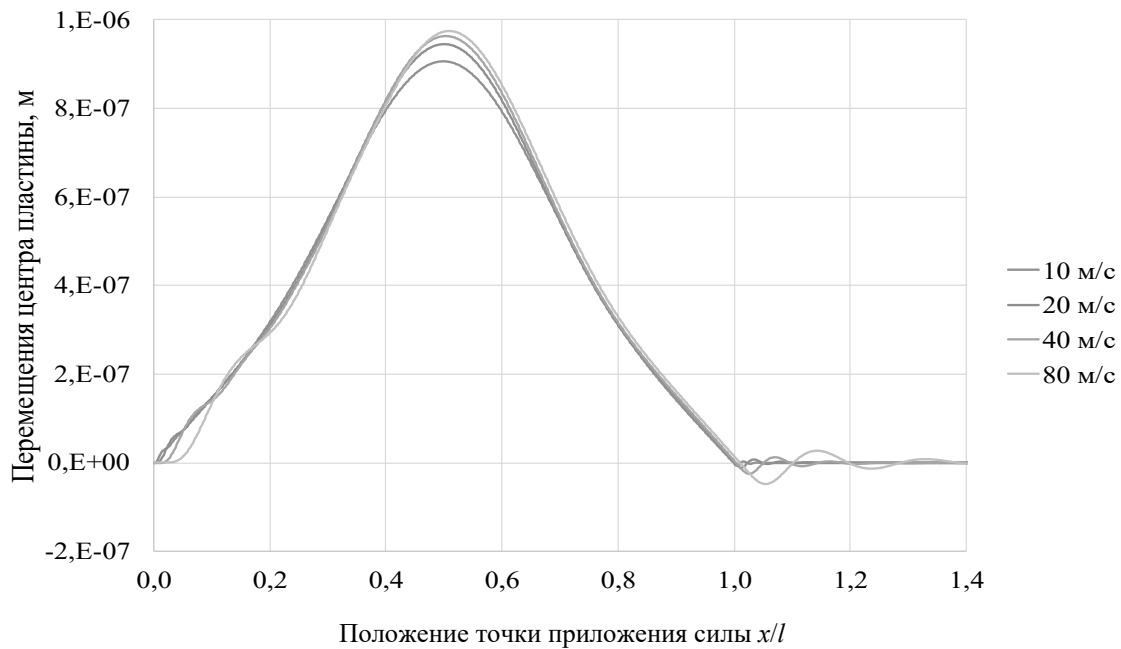


Рис. 2. Прогибы центра пластины при различной скорости движения силы

Из приведенных результатов исследования виден рост максимальных значений перемещений центра пластины, вызванный увеличением скорости движения силы (указанные величины для рассмотренных случаев составили 0,906; 0,946; 0,962 и 0,975 мм). Это обстоятельство необходимо учитывать, в том числе при проектировании элементов конструкций, подверженных действию высокоскоростных нагрузок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Идентификация нагрузок при импульсном деформировании тел : монография : в 2 ч. / Е. Г. Янютин, Д. И. Богдан, Н. И. Воропай [и др.]. – Харьков : Харьков. нац. авт.-дорож. ун-т, 2010. – Ч. 1. – 180 с.
2. Обратные нестационарные задачи для упругодеформируемых балок и пластин / В. Т. Гришакин, Е. Г. Янютин, А. В. Воропай, Г. А. Гнатенко // Инновации в машиностроении : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 30–31 окт. 2008 г. – Мн. : Объед. ин-т машиностр. НАН Беларуси, 2008. – С. 152–158.
3. **Гришакин, В. Т.** Идентификация подвижного нагружения, воздействующего на вязкоупругую пластину на упругом основании / В. Т. Гришакин, В. Б. Гринев, Е. Г. Янютин // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – 2011. – № 13. – С. 69–74.
4. **Гришакин, В. Т.** Развитие прогибов пластины на основании при действии подвижной силы / В. Т. Гришакин, В. С. Мухина // Современные задачи теоретической механики и динамики : сб. науч. тр. по материалам II Междунар. конф. с участием молодых ученых и студентов, Москва, 21 апр. 2022 г. – М. : Моск. авт.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ), 2022. – С. 109–113.

СНИЖЕНИЕ МАССЫ КОНСТРУКЦИИ БАЛКИ ПРИ СОХРАНЕНИИ ЕЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

А. А. КАТЬКАЛО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Типовая конструкция балки, как правило, изготавливается из сплошного поперечного сечения, момент сопротивления W_x которого определяется по максимальному изгибающему моменту $M_{x,max}$ и допускаемому напряжению $[\sigma]$ (рис. 1).

Конструкция типовой балки имеет дополнительный ненужный запас прочности по нормальным напряжениям, что приводит к увеличению ее массы. В технике известна конструкция балки равного сопротивления. Размеры поперечного сечения такой балки выполняются изменяющимися по длине балки и пропорциональными величине изгибающего момента, действующего в сечении. Это позволяет уменьшить массу конструкции ориентировочно на 25 %. Такие конструкции используются в машиностроении (валы), автомобилестроении (рессоры). В других областях их использование зачастую ограничивается наличием у таких конструкций криволинейных наружных граней.

В работе предлагается создать конструкцию балки с плоскими наружными гранями, а уменьшение момента сопротивления поперечного сечения с целью приближения к балке равного сопротивления создать за счет пустоты внутри конструкции. Конструкция такой балки приведена на рис. 2.

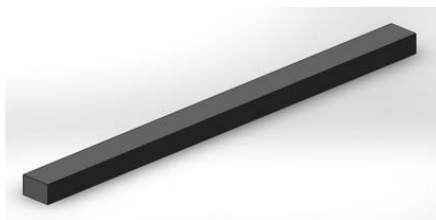


Рис. 1. Типовая конструкция балки

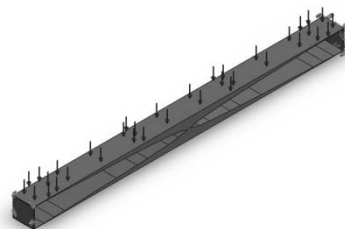


Рис. 2. Предлагаемая конструкция балки

Поперечное сечение балки образуется из двух полусечений, смещенных от оси балки на некоторое расстояние (рис. 3).

Размеры пустоты внутри предлагаемой балки должны создавать такой момент сопротивления сечения $W_x^1(z)$, чтобы его значение было равно моменту сопротивления балки равного сопротивления $W_x(z)$.

$$W_x^1(z) = W_x(z).$$

Момент сопротивления поперечного сечения можно определить из следующих выражений:

$$W_x^1(z) = \frac{b \cdot H^2}{6} - \frac{b \cdot h'(z)^2}{6}; \quad W_x(z) = \frac{M_x(z)}{[\sigma]}.$$

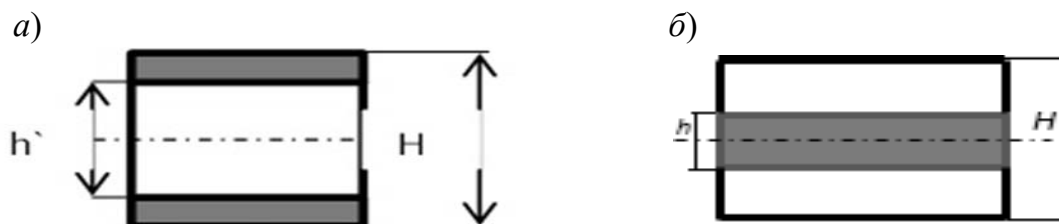


Рис. 3. Схемы поперечных сечений балок: *a* – предлагаемая балка; *б* – балка равного сопротивления

Приравняв эти выражения, получим толщину

$$h'(z) = \sqrt{H^2 - \frac{6 \cdot M_x(z)}{b \cdot [\sigma]}}.$$

Вычисление высоты $h'(z)$ необходимо для создания модели предлагаемой конструкции в SolidWorks.

Моделирование конструкции балки в SolidWorks подтвердило снижение массы конструкции за счет равенства нормальных напряжений по всей длине балки более чем на 60 %. Это обусловлено ростом момента сопротивления при параллельном переносе осей. Однако при этом снижается жесткость конструкции, поэтому в реальной конструкции приходится закрывать торцевые и/или боковые грани пластинами.

Конструкция пустотелой балки равного сопротивления, приведенная на рис. 4, позволяет уменьшить массу балки более чем на 50 %.

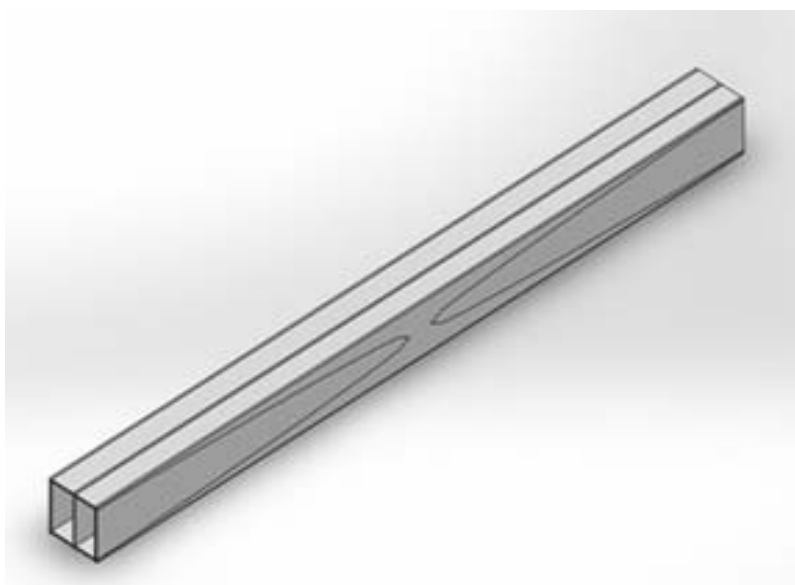


Рис. 4. Пустотелая балка равного сопротивления

УДК 621.83.06

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ СКОРОСТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛИФТА С НОМИНАЛЬНОЙ СКОРОСТЬЮ

А. В. КУЦЕПОЛЕНКО^{1,2}¹ОАО «Могилевлифтмаш»²Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Целью работы являлось исследование динамики механизма ограничителя скорости (ОС) лифта. ОС работает в двух режимах: рабочий режим, когда лифт перемещается со скоростями, меньшими критической скорости, допускаемой ГОСТ 33984.3–2016, а шкив ограничителя вращается со скоростью, меньшей скорости его срабатывания; режим срабатывания, когда лифт перемещается со скоростью, равной или превышающей критическую скорость.

Для полного динамического анализа механизма устройства контроля превышения скорости двухстороннего центробежного ОС (рис. 1), разработанного в ОАО «Могилевлифтмаш» [1], необходимо составить два уравнения Лагранжа второго рода в системах координат, связанных со шкивом ограничителя, вращающимся вокруг горизонтальной оси, и с неподвижным корпусом ограничителя.

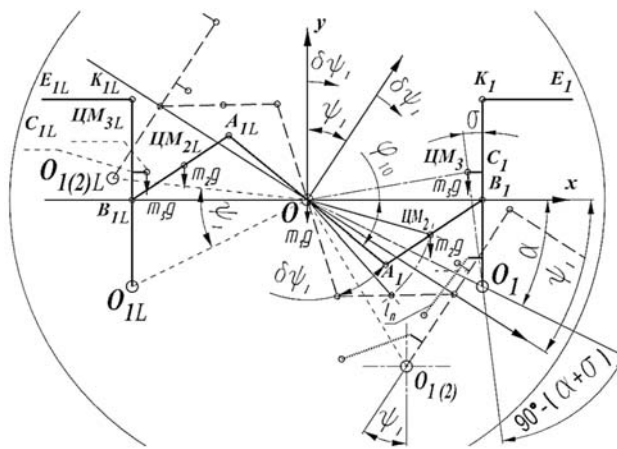


Рис. 1. К динамическому анализу механизма устройства контроля превышения скорости двухстороннего центробежного ограничителя скорости

Уравнение Лагранжа второго рода по второй обобщенной координате ψ_1 (угол поворота шкива) в системе координат, связанной с неподвижным корпусом, описывает работу ограничителя только в рабочем режиме. Действительно, в рабочем режиме ограничителя кривошипно-коромысловый механизм его устройства контроля превышения скорости не движется (удерживаемый пружиной), т. е. первая обобщенная координата φ_1 (угол поворота входного звена механизма относительно оси шкива) – зафиксирована.

$$2 \cdot J_{np2} \cdot \ddot{\psi}_1 = M_{npив} \pm 2m_{31}g \cdot (O_1C_1 - OO_1 \cdot \sin \alpha) \cdot \sin \psi_1, \quad (1)$$

где J_{np2} – приведенный момент инерции исследуемого механизма относительно второй обобщенной координаты ψ_1 ; OO_1 – расстояние между осью вращения шкива и осью поворота выходного звена исследуемого механизма; O_1C_1 – ордината центра масс выходного звена исследуемого механизма относительно его оси поворота; α – угол, определяющий положение оси поворота выходного звена исследуемого механизма относительно оси вращения шкива; m_{31} – масса выходного звена исследуемого механизма; $M_{1npив}$ – момент, создаваемый на шкиве ограничителя кабиной при ее разгоне до скорости, меньшей критической скорости, допускаемой ГОСТ 33984.3–2016.

Выражение (1) является уравнением вынужденных колебаний, в котором первый член правой части – это возмущающий момент $M_{1npив}$, обеспечивающий принудительное вращение шкива, а второй член – восстанавливающий момент, создаваемый силой тяжести выходных звеньев. Знак минус в уравнении (1) означает, что лифт опускается, а плюс – поднимается.

Решая уравнение (1) по известной методике [2], получим уравнение колебательного движения, складывающегося из двух гармонических колебаний – собственных ψ_1^* и вынужденных ψ_1^{**} :

$$\psi_1 = \psi_1^* + \psi_1^{**}, \quad (2)$$

где

$$\psi_1^* = a \cdot \sin(kt + \beta); \quad \psi_1^{**} = \frac{h}{\kappa^2 - p^2} \cdot \sin(pt + \delta); \quad (3)$$

$$h = M_{1npив} / (2 \cdot J_{np2} \cdot \sin(pt + \delta)); \quad (4)$$

$$\kappa^2 = m_{31}g \cdot (O_1C_1 - OO_1 \cdot \sin \alpha) / J_{np2}; \quad (5)$$

$$a = \sqrt{\psi_{10}^2 + (\dot{\psi}_{10} / \kappa)^2}; \quad \beta = \arccos(\dot{\psi}_{10} / a \cdot \kappa), \quad (6)$$

где p – частота изменения возмущающего момента, равная угловой скорости вращения шкива; δ – начальная фаза изменения возмущающего момента; ψ_{10} – начальный угол поворота шкива 0° ; a , β – амплитуда и начальная фаза собственных колебаний.

Полученные зависимости позволяют определить точное время срабатывания механизма при заданных массогеометрических параметрах и провести прочностные расчеты рычажного механизма [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куцепенко, А. В. Энергетический анализ кривошипно-коромыслового механизма ограничителя скорости в системе отсчета шкива / А. В. Куцепенко, М. Е. Лустенков // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2025. – № 3 (88). – С. 52–63.
2. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики : в 2 ч. Ч. 2: Динамика / А. А. Яблонский. – 3-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 1966. – 411 с.
3. Лустенков, М. Е. Детали машин. Расчет и проектирование : учеб. пособие / М. Е. Лустенков. – Мн. : РИВШ, 2025. – 400 с.

УДК 621.83.06

ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ВЕТРОГЕНЕРАТОРАХ МУЛЬТИПЛИКАТОРЫ

Д. М. МАКАРЕВИЧ, К. А. ЦЫГАНОВА, М. В. ДРОЗДОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Большой проблемой для ветрогенерации является малая частота вращения лопастей ветроколеса, поскольку электрогенераторы выходят на номинальный режим выработки электроэнергии при частотах вращения вала генератора более тысячи оборотов в минуту. Решить данную проблему позволяет встраивание в ветрогенератор мультипликаторного привода.

Основными требованиями, предъявляемыми к мультипликаторам для ветрогенераторов, являются: высокий КПД, малые масса и инерционность, высокая надежность [1].

В классической схеме ветрогенератора необходимый коэффициент мультипликации скорости вращения получают путем использования в качестве мультипликатора многоступенчатой передачи в виде различных комбинаций планетарных, цилиндрических и конических зубчатых передач.

Планетарный мультипликатор позволяет получать большие коэффициенты мультипликации скорости вращения при относительно малых габаритных размерах и массе, при этом обладая соосной компоновкой, что упрощает конструкцию ветрогенератора. Цилиндрический мультипликатор, обладая более простой конструкцией и соответственно большей надежностью, чем планетарный, в то же время значительно увеличивает размеры и массу привода ветрогенератора. Конический мультипликатор используется в случае необходимости изменения направления оси вращения и по своим техническим характеристикам уступает цилиндрическому и планетарному мультипликаторам [2].

Однако при использовании многоступенчатого мультипликатора снижается его КПД и увеличиваются размеры, т. к. каждая ступень должна быть рассчитана на передачу всей мощности, получаемой турбинными лопатками. Это также увеличивает инерционность мультипликатора, что усложняет запуск ветрогенератора при малой начальной скорости ветра.

Альтернативным современным вариантом является ветрогенератор с прямым приводом, в котором вал ветроколеса напрямую соединен с ротором низкооборотного синхронного генератора (на постоянных магнитах). Преимуществами такой компоновочной схемы являются высокий КПД и надежность вследствие отсутствия самого сложного и нагруженного узла – мультипликатора. Однако при этом значительно возрастает стоимость, габариты и масса генератора, которому необходимо большое количество полюсов при работе на низких оборотах.

В настоящее время получают распространение ветрогенераторы с так называемым «полупрямым» приводом, который является компромиссным вариантом между двумя вышеописанными. В этом случае вал ветроколеса соединен с ротором среднеоборотного синхронного генератора посредством

одноступенчатого мультипликатора с передаточным числом от 3 до 15. Мультипликатор повышает обороты для более компактного и дешевого генератора, чем в прямом приводе, сохраняя при этом большую надежность по сравнению с многоступенчатым мультипликатором.

В Республике Беларусь создана и развивается научная школа по разработке передач с промежуточными телами качения [3]. По данному направлению получены определенные результаты, позволившие создать ряд новых малогабаритных передач и механизмов. Новым направлением в развитии передач с промежуточными телами качения является разработка и исследование мультипликаторных приводов, создаваемых на их базе.

Данный вид передач обладает следующими преимуществами.

1. Одним из основных требований к мультипликаторам является высокий КПД передачи. Он позволяет максимально сохранить передаваемую мощность, что при постоянном коэффициенте мультипликации скорости обеспечивает высокий момент на ведомом валу – валу генератора. В предлагаемых передачах трение скольжения заменяется сопротивлением качению, что снижает потери мощности и повышает КПД.

2. Другим преимуществом является малая осевая инерционность предлагаемых передач. Они соосны, имеют малые радиальные размеры, уравновешены, а значит, позволяют обеспечить малые значения момента страгивания для вала генератора, что немаловажно для приводов мультипликатора.

Экспериментальные исследования показали, что созданные конструкции передач с промежуточными телами качения могут эффективно использоваться для преобразования параметров обратного потока мощности, т. е. в качестве мультипликаторов. При этом установлено, что потенциальные возможности разработанных передач по нагрузочной способности и КПД превосходят известные аналоги. В передаче с промежуточными телами качения выше коэффициент перекрытия и меньше радиальные габаритные размеры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Прудников, А. П.** Мультипликатор на базе передачи с промежуточными телами качения для привода ветрогенератора / А. П. Прудников // Образование, наука и производство в XXI веке : современные тенденции развития : материалы юбилейной Междунар. конф., Могилев, 11–12 нояб. 2021 г. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2021. – С. 156.
2. **Иванов, М. Н.** Детали машин : учебник / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – 16-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2024. – 457 с.
3. **Прудников, А. П.** Резервы развития передач с промежуточными телами качения / А. П. Прудников // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 24–25 апр. 2025 г. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 25–29.

УДК 69.002.5

ПЕРЕХОД ОТ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ
К АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ
В ПРОИЗВОДСТВЕ СВЕТОПРОВОДЯЩЕГО БЕТОНА

В. В. МАЛКОВА, Ф. Ф. ХАБИБУЛЛИН

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева-КАИ
Казань, Россия

Светопроводящий (транслюцентный) бетон представляет собой инновационный композиционный материал, обеспечивающий контролируемую светопропускаемость за счет интегрированных оптических волокон [4]. Для повышения производительности производства данного материала традиционным методом был разработан робот-манипулятор с двумя четырехзвенными механизмами для автоматизированной укладки волокон в перфорированную форму с последующей заливкой цементного раствора (рис. 1). Традиционный метод позволяет достигать высокой точности рисунка и светопроводимости до 20 %...30 %, однако ограничен необходимостью индивидуальной опалубки, фиксированными геометриями и зависимостью от диаметра волокон.

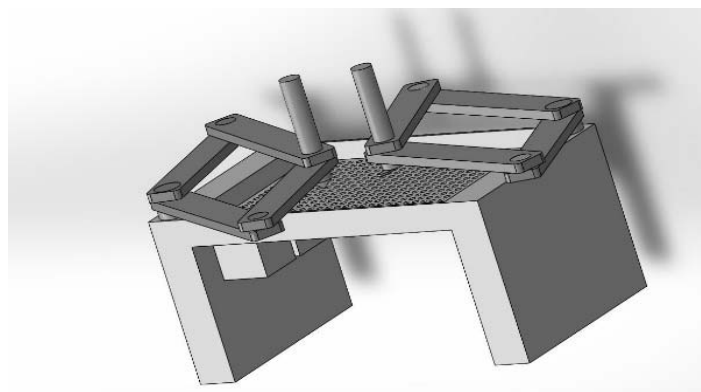


Рис. 1. Робот-манипулятор с двумя четырехзвенниками

В работе рассматривается адаптация технологии под аддитивное производство (3D-печать бетоном) на основе экструзии раствора с интеркаляцией оптических волокон между слоями [2]. Метод подтвержден экспериментальными исследованиями 2023–2025 гг., демонстрирующими возможность послойной печати транслюцентного бетона с использованием РММА-волокон, одновременно выполняющих функции светопередачи и армирования.

Производство светопроводящего бетона традиционно основано на литье в формы с предварительной укладкой оптических элементов [1]. Предлагаемое устройство – робот-манипулятор с двумя четырехзвенниками – автоматизирует процесс: первый механизм обеспечивает укладку и резку волокон в отверстия форминной плиты, второй – дозированную подачу и распределение жидкотекучего раствора. Технический результат достигается регулировкой светопрово-

димости путем программируемого размещения волокон, устраняя зависимость от ширины волокна и позволяя варьировать толщину и контуры светопроводящих зон.

Традиционный метод включает подготовку перфорированной формы, роботизированную вставку отрезков волокон, заливку раствора и постобработку (шлифовка торцов для открытия световых каналов). Светопроводимость регулируется плотностью и ориентацией волокон.

Ключевые преимущества: высокая однородность матрицы, минимальные воздушные включения, хорошая адгезия волокон к цементной матрице.

Недостатки: необходимость индивидуальной опалубки для каждого рисунка, ограничение плоскими плитками, трудоемкость подготовки формы, повышенный расход материала на отходы опалубки, зависимость светопроводимости от диаметра волокон и их ориентации.

Аддитивные технологии: послойная экструзия с интеграцией волокон. Аддитивное производство translucentного бетона реализуется методом mortar-extrusion 3D printing с размещением PMMA-волокон между слоями [3].

Процесс:

- экструзия тиксотропного раствора (цемент, мелкий песок, суперпластификаторы, загустители, например, гидроксипропилметилцеллюлоза, силика фум) слоем 5...15 мм;

- укладка отрезков оптических волокон (PMMA, диаметр 0,5...2 мм) по заданной траектории (вручную, второй манипуляторной рукой или ко-экструзией);

- нанесение следующего слоя с прижимом волокон;

- регулировка светопроводимости: плотностью размещения (волокон на квадратный сантиметр), ориентацией (параллельно/перпендикулярно поверхности), длиной отрезков и количеством слоев с волокнами.

Аддитивный подход устраняет ключевые ограничения традиционного метода, обеспечивая кастомизацию, снижение отходов и возможность интеграции устойчивых добавок (SCM, переработанные материалы).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самандасюк, Г. В. Аддитивные технологии в строительстве / Г. В. Самандасюк, И. А. Слесарев. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/additivnye-tehnologii-v-stroitelstve-2/viewer>.

2. Адамцевич, А. О. Исследования механической прочности и долговечности конструкций, изготовленных методом 3D-печати бетоном / А. О. Адамцевич. – URL: https://nii-smiit.ru/research/3dcp_foresight_2025.pdf.

3. Qifeng, Pengfei, Anguo Mechanical strengths and optical properties of translucent concrete manufactured by mortar-extrusion 3D printing with polymethyl methacrylate (PMMA) fibers. – URL: https://www.researchgate.net/publication/375006469_Mechanical_strengths_and_optical_properties_of_translucent_concrete_manufactured_by_mortar-extrusion_3D_printing_with_polymethyl_methacrylate_PMMA_fibers.

4. Кодзоев, М. Х. Светопроводящий бетон / М. Х. Кодзоев, С. Л. Исаченко // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4, № 6. – С. 123–130. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svetoprovodyaschiy-beton>.

УДК 621.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО ВЫЛЕТА ЗУБЧАТЫХ СЕКТОРОВ В ПЛАВНОРЕГУЛИРУЕМОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧЕ С ДВУХВЕНЦОВЫМ САТЕЛЛИТОМ

А. Е. НАУМЕНКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Плавнорегулируемая планетарная передача с двухвенцовым сателлитом обладает переменным передаточным отношением. Преимуществом передачи по сравнению с традиционными фрикционными передачами является передача больших нагрузок за счет использования принципа зубчатого зацепления.

Передаточное отношение плавнорегулируемой планетарной передачи с двухвенцовым сателлитом определяется по зависимости

$$i = \frac{1}{1 - \frac{z_{g2} \cdot z_{b1}}{z_{b2} \cdot z_{g1}}}, \quad (1)$$

где z_{g1} , z_{g2} – число зубьев двухвенцового и одновенцового сателлита; z_{b1} – число цевок зубчатых секторов; z_{b2} – число выходного цевочного колеса.

Передача позволяет плавно изменять частоту вращения ведомого вала за счет изменения передаточного отношения, которое осуществляется изменением вылета зубчатых секторов (их перемещения в радиальном направлении), т. е. за счет изменения условного числа цевок зубчатых секторов z_{b1} .

Одной из задач, стоящих при разработке опытного образца передачи, является определение зависимости изменения вылета секторов от угла поворота эксцентриковой втулки.

На рис. 1 показаны геометрические параметры первой ступени плавнорегулируемой планетарной передачи с двухвенцовым сателлитом.

За геометрический параметр, определяющий вылет зубчатых секторов, принято расстояние h , которое зависит от угла поворота эксцентриковой втулки α . Исходя из геометрии первой ступени передачи (см. рис. 1, б), определено, что это расстояние вычисляется по зависимости

$$h = l + 0,5 \cdot (d_{fg1} + d_u), \quad (2)$$

где l – расстояние между осями вращения сателлита и ведущего вала; d_{fg1} – внутренний диаметр зубьев сателлита; d_u – диаметр цевки.

$$l = \sqrt{k^2 + e^2 - 2 \cdot k \cdot e \cdot \cos(180^\circ - \alpha)}, \quad (3)$$

где k – эксцентриситет эксцентриковой шейки вала; e – эксцентриситет эксцентриковой втулки (сателлита).

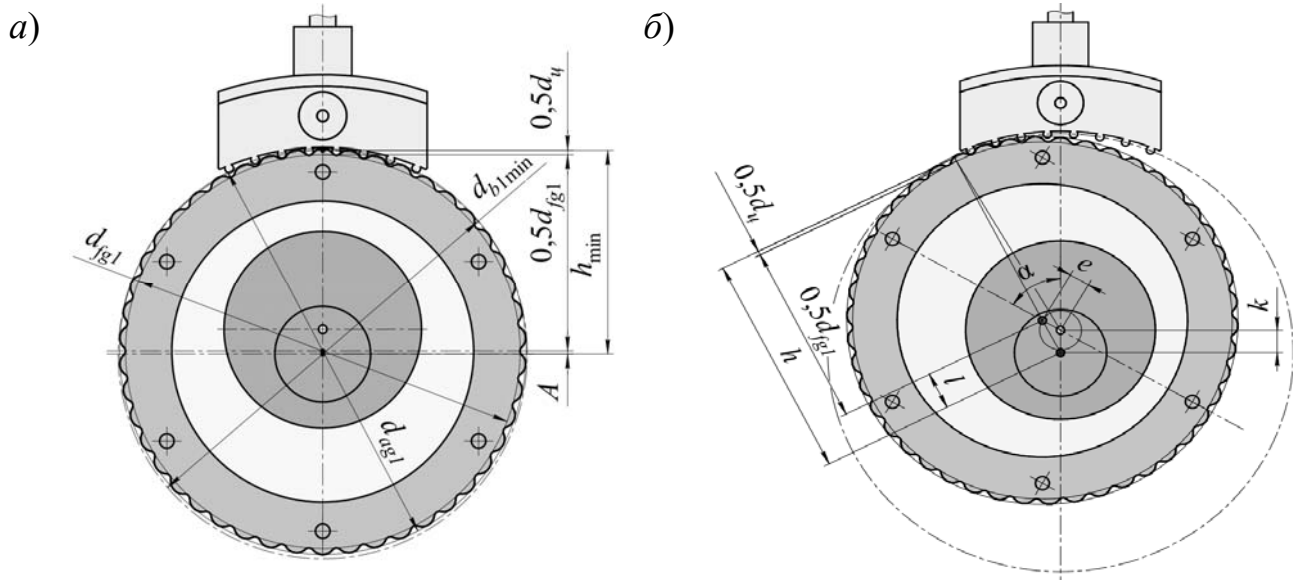


Рис. 1. Геометрические параметры первой ступени плавнорегулируемой планетарной передачи с двухвенцовым сателлитом: *а* – положение элементов передачи при минимальном вылете; *б* – положение элементов передачи при промежуточном вылете

Внутренний диаметр зубьев сателлита находится по зависимости

$$d_{fg1} = m \cdot z_{b1min} - m \cdot \lambda - d_u, \quad (4)$$

где m – модуль зацепления; z_{b1min} – число цевок секторов при минимальном вылете секторов (см. рис. 1, *а*); λ – коэффициент укорочения трохойды.

Условное число зубьев зубчатых секторов определяется по зависимости

$$z_{b1} = \frac{2 \cdot h}{m}. \quad (5)$$

Таким образом, зависимости (1)–(5) позволяют связать вылет секторов (расстояние h) с углом поворота эксцентриковой втулки α и определить условное число зубьев зубчатых секторов z_{b1} при текущем их вылете. Они могут быть использованы при разработке методики расчета основных параметров плавнорегулируемой планетарной передачи с двухвенцовым сателлитом и настройке механизма изменения ее передаточного отношения.

УДК 621.83.06

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛОСКОЙ ВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ВАЛОВ

А. П. ПРУДНИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Для повышения эффективности процесса проектирования плоской винтовой передачи с параллельным расположением валов разработана методика ее расчета. Исходными данными для проектирования плоской винтовой передачи являются:

- тип передачи по расположению оси вращения шестерни относительно колеса;
- размер смещения начальной точки винтовой линии;
- передаточное отношение;
- вращающий момент на ведомом валу;
- радиус расположения осей цевок на колесе;
- длина контакта цевки с беговой дорожкой;
- вид материалов деталей и их термообработка.

На первом этапе выполняется расчет координат винтовой линии, являющейся образующей для беговой дорожки на шестерне. На базе полученных координат составляется управляющая программа для станка с ЧПУ для нарезания беговой дорожки, являющейся самым сложным элементом передачи.

На втором этапе, исходя из заданных передаточного отношения, радиуса расположения осей роликов на колесе, величины смещения начальной точки винтовой линии относительно оси вращения шестерни, определяется минимальный диаметр шестерни, что позволяет предварительно оценить габаритные размеры передачи.

На третьем этапе выполняется расчет сил, действующих на цевку в зацеплении шестерни и колеса. На базе полученных сил определяется КПД передачи.

На четвертом этапе, исходя из допускаемых контактных напряжений, действующих сил и длины контакта цевки с беговой дорожкой, определяются диаметр фрезы (для нарезания беговой дорожки) и диаметр цевок, устанавливаемых на колесе.

Преимуществом разработанной методики является одновременный учет энергокинематических, массовых и прочностных критериев.

Для верификации разработанной методики было выполнено проектирование мультипликатора на базе плоской винтовой передачи с параллельным расположением валов с коэффициентом мультипликации скорости вращения, равным 19.

Предложенная методика предлагает структурированный и системный подход к проектированию плоской винтовой передачи.

УДК 621.83.06

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ СКОЛЬЖЕНИЯ
ПО КОНТАКТНЫМ НАПРЯЖЕНИЯМ

А. П. ПРУДНИКОВ, К. А. ЦЫГАНОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Работоспособность винтовой передачи скольжения для преобразования параметров вращательного движения за счет сил трения определяется контактными напряжениями, что обусловлено значительными величинами сил, действующих в зацеплении витков резьбы, необходимых для создания требуемой силы трения. Основным видом разрушения рабочих поверхностей является усталостное выкрашивание, вызванное циклическим характером действующих контактных напряжений.

Условие для предотвращения усталостного выкрашивания:

$$\sigma = \frac{\sqrt{F_{t1}^2 + F_{z1}^2 + F_{x1}^2}}{n \cdot S} \leq [\sigma], \quad (1)$$

где F_{t1} , F_{z1} , F_{x1} – окружная, осевая и радиальная силы соответственно, возникающие в зацеплении, Н; n – число витков резьбы ведущего винта, взаимодействующих с ведомым винтом; S – площадь поверхности контакта, м²; $[\sigma]$ – допускаемое контактное напряжение, Па.

При определении площади поверхности контакта двух взаимодействующих витков резьбы необходимо учесть, что радиус кривизны витков в осевом направлении можно принять равным бесконечности (рис. 1).

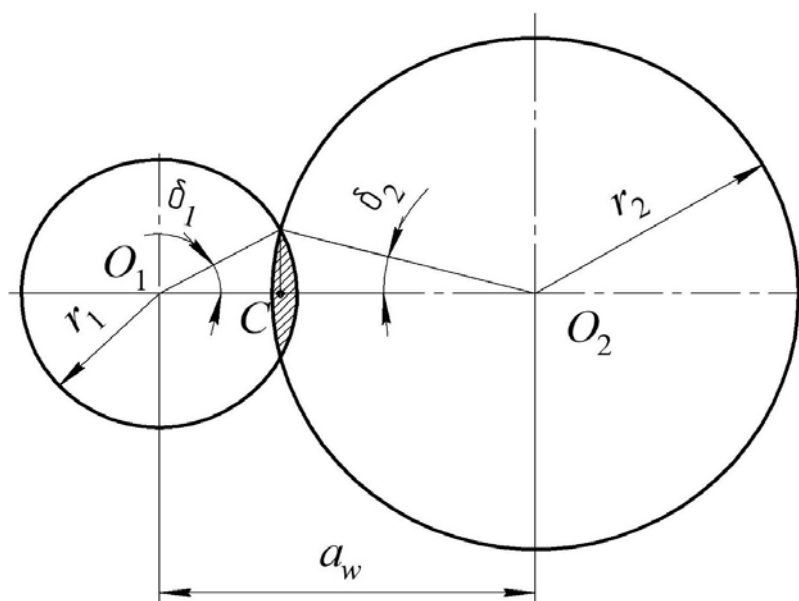


Рис. 1. Схема для определения площади поверхности контакта витков резьбы

Площадь поверхности контакта витков резьбы определяется по формуле

$$S = \frac{2 \cdot \left[\left(\pi \cdot r_1^2 \cdot \frac{\delta_1}{2 \cdot \pi} - 0,5 \cdot O_1 C \cdot \sqrt{r_1^2 - O_1 C^2} \right) + \left(\pi \cdot r_2^2 \cdot \frac{\delta_2}{2 \cdot \pi} - 0,5 \cdot O_1 C \cdot \sqrt{r_1^2 - O_1 C^2} \right) \right]}{\cos(\beta)}, \quad (2)$$

где r_1, r_2 – радиусы наружных поверхностей резьбы ведущего и ведомого винтов, м; β – угол наклона профиля резьбы, град.

Для проверки адекватности полученных зависимостей в САПР Ansys был выполнен компьютерный эксперимент по определению контактных напряжений. Анализировалась передача с наружным зацеплением со следующими параметрами:

- число заходов винтовых линий, образующих резьбу, расположенных на ведущем и ведомом звеньях передачи соответственно: $Z_1 = 1$; $Z_2 = 2$;
- средний диаметр резьбы ведущего и ведомого винтов соответственно: $d_1 = 20$ мм; $d_2 = 40$ мм;
- шаг резьбы ведущего винта и ведомого винтов соответственно: $p_1 = 5$ мм; $p_2 = 10$ мм;
- угол наклона профиля резьбы $\beta = 10^\circ$ (рассматривается трапецеидальный профиль резьбы).

На рис. 2 приведены ограничения, накладываемые при моделировании, и эпюра контактных напряжений, полученная в САПР Ansys.

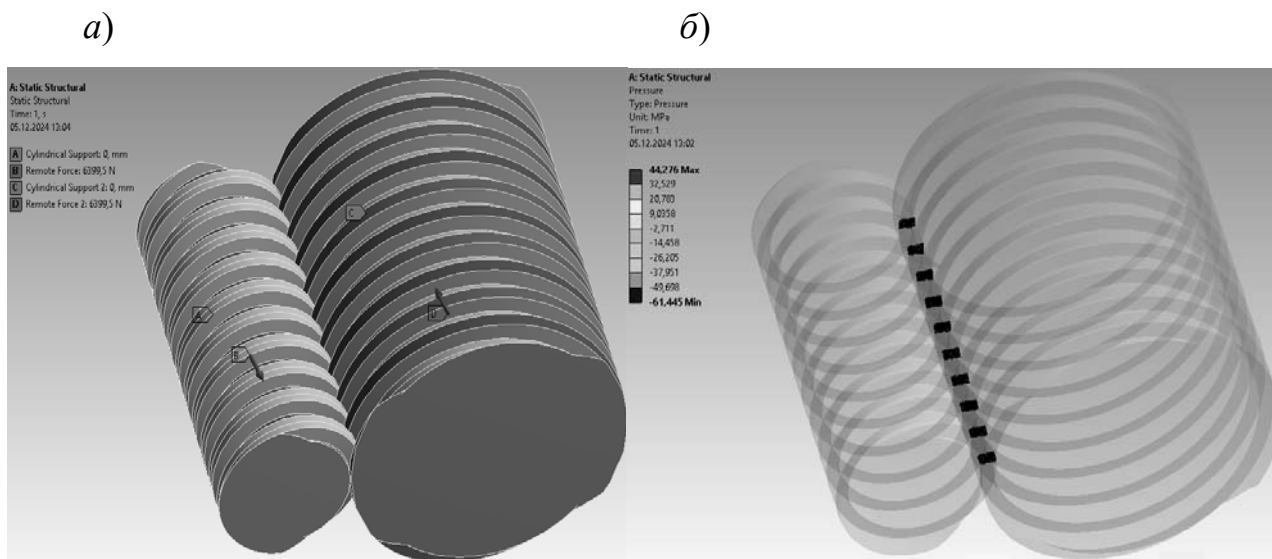


Рис. 2. Результаты моделирования винтовой передачи скольжения передачи в САПР Ansys: *а* – ограничения, накладываемые при моделировании; *б* – эпюра контактных напряжений

Полученные результаты подтверждают адекватность зависимостей (1) и (2). Для снижения контактных напряжений и обеспечения компактных размеров передачи необходимо повышать твердость поверхностного слоя рабочих поверхностей звеньев.

УДК 621.865.8

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ МАНИПУЛЯТОРА

О. В. ПУЗАНОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Обратная задача кинематики является одной из ключевых проблем робототехники и автоматизации производственных процессов. Решение этой задачи позволяет определить требуемое положение звеньев и кинематических пар робота для достижения заданного положения рабочего органа. В отличие от прямой задачи, обратная задача кинематики часто не имеет аналитического решения в замкнутом виде для сложных структур, что обуславливает применение численных методов, в частности метода последовательного приближения. Этот метод широко используется благодаря своей простоте реализации и универсальности.

Для манипулятора с определенным числом степеней подвижности вектор координат положения рабочего органа связан с вектором обобщенных координат нелинейной функциональной зависимостью. Метод последовательного приближения основан на линеаризации этой функции и представляет собой итерационный алгоритм, который постепенно улучшает начальное решение путем минимизации ошибки между целевым положением и действительным положением центра схвата.

На рис. 1 представлен алгоритм метода. Указанный алгоритм применялся для решения обратной задачи кинематики ортогональных манипуляторов, имеющих степени подвижности от трех до шести. Исходными данными является схема исследуемого манипулятора, начальное приближение обобщенных координат $q_j^{(0)}$ и требуемая точность δ . На первом этапе решается прямая задача кинематики манипулятора и определяется матрица преобразования координат T . Путем разложения в ряд Тейлора получается матричное уравнение, представляющее собой систему уравнений, количество которых соответствует числу степеней подвижности исследуемого манипулятора. Система уравнений является трансцендентной и может иметь множество решений относительно искомых обобщенных координат $q_j^{(k)}$. Выбор наиболее подходящего решения осуществляется на основе учета конструктивных ограничений и технических требований для каждой конкретной схемы манипулятора. Затем происходит обновление координат и проверка условий окончания алгоритма на основе сравнения разности обобщенных координат предыдущей $q_j^{(k-1)}$ и текущей $q_j^{(k)}$ итерации с заданной допустимой погрешностью. При этом можно определить время t , затраченное на решение задачи, и число итераций N . Эти параметры можно использовать для оценки эффективности методики.

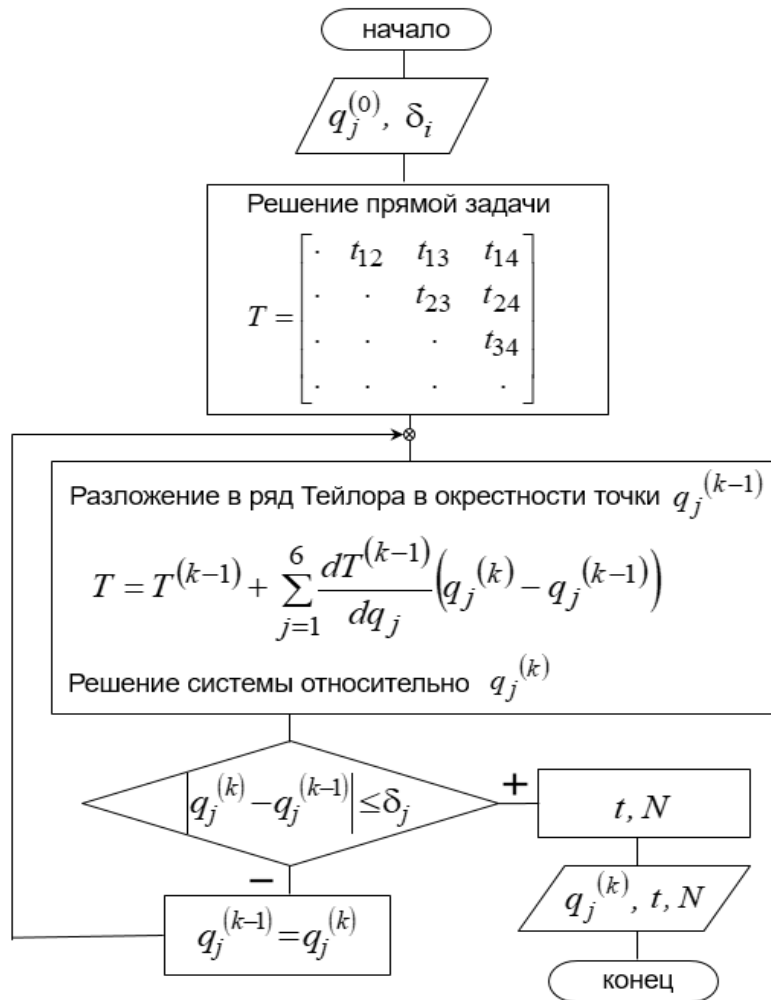


Рис. 1. Алгоритм решения обратной задачи кинематики манипулятора

В ходе исследования столкнулись с некоторыми трудностями, такими как выбор начального приближения; выбор правильного направления коррекции переменных, необходимых для улучшения текущего приближенного решения; накопление ошибок численного решения; необходимость многократного повторения расчетов матрицы $\frac{dT^{(k-1)}}{dq_j}$.

Для преодоления указанных трудностей применяли обоснованный выбор начального положения расчета манипулятора, эвристические подходы к выбору начальных приближений и методы сброса начальных приближений, дополнительный анализ чувствительности изменения переменных для определенных точек рабочего пространства манипулятора, сочетание численных и аналитических методов расчета.

Исследование показало, что при обоснованном подходе к заданию начальной точки число итераций для нахождения решения уменьшилось на 20 %...32 %. Применение дополнительного анализа чувствительности и повышение порядка метода до второго уменьшило число итераций на 46 %...58 %, но при этом увеличилось время расчета для каждой итерации. Применение комбинированных методик позволило сократить число итераций на 30 %...40 %.

УДК 621.833

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСОБЫХ ТОЧЕК ЗУБЧАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ САТЕЛЛИТНОГО КОЛЕСА ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ ЭЙЛЕРА – САВАРИ

С. Н. ХАТЕТОВСКИЙ, О. М. ПУСКОВ,
Д. С. ГАЛЮЖИН, М. А. ГАЛЮЖИН
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Теорема Эйлера – Савари и соответствующее уравнение позволяют определять центры кривизны траекторий и огибающих кривых в плоском движении. Однако существует обобщение теоремы Эйлера – Савари, в котором вместо плоского движения рассматривается движение профилей по сфере.

Обобщенное уравнение Эйлера – Савари рассматривается на сфере единичного радиуса и имеет следующий вид:

$$\left(\operatorname{ctg}(\gamma_1 + \alpha) \pm \operatorname{ctg}(|\gamma_2 - \alpha|) \right) \cdot |\cos \beta| = \operatorname{ctg} \delta_1 \pm \operatorname{ctg} \delta_2, \quad (1)$$

где δ_1 – половина угла начального конуса центрального колеса прецессионной передачи; δ_2 – половина угла начального конуса сателлитного колеса прецессионной передачи; γ_1 – угол между радиус-векторами точки контакта и центром кривизны профиля зуба центрального колеса; γ_2 – угол между радиус-векторами точки контакта и центром кривизны профиля зуба сателлитного колеса; α – угол между радиус-векторами точки контакта и мгновенным центром скоростей при движении профиля зуба сателлитного колеса по сфере; β – угол между окружностью сферы, проходящей через центры сфероцентриды и окружностью сферы, проходящей через центры кривизны профилей зубьев центрального и сателлитного колес.

Профиль зуба центрального колеса задан, известна также кинематика прецессионной передачи, поэтому все величины, входящие в формулу (1), кроме величины γ_2 , известны.

Условием существования особой точки на зубчатой поверхности сателлитного колеса можно считать равенство нулю угла γ_2 . По этому условию из уравнения (1) определяется параметр, определяющий искомую точку.

Следует отметить, что поиск особых точек рассматриваемым методом сопряжен с определенными математическими трудностями. В частности, приходится находить геодезическую кривизну профиля зуба формообразующего колеса и решать достаточно сложное уравнение. Однако обобщенный метод Эйлера – Савари универсален и для простых формообразующих профилей достаточно эффективен.

УДК 621.83.06

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МНОГОРАЗОВОГО ТРАФАРЕТА

Е. Д. ЯКУБОВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Целью работы являлось создание трафарета многоразового использования для нанесения логотипа «ЭЛМЕкс» на экспериментальные образцы редукторной техники, разрабатываемые в Белорусско-Российском университете [1]. В задачи исследования входила разработка 3D-модели, подбор материала, технологии изготовления и определение рациональной толщины трафарета. Научная составляющая заключалась в комплексном обеспечении прочности и стойкости к агрессивным средам при многоразовом использовании, эластичности и сохранении формы при изгибе [2] для нанесения логотипов на цилиндрические детали с различными диаметрами.

Построение модели производилось в системе Siemens NX, файл конвертировался в формат parasolid (рис. 1, а). Изготовление осуществлялось на 3D-принтере Formlabs 3. Была применена технология печати SLA, основанная на процессе послойного нанесения жидкого фотополимера под воздействием луча лазера (фотополимеризация). В качестве материала использовалась фотополимерная смола Flexible 80A с твердостью по Шору 80 А после печати. Данный материал позволяет выдерживать многоцикловые изгибные и крутящие нагрузки.

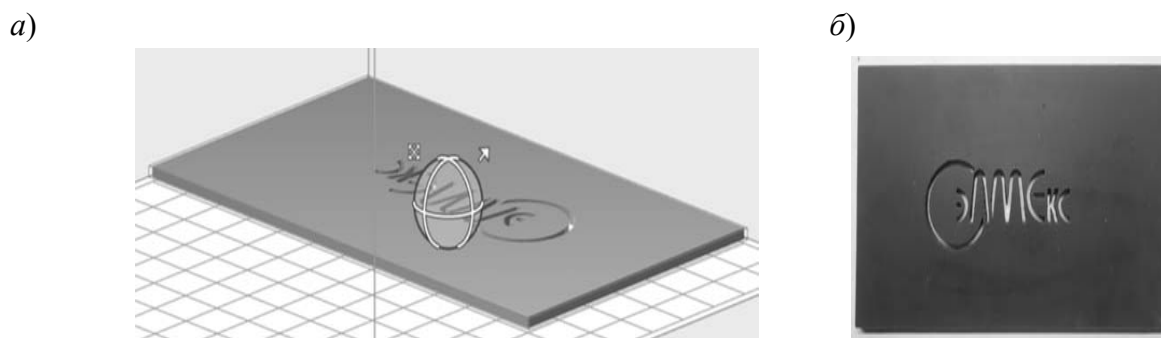


Рис. 1. Модель в области построения на слайсере PreForm (а) и готовое изделие (б)

При изготовлении трех образцов наилучшие характеристики были показаны при толщине детали 3 мм (рис. 1, б) и следующих параметрах процесса, которые можно рекомендовать как рациональные: время печати – 2 ч 38 мин, объем материала – 24,87 мл, толщина слоя – 0,1 мм, количество слоев – 30.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лустенков, М. Е. Силовой анализ передач с промежуточными телами качения / М. Е. Лустенков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – № 10. – С. 26–31.
2. Лустенков, М. Е. Детали машин. Расчет и проектирование : учеб. пособие / М. Е. Лустенков. – Мн. : РИВШ, 2025. – 400 с.

УДК 621.74

ПРИМЕНЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННОГО СИЛУМИНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ БАЛАНСИРНЫХ ТЕЛЕЖЕК ПРИЦЕПНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

К. Н. БАРАНОВ, В. П. ГРУША, А. П. ГУТЕВ
Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

Для транспортировки различных сельскохозяйственных, строительных и других грузов широко применяются машины, прицепы и полуприцепы тракторные различной модификации и грузоподъемности с балансирной ходовой системой.

Основной причиной выхода из строя балансирных тележек сельскохозяйственных машин и прицепов (полуприцепов) является износ втулок подшипников скольжения, которые имеют незначительный срок эксплуатации ввиду работы в сложных полевых условиях (высокие нагрузки, запыленность, попадание раствора солей, воды и др.). Применяемые в качестве материала подшипников скольжения антифрикционные материалы типа бронзы БрА9ЖЗЛ ГОСТ 493–79, металлополимера самосмазывающегося ТУ РБ 29026859.001–2018 не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним по надежности узлов трения. Поэтому поиск новых материалов, обеспечивающих повышение надежности ходовых систем тракторных прицепов и прицепных сельскохозяйственных машин повышенной грузоподъемности, является актуальной задачей.

В [1] авторы указывают на перспективность применения в данных узлах трения антифрикционного силумина (АС) – износостойкого материала, разработанного и полученного по специальной технологии в ИТМ НАН Беларуси в соответствии с ТУ ВУ 700002421.003–2011. АС обладает более высокими эксплуатационными свойствами и имеет положительный опыт применения в качестве материала втулок сельскохозяйственной и специальной техники. По результатам производственных испытаний, проведенных в 2014 г. на ОАО «УКХ «Бобруйскагромаш», установлено, что втулки балансиров ходовой системы машин для внесения твердых органических удобрений серии МТУ-24 грузоподъемностью 24 т, изготовленные из АС, по износостойкости превосходят серийные из материала АСП-6 ТУ РБ 29026859.001–2003 и рекомендованы в качестве их заменителя в ходовых системах сельскохозяйственной техники производства ОАО «УКХ «Бобруйскагромаш».

В 2024 г. для ОАО «Бобруйсксельмаш» была изготовлена опытная партия деталей «Втулка ПСТ-7.03.01.801» из АС. Опытные детали были установлены на два полуприцепа ППГ-8 для транспортирования полужидкого навоза, строительных и сельскохозяйственных сыпучих грузов (рис. 1, б). По результатам производственных испытаний руководством ОАО «Бобруйсксельмаш» было принято решение о переходе со стальной конструкции втулки на аналогичную из АС производства ИТМ НАН Беларуси. В настоящее время

втулки из АС введены в конструкторскую документацию на серийные изделия ОАО «Бобруйксельмаш».

а)



б)



Рис. 1. Полуприцепы тракторные производства ОАО «УКХ «Бобруйскагромаш»: а – ПСТ-12; б – ППГ-8

В 2025 г. проведены новые совместные работы по испытанию деталей «Втулка МТУ 15.02.02.001» из АС в балансирах ходовых систем многотоннажных сельскохозяйственных машин в производственных условиях ОАО «УКХ «Бобруйскагромаш». Опытные детали в составе балансирной тележки были установлены в полуприцеп тракторный ПСТ-12 (рис. 1, а) и реализованы в ООО «ТД «Бобруйскагромаш». В течение 6 месяцев (с мая по октябрь 2025 г.) эксплуатационных испытаний замечаний, претензий и рекламаций по качеству от организации, эксплуатирующей технику с опытными втулками подшипников в балансирах, не поступало.

По результатам промышленной апробации детали «Втулка подшипника МТУ 24.06.02.004» из АС, поставленные на сборочный конвейер ОАО «УКХ «Бобруйскагромаш», внедрены в производственный процесс сельскохозяйственной техники. В соответствии с актом внедрения качество поставленных втулок соответствует техническим требованиям, предъявляемым к опорным деталям ходовых систем из антифрикционных материалов.

Таким образом, АС является перспективным материалом для применения в узлах трения подшипников скольжения балансирных тележек прицепных сельскохозяйственных машин, в том числе повышенной грузоподъемности до 24 т.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ работы подшипников скольжения в балансирных тележках и пути повышения их износостойкости / А. А. Гордиук, В. Н. Перевозников, В. Г. Филатов, С. С. Семёнов // Образование, наука и производство в XXI веке: современные тенденции развития : материалы юбилейной Междунар. конф., Могилев, 11–12 нояб. 2021 г. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2021. – С. 123.

УДК 621.791

БАРЬЕРЫ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

М. Д. БЕЛОЗЕРОВ, Е. В. ЛАГОВСКАЯ

Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского
Норильск, Россия

Аддитивные технологии (Additive Manufacturing, AM) – послойное изготовление изделий по цифровой 3D-модели. Сегодня AM применяются не только для прототипирования, но и для выпуска функциональных деталей из полимеров и металлов, особенно там, где важны сложная геометрия, снижение массы и сокращение сроков разработки (в том числе в аэрокосмической отрасли) [1–3].

В Беларуси и России внедрение AM часто ограничивается пилотными проектами. Основные барьеры имеют системный характер.

1. Инфраструктурный и инвестиционный барьер. Недостаточные темпы обновления оборудования и испытательной базы затрудняют освоение новых процессов и подтверждение характеристик изделий, что усиливает осторожность предприятий при внедрении AM.

2. Слабая кооперация «вуз – предприятие». Для устойчивого внедрения требуется связка «проектирование – изготовление – испытания – корректировка» на реальных задачах. При недостаточном трансфере технологий AM остаётся на уровне демонстраций и единичных заказов.

3. Импортозависимость. Значимая часть оборудования, материалов и программных решений поставляется извне. Для стабильного качества необходимы воспроизводимые свойства порошков/полимеров и контролируемость параметров процесса; ограничения поставок повышают стоимость владения и риски простоев [2].

4. Кадровые ограничения и дефицит DfAM. AM требуют междисциплинарных компетенций (материаловедение, САПР/CAE, постобработка, контроль качества). DfAM (Design for Additive Manufacturing) предполагает проектирование с учётом ориентации построения, поддержек, допусков, деформаций и требований к постобработке; нехватка практико-ориентированного обучения снижает воспроизводимость результатов [7].

5. Нормативно-метрологический контур. Для ответственных изделий необходимы единые подходы к терминологии, прослеживаемости материалов, испытаниям и квалификации процесса. Международной основой служат стан-

дарты ISO/ASTM (например, 52900), однако их внедрение требует методик и развитой испытательной инфраструктуры [4, 5].

6 Экономическая неопределённость. АМ не всегда снижают себестоимость детали, но могут давать эффект за счет сокращения сроков, снижения массы, объединения сборочных узлов и перехода к «цифровому складу» [3, 6].

Для ускорения развития АМ целесообразны: внедрение через прикладные кейсы с быстрым эффектом (оснастка, приспособления, ремонтные решения); создание центров аддитивных компетенций на базе вузов/технопарков совместно с предприятиями; обучение по траектории «САПР → DfAM → изготовление → постобработка → контроль»; развитие стандартов и культуры качества; снижение импортозависимости через локализацию материалов и сервисной поддержки [4, 5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники / А. Л. Галиновский, Е. С. Голубев, Н. В. Коберник, А. С. Филимонов. – М. : Юрайт, 2025. – 146 с.
2. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing / I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker, M. Khorasani. – 3rd ed. – Cham : Springer, 2021.
3. Wohlers Report 2024 : 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry / T. Wohlers [et al.]. – Fort Collins : Wohlers Associates, 2024.
4. ISO/ASTM 52900:2021. Additive manufacturing – General principles – Fundamentals and vocabulary. – Geneva : ISO ; West Conshohocken : ASTM International, 2021.
5. ISO/ASTM 52901:2017. Additive manufacturing – General principles – Requirements for purchased AM parts. – Geneva : ISO ; West Conshohocken : ASTM International, 2017.
6. **Frazier, W. E.** Additive manufacturing technology: potential implications for aerospace and defense / W. E. Frazier // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2014. – Vol. 23, № 6. – P. 1917–1928.
7. **Thompson, M. K.** Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints / M. K. Thompson // CIRP Annals. – 2016. – Vol. 65, № 2. – P. 737–760.

УДК 666.1

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА СТЕКЛА НА СВОЙСТВА СТЕКЛОИОНОМЕРНОГО ЦЕМЕНТА

А. А. БУЗОВ¹, М. А. ТРУБИЦЫН², А. А. БЕЛОУСОВА¹

¹АО «Опытно-экспериментальный завод «ВладМиВа»

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Белгород, Россия

Проблема интенсификации помола алюмосиликатного стекла в процессе разработки технологии получения стеклоиономерного цемента может быть решена путем применения добавки-интенсификатора. Выбранная добавка не должна оказывать негативного влияния на процесс отверждения и свойства цемента.

Проведено исследование влияния добавок-интенсификаторов на основе полипропиленгликоля и глицерина (Б2), этаноламина и этиленгликоля (Б3), а также изопропаноламина (Б4), вводимых при помоле алюмосиликатного стекла, на характеристики стеклоиономерного цемента в соответствии с ГОСТ 31578–2012 (табл. 1).

Табл. 1. Функциональные характеристики стеклоиономерного цемента на основе порошков стекла с интенсификаторами

Параметр	Образец			
	Б1 (контроль)	Б2	Б3	Б4
Рабочее время, мин:с	1:50	1:50	2:50	1:50
Время твердения, мин	5,5	6,5	6,5	6,0
Прочность при сжатии, МПа	123,61	113,78	120,90	107,74

При помоле стеклогранулята в лабораторной шаровой мельнице вводили интенсификаторы в количестве 0,05 % сверх его массы, а также осуществляли контрольный помол без интенсификатора (Б1).

Порошок стекла смешивали с полиакриловой кислотой в массовом соотношении 2,3/1.

Присутствие интенсификаторов в порошках алюмофторсиликатного стекла приводит к удлинению времени твердения цемента на 0,5...1,0 мин, что нежелательно, но приемлемо. На рабочее время цемента оказывает влияние только интенсификатор Б3, при этом происходит удлинение рабочего времени на 1,0 мин, что является преимуществом. Кроме того, он не снижает прочность цемента по сравнению с контролем, в отличие от Б2 и Б4.

Таким образом, применение интенсификатора на основе этаноламина и этиленгликоля при измельчении алюмофторсиликатного стекла обеспечивает оптимальные функциональные характеристики стеклоиономерного цемента на его основе.

УДК 678.5

**БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НА ОСНОВЕ КОМПОНЕНТОВ
ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ СЫРЬЯ**

Н. С. ВИНДИКТОВА, В. М. ШАПОВАЛОВ, О. В. КОНАКОВА

Институт механики металлополимерных систем
имени В. А. Белого НАН Беларуси
Гомель, Беларусь

Развитие химических технологий позволило получать дешевые полимерные материалы из продуктов нефтепереработки, которые завоевали популярность благодаря технологичности, биохимической инертности, своим высоким эксплуатационным характеристикам. Синтетические полимерные материалы получили настолько широкое применение, что стали причиной экологической проблемы, состоящей в росте количества полимерных отходов, которые не разлагаются в течение десятков лет. Масштабы этой проблемы потребовали вмешательства на государственном уровне. В 2020 г. был принят Указ Президента Республики Беларусь «О совершенствовании порядка обращения с отходами товаров и упаковки», а также определен план поэтапного снижения использования полимерной упаковки с ее замещением на экологически безопасную. Несмотря на то, что в мире насчитывается более 100 видов различных биоразлагаемых полимеров, сдерживающим фактором их широкого применения является высокая стоимость. Одним из способов решения данной проблемы является разработка и использование биоразлагаемых материалов на основе возобновляемого природного сырья [1–3].

В рамках развития принципов создания биоутилизируемых материалов основывались на возможности использования преимущественно отечественных компонентов. В рамках научно-исследовательских работ были отработаны составы и технологические схемы получения биоразлагаемых композиционных материалов (КМ). Нами предложены два вида материалов: на основе синтезированного биоразлагаемого материала полилактида и на основе органического материала животного происхождения казеина. Полилактид (ПЛА) – биоразлагаемый материал импортного производства, стоимость которого варьируется от 6 долл. США. С целью удешевления биоразлагаемых композиций в качестве наполнителей использовали компоненты из вторичных природных ресурсов. Перспективным сырьем для таких наполнителей являются отходы переработки сельскохозяйственной продукции (гречневая лузга) и деревопереработки (древесная мука – ДМ).

Композиции на основе ПЛА содержали растительный наполнитель в количестве от 40 мас. % до 80 мас. %. Образцы заготовок получали путем смешивания компонентов на двухшнековом экструдере с последующим формованием листовых заготовок на вальцах. Из полученных заготовок методом горячего прессования получали экспериментальные образцы изделий – прототипов одноразовой посуды (тарелка).

Для создания биоразлагаемого КМ на основе казеина и растительных наполнителей подобраны технологические компоненты – гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и кислота лимонная (КЛ), способствующие получению коллоидного раствора связующего. Отработана технологическая схема получения в лабораторных условиях связующего на основе казеина. Преимущество композиций на основе казеина – отсутствие необходимости применения повышенных температур при переработке. При использовании в качестве технологического компонента КЛ получали водорастворимую композицию, при использовании $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – водонерастворимую. Полученный КМ формуют в изделие с помощью пресс-формы. Сформованное изделие сушат. Образцы материалов подвергали испытаниям на водопоглощение и биоразложение. Испытания на водопоглощение показали, что КМ на основе ПЛА, наполненного растительными компонентами, по своим характеристикам сопоставим с ненаполненными образцами. Экспериментально установлено, что водопоглощение образцов состава казеин/ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /ДМ зависит, во-первых, от свойств самого связующего и, во-вторых, от дисперсности наполнителя.

Проведены экспериментальные испытания КМ на устойчивость к биоразложению в лабораторных и естественных природных условиях путем гравиметрического измерения массы образцов и визуальной оценки. Установлено, что после 6 месяцев испытаний наиболее подверженными биоповреждению являются образцы на основе ПЛА с содержанием наполнителей более 60 мас. %: отмечены участки активного роста плесени, а также обнаружено снижение массы образцов в естественных условиях до 14 %, в то время как масса образцов из ПЛА без наполнения практически не изменяется. Образцы КМ на основе казеина в течение 9 месяцев теряют до 50 %.

На рецептуры биоразлагаемых КМ подана патентная заявка и получен патент РБ № 24713. Предполагаемая область применения разработки – изготовление одноразовой посуды, тары и упаковки.

Работы выполнены в рамках программы ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «Многофункциональные и композиционные материалы» задание 4.2.2.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Упаковка пищевых продуктов: материалы, технологии, экология : монография / И. Ю. Ухарцева, В. А. Гольдаде, Е. А. Цветкова, В. М. Шаповалов ; под ред. В. А. Гольдаде. – Мн. : Бел. навука, 2023. – 286 с.
2. Биоразлагаемые пластики на основе растительного сырья: разновидности, свойства, области применения (Обзор) / В. М. Шаповалов, Н. С. Винидиктова, М. А. Коваленко, О. В. Конакова // Полимерные материалы и технологии. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 6–19.
3. **Винидиктова, Н. С.** Технологические аспекты формирования биоразлагаемых композиций на основе возобновляемого сырья / Н. С. Винидиктова // Полимерные материалы и технологии. – 2025. – Т. 11, № 4. – С. 55–63.

УДК 621.833

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ABS-ПЛАСТИКОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА СЖАТИЕ

С. В. ГОНОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Аддитивные технологии активно используются в машиностроении. Данные технологии применимы для изготовления деталей в серийном и единичном производствах. Метод послойного наплавления (FDM) – достаточно распространенная технология 3D-печати, позволяющая получать изделия любой сложности из ABS-пластиков. Детали, полученные при помощи 3D-печати, рассчитаны на определенный срок службы, на протяжении которого они должны сохранять прочность и жесткость. Данные о механических свойствах, необходимые для расчета на прочность и жесткость, можно получить путем механических испытаний на простые виды нагружения.

Механические испытания при сжатии производятся на стандартных образцах цилиндрической или призматической формы, изготовленных из ABS-пластиков, при помощи метода FDM. Испытания позволяют определить механические характеристики и выявить факторы, влияющие на механические свойства материала при данном виде нагружения. К этим факторам относятся: режимы печати и качество изготовления образца из ABS-пластика.

При определении режимов печати основное внимание уделяется степени заполнения. Исследования показывают, что более прочными являются образцы при 100-процентном заполнении. Снижение степени заполнения сокращает время изготовления образца и расход материала, но механические характеристики при этом уменьшаются. При испытании частично заполненных образцов механические характеристики во многом определяются ориентацией и толщиной слоев, формой и направлением заполнения.

Скорость печати в основном оказывает влияние на величину модуля упругости. Уменьшение скорости приводит к увеличению указанной характеристики. В основном печать образцов производится со скоростью 30...45 мм/с.

Исследования показывают, что при печати проявляются дефекты образцов: расслаивание, несплошность, смятие граней и искажения формы. Эти дефекты чаще всего имеют место в образцах с низкой степенью заполнения. Неровности поверхности могут присутствовать в любых образцах. Дефекты приведут к некорректным результатам при проведении эксперимента. Из-за усадки материала разница действительных размеров от номинальных может составлять 1...2 мм.

Учитывая данные факторы, можно также получить представление о поведении материала как при испытаниях на сжатие, так и в условиях эксплуатации.

УДК 621.785.533

НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ
ПРИ ЦЕМЕНТАЦИИ И НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛЕЙ

В. М. КОНСТАНТИНОВ, В. А. ЛЕШОК

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Значительную долю стальных деталей и инструментов в промышленности подвергают химико-термической обработке (ХТО) с целью повышения их эксплуатационных характеристик. Например, в автомобилестроении методами цементации, нитроцементации и азотирования упрочняют до 60 %...70 % всех изделий. Наряду с очевидными преимуществами, существенным недостатком многих процессов ХТО, особенно реализуемых в порошковых средах, является низкая скорость формирования диффузионного слоя. В связи с этим актуальной задачей является разработка и изучение эффективных приемов интенсификации этих процессов. Таким образом, достижение интенсификации процесса напрямую связано с решением задачи ресурсосбережения.

За толщину цементованного слоя принимали расстояние от поверхности до точки, на которой микротвёрдость составляла 550 НВ. За толщину нитроцементованного слоя принимали расстояние от поверхности до точки, на которой микротвёрдость превышала твердость сердцевины на 50 НВ. Степень интенсификации цементации и нитроцементации определялась как относительное увеличение толщины диффузионного слоя по сравнению с базовым режимом:

$$\Delta = \left(\frac{h_i - h_0}{h_0} \right) \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где h_i – толщина слоя после соответствующего варианта ускорения; h_0 – толщина слоя при базовом режиме без ускорения.

Изучены процессы цементации и нитроцементации в порошковых средах на основе биоуглерода и древесного угля. Установлено, что степень интенсификации для составов на основе биоуглерода выше, чем для составов на основе древесного угля: при цементации на 20 %...21 %; при нитроцементации – на 19 %...20 % (рис. 1, а).

Исследовалось влияние предварительного окисления на последующую цементацию и нитроцементацию. Установлен экстремальный характер влияния температуры предварительного окисления на степень интенсификации. Оптимальный диапазон температуры окисления составляет 500 °С...550 °С, который приводит к повышению степени интенсификации до 38 % (рис. 1, б).

Изучалось влияние предварительной пластической деформации на интенсификацию последующей газовой нитроцементации. Установлено, что степень деформации нелинейно влияет на степень интенсификации. Оптимальный

диапазон степени деформации составляет 20 %...30 %, который приводит к росту степени интенсификации до 52 % (рис. 1, в).

Полученные результаты по влиянию предварительного окисления и пластической деформации соответствуют ранее выполненным исследованиям школы проф. Л. Г. Ворошнина [1, 2].

Заключительным этапом исследования была оценка возможности комбинирования приемов интенсификации (окисления и пластической деформации). Были обнаружены следующие особенности. Раздельное применение ускоряющих приемов позволяло достичь степени интенсификации: для окисления – 38 %; для пластической деформации – 52 %. Логично было бы ожидать, что комбинирование привело бы к степени интенсификации 90 % (как аддитивная сумма отдельных методов: 38 % + 52 %). Но экспериментально было обнаружено, что степень интенсификации нитроцементации составляла 118 %, т. е. неаддитивный прирост при комбинировании составил 28 % (рис. 1, г).

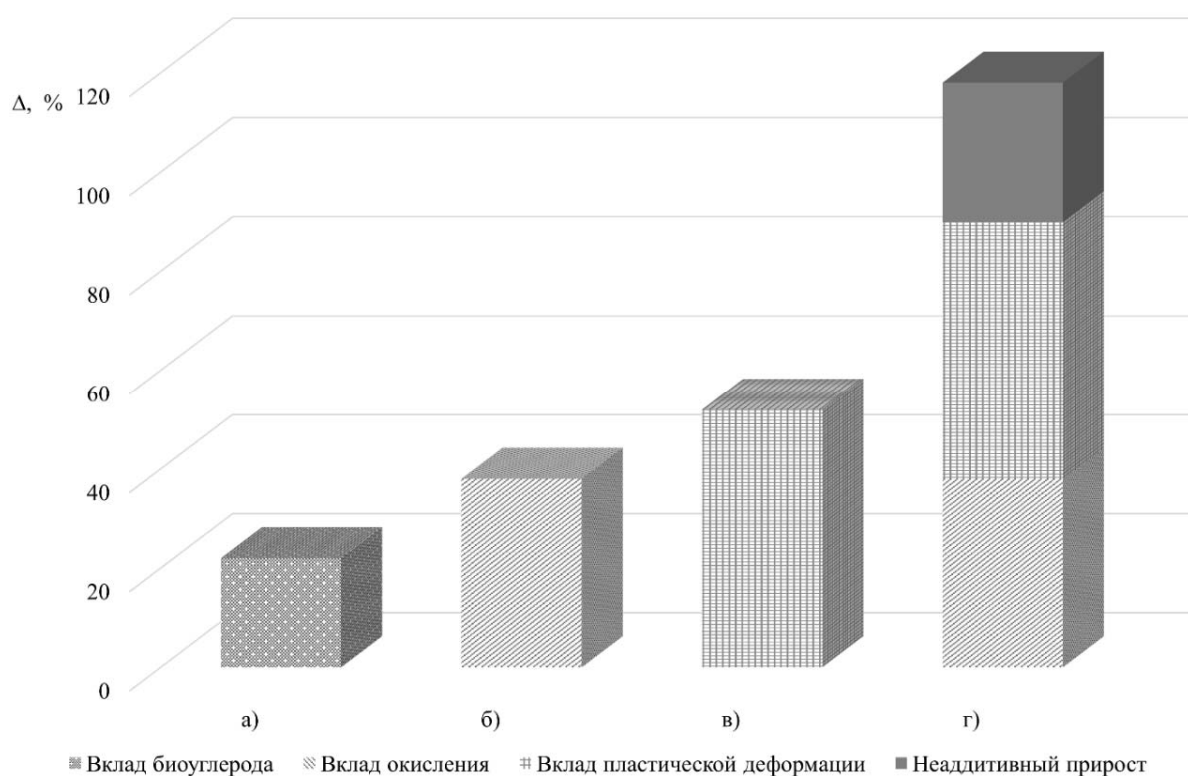


Рис. 1. Степень интенсификации цементации и нитроцементации в зависимости от приемов интенсификации: а – применение биоуглерода; б – окисление; в – пластическая деформация; г – комбинирование окисления и пластической деформации

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ворошнин, Л. Г.** Актуальные проблемы химико-термической обработки / Л. Г. Ворошнин, В. В. Константинов // Наука и техника. – 2002. – № 4. – С. 22–26.
2. **Константинов, В. М.** Диффузионно-легированные сплавы для защитных покрытий : дис. ... д-ра техн. наук / Константинов В. М. – Мн., 2008. – 474 л.

УДК 621.794.61

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ РЕЖИМОВ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ТИТАНА НА СОСТАВ ФОРМИРУЕМЫХ ПОКРЫТИЙ

А. Ю. КОРОЛЁВ, В. С. НИСС, Е. В. СОРОКА

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»
Минск, Беларусь

В результате микродугового оксидирования (МДО) титана на поверхности формируются оксидные покрытия, состав и физические характеристики которых могут отличаться в зависимости от условий и режимов проведения процесса. Например, повышенное содержание фосфатов (TiPO_4 и $\text{Ti}(\text{HPO}_4)_2$) в покрытии титана улучшает их биосовместимость. Преобладание в оксидном покрытии рутила, более твердого по сравнению с анатазом, обеспечивает повышение износостойкости.

Основными технологическими параметрами в процессе МДО являются состав электролита, напряжения и плотность тока. Применение высокочастотных источников питания открывает дополнительные возможности для управления процессом, позволяя в широких пределах варьировать такие ключевые характеристики, как длительность и частота следования импульсов, что оказывает непосредственное влияние на тепловую динамику в зоне разряда и, как следствие, на механизмы формирования покрытия [1].

В данной работе исследовано влияние частоты импульсов на фазовый состав покрытий, формируемых на титане в фосфатсодержащем электролите. Целью исследования являлось установление корреляций между частотным режимом МДО и образованием целевых фаз (полиморфов TiO_2 и фосфатных соединений) для последующего контролируемого получения структур с повышенной биосовместимостью или износостойкостью.

МДО выполнялось в 1-процентном растворе ортофосфорной кислоты (H_3PO_4) в дистиллированной воде с температурой 20 °С. Для обработки использовались образцы из титана ВТ1-0 в виде пластин размерами 20 × 5 × 1 мм. Образцы обрабатывались с продолжительностью 10 мин. Для схемы питания применялась последовательность прямоугольных импульсов положительного и отрицательного напряжения частотой от 50 до 2000 Гц с нулевыми паузами между ними. Временные и амплитудные параметры импульсов приведены в табл. 1. Для определения фазового и химического состава оксидного покрытия обработанных образцов использовался рентгенофазовый анализ.

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что частота импульсов оказывает значительное влияние на фазовый состав формируемого оксидного покрытия (рис. 1). При увеличении частоты импульсов от 50 до 2000 Гц содержание анатаза (TiO_2) снижается с 58 % до 5 %. При этом одновременно с этим наблюдается увеличение содержания рутила (TiO_2) более чем в 5 раз – с 12 % до 70 %. Выраженной зависимости содержания TiPO_4 от частоты МДО не отмечается. Его количество находится в диапазоне 10 %...20 %

и имеет максимальное значение при частотах 500...1000 Гц. Содержание $\text{Ti}(\text{HPO}_4)_2$ при повышении частоты от 50 до 2000 Гц снижается с 15 % до 0 %. Содержание аморфной фазы составляет 5 % в диапазоне частот от 50 до 1000 Гц и возрастает до 10 % при частоте 2000 Гц. Суммарное содержание фосфатов, определяющих качество остеоинтеграции достигает максимума (30 %) при частоте 500 Гц.

Табл. 1. Характеристики импульсов при обработке образцов

Номер образца	1	2	3	4
Частота, Гц	50	500	1000	2000
Амплитуда импульса U_+ , В	400	400	400	400
Амплитуда импульса U_- , В	-50	-50	-50	-50
Длительность импульса t_+ , мс	5	0,5	0,25	0,125
Пауза после импульса t_+ , мс	5	0,5	0,25	0,125
Длительность импульса t_- , мс	5	0,5	0,25	0,125
Пауза после импульса t_- , мс	5	0,5	0,25	0,125

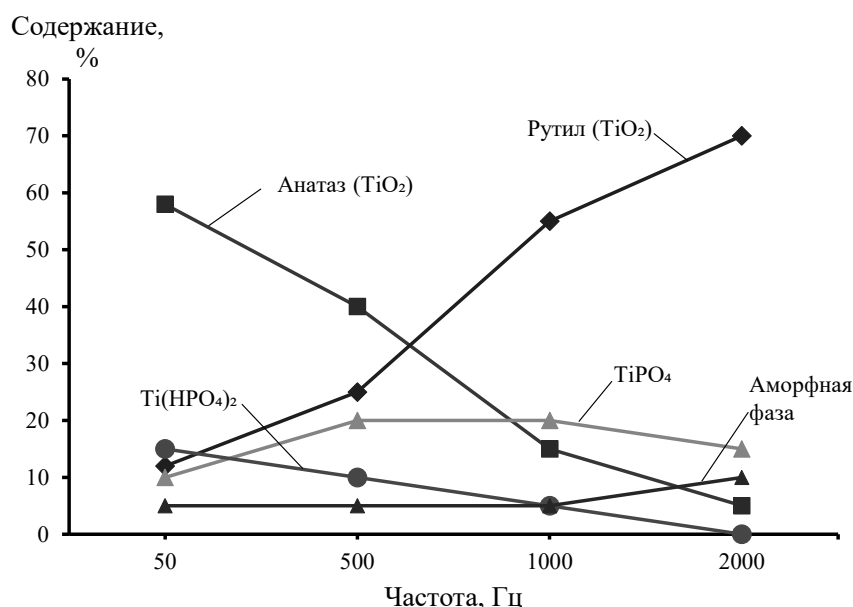


Рис. 1. Влияние частоты импульсов на состав формируемого покрытия

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нисс, В. С. Свойства покрытий, полученных методом микродугового оксидирования в высокочастотных режимах / В. С. Нисс, А. Ю. Королёв // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки «Технология – Оборудование – Инструмент – Качество» : тез. докл. 38 Междунар. науч.-техн. конф. в рамках междунар. специализир. выставки «Металлообработка-2024», Минск, 11 апр. 2024 г. – Мн. : Бизнесофсет, 2024. – С. 47–48.

УДК 621.83

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС УЗЛОВ МФУ

Е. Г. КРИВОНОГОВА, Д. С. ГАЛЮЖИН, В. В. ШЕВЦОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Многофункциональные устройства (МФУ), совмещающие в себе несколько функциональных аппаратных устройств, прочно вошли в нашу жизнь и используются практически повсеместно. Основным преимуществом таких устройств является экономия места, особенно это актуально в условиях ограниченного пространства современных офисов. И, конечно, стоимость одного МФУ, как правило, существенно ниже, чем стоимость трех или даже более копировальных устройств. Следовательно, к таким устройствам предъявляются определенные требования по габаритам и массе. Передача движения рабочим органам осуществляется в большинстве случаев с помощью зубчатых передач, элементы которых изготавливают из полимеров различными методами.

В отличие от традиционных зубчатых колес, изготовленных из металлов и сплавов, колеса из полимеров не подвергаются последующей механической обработке. Постобработка заключается в зачистке поверхности и снятии заусенцев, поэтому для обеспечения необходимых выходных характеристик требования точности и качества должны быть выполнены в процессе изготовления.

Элементы узлов МФУ могут быть либо полностью изготовлены из полимеров, либо частично содержать металлические элементы, которые будут служить для стабилизации конструкции и увеличения ее жесткости, а также обеспечивать надежность работы узла при перегрузках. Наиболее слабым элементом в таком механизме будут являться именно зубчатые колеса, при выходе из строя которых замене, как правило, подлежит узел целиком. В зависимости от конкретного назначения и места размещения узла его цена может составлять до 50 % стоимости самого МФУ без учета оплаты услуг специалиста, осуществляющего замену. Также стоит учитывать время простоя МФУ в связи с нахождением его в ремонте, которое будет включать в себя не только время, затраченное на разборку и сборку, но и время на заказ и доставку элементов. Также возможно отсутствие необходимого узла у поставщика: МФУ может быть снято с производства либо не поставляться в данный регион.

Поэтому является актуальным наличие возможности изготовления зубчатых колес узлов МФУ с применением методов аддитивных технологий, которые позволяют осуществить замену только вышедшего из строя зубчатого механизма без покупки всего, как правило дорогостоящего, узла.

В качестве примера рассмотрим узел, который в техническом паспорте устройства носит название: двигатель сканера с редуктором в сборе для МФУ Canon MP140 (рис. 1).

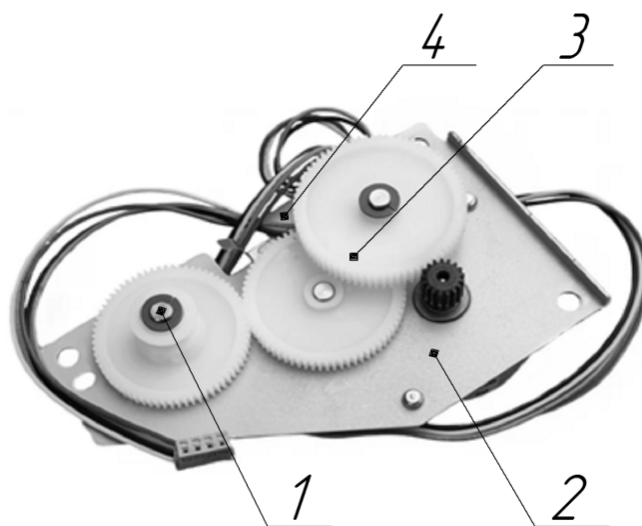


Рис. 1. Двигатель сканера с редуктором в сборе для МФУ Canon MP140:
1 – направляющая ось; 2 – направляющая пластина; 3 – редуктор; 4 – электродвигатель

Данный узел предназначен для механического перемещения каретки со сканирующей лампой и сенсором вдоль сканируемого документа, чем обеспечивается процесс получения изображения. Этот механизм является ключевым элементом подвижной части планшетного сканера в составе МФУ Canon MP140. Его работа осуществляется следующим образом: двигатель вращает шестерни редуктора, который, в свою очередь, через приводной ремень или механизм тянет каретку сканирующего элемента по направляющей оси. Редуктор понижает скорость вращения двигателя, обеспечивая плавное, точное и равномерное движение каретки для получения качественного и четкого изображения.

Попадание посторонних предметов, таких как скрепки и пыль, в механизм, а также превышение допустимых параметров печати ведет к износу и выходу из строя шестерен редуктора. Данные виды износа невозможно спрогнозировать и предусмотреть плановую замену. В данном случае изготовление изношенных элементов методами современной 3D-печати является наиболее рациональным, простым, удобным и на современном этапе уже относительно недорогим способом ремонта.

По результатам печати с применением технологии SLA на 3D-принтере Formlabs Form 3 на изготовление трех шестерен для рассматриваемого узла было израсходовано материала Grey V4 в объеме 7,8 мл, время печати с учетом времени разогрева принтера и подготовки к печати, составило 1 ч 50 мин. С учетом времени на промывку, просушку и поляризацию общее время на изготовление составило 2 ч 30 мин. Стоимость 1 л фотополимерной смолы составляет 700 бел. р., следовательно, себестоимость печати шестерен составляет 5,46 бел. р.

Стоимость узла с учетом доставки в Республику Беларусь составляет 87 бел. р.

Проведение данного исследования подтвердило актуальность использования аддитивных технологий при изготовлении зубчатых колес узлов МФУ.

УДК 621.83

АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ, КОТОРЫЕ МОГУТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС УЗЛОВ МФУ МЕТОДАМИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Е. Г. КРИВОНОГОВА, В. В. ШЕВЦОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современные многофункциональные устройства состоят из большого количества узлов, в которых применяются и активно участвуют в работе зубчатые колеса, изготовленные из различных полимеров.

Для изготовления зубчатых колес из полимеров могут использоваться следующие виды технологий: FDM/FFF (Fused Deposition Modeling), SLA (Stereolithography), SLS (Selective Laser Melting). Каждая технология имеет свои преимущества и недостатки, которые определяют область ее применения.

Существенное влияние на применение материалов оказывает вид принтера. Как правило, производитель либо сам является поставщиком необходимых полимеров, либо вводит определенные рекомендации по применению.

При проведении данного анализа рассматривались материалы, используемые при печати методом SLA, который заключается в обеспечении затвердевания фотополимерной смолы под действием лазера, и совместимые с принтером Formlabs Form 3. Это фотополимерные смолы Grey Resin V4, Rigid Resin, Tough 2000 Resin. Основные механические характеристики прочности и пластичности этих материалов представлены в табл. 1.

Табл. 1. Механические характеристики прочности и пластичности

Параметр	Rigid Resin	Tough 2000 Resin	Grey Resin V4
Предел прочности при растяжении, МПа	88	46	65
Модуль упругости при растяжении, МПа	$11 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$
Относительное удлинение, %	1,7	48	8...12 (после постотверждения)
Модуль упругости при изгибе, МПа	$9,9 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$

Изучив данные, приведенные в таблице, можно сделать вывод, что, например, фотополимер Rigid Resin является более прочным, чем Tough 2000 и Grey V4, однако вместе с тем и более хрупким, следовательно, будет ломаться без деформаций из-за низкого показателя относительного удлинения.

Рассматриваемые материалы могут быть использованы для изготовления зубчатых колес, однако их применение во многом будет зависеть от места расположения узла в системе МФУ, что влияет на то, какие дополнительные нагрузки и воздействия необходимо учесть при выборе материала.

УДК 621.787.4

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ОБКАТЫВАНИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Е. А. КУДИНОВ, В. А. СКЛЯР, А. И. ШАПОВАЛОВ

Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»
Старый Оскол, Россия

Для современного прокатного производства, как и для других отраслей промышленности, актуальным является повышение производительности технологических машин. Это требует использования новых материалов и сплавов с повышенными физико-механическими характеристиками.

Одним из путей повышения производительности является увеличение межремонтного периода за счет восстановления и упрочнения деталей, работающих в агрессивных средах или на непрерывных производствах, например, ролики рольгангов прокатных станов. Увеличение межремонтного периода за счет формирования упрочненных поверхностных слоев с повышенной износостойкостью является перспективным направлением развития. Для этих деталей актуальными будут планово-предупредительные мероприятия по их ремонту и замене.

Эффективным способом достижения этих целей является электроискровое легирование, позволяющее создавать поверхностные слои с контролируемыми химико-физическими свойствами. Одной из особенностей метода является локальный нагрев материала подложки без термического влияния на большие глубины основного объема материала [1].

Основной целью исследования является изучение процесса обкатывания сформированных электроискровых покрытий для определения поверхностной твердости, опорной площади и шероховатости поверхности.

В прокатном производстве для деталей механизмов характерно применение сталей с повышенными физико-механическими свойствами. Такие материалы обеспечивают увеличенный срок службы деталей, взаимодействующих с прокатываемыми или транспортируемыми изделиями. Материалом подложки в исследовании выступает образец из стали 30ХГСА ГОСТ 4543–2016. Эта сталь зачастую используется в качестве материала для рабочих элементов транспортных рольгангов. Поэтому для определения перспективности внедрения электроискрового легирования в технологические процессы изготовления или ремонта роликов рольгангов будут рассматриваться процессы формирования упрочненного поверхностного слоя именно на этой стали.

Электродными материалами выступают твердые сплавы марок Т15К6 и ВК8. Применение этих материалов будет способствовать повышению износостойкости рабочих поверхностей роликов рольгангов. Для повышения эффективности процесса выглаживания сформированных покрытий будет применяться смазка в виде графитового электрода, который планируется нанести на поверхность образцов методом электроискрового легирования.

Применение графитовой смазки в процессе обкатывания поверхности предположительно может повысить относительную опорную длину профиля поверхности после обработки, т. к. графитовый электрод будет заполнять микронеровности на поверхности после электроискрового легирования [2].

Формирование покрытий на поверхностях образцов планируется выполнить с помощью установки для электроискрового легирования ALIER-METAL G53.

Режимы формирования покрытий во время проведения останутся неизменными: напряжение $U = 20$ В, сила тока $I = 200$ А, мощность импульсного разряда $P = 4000$ Вт, длительность $\tau = 400$ мкс, энергия единичного импульсного разряда $E = 1,6$ Дж, частота $f = 160$ Гц, суммарная энергия за 1 мин обработки $\sum E = 15,4$ кДж·мин. Такие параметры позволят сформировать электроискровые покрытия высокой сплошности, микротвердости и толщины.

Факторами и интервалами варьирования выбраны глубина вдавливания шарика и количество проходов поверхностного пластического деформирования при обкатывании (табл. 1).

Табл. 1. Факторы, уровни и интервалы варьирования

Фактор	Уровень			Интервал $\tilde{J}$
	-1	0	+1	
$\tilde{X}_1$ – глубина вдавливания шарика, мм	1	1,5	2	2
$\tilde{X}_2$ – количество проходов выплаживания, шт.	2	4	6	1

После проведения экспериментов по электроискровому легированию будут определены превалирующие факторы и функции отклика для дальнейшей корректировки режимов формирования покрытий.

Проведение серии предварительных экспериментальных исследований является важным этапом перед внедрением технологии в промышленное производство. Эти эксперименты необходимы для изучения влияния ключевых факторов на качество формируемых покрытий и выявления оптимальных условий процесса.

По результатам испытаний будет проведен статистический анализ полученных данных, чтобы выявить наиболее значимые параметры, влияющие на формирование качественных покрытий. К таким факторам относятся напряжение разряда, длительность импульса, состав рабочей среды, материал электрода и расстояние между обрабатываемым изделием и источником питания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев, К. Н. Анализ эффективности методов электроискрового легирования для повышения износостойкости деталей машин / К. Н. Григорьев, Г. И. Андреев // Инженерия и технология. – 2023. – № 1. – С. 78–85.
2. Петрова, Н. А. Электроискровое легирование в технологических процессах машиностроительного производства / Н. А. Петрова, А. В. Сидоров // Вестник технологического университета. – 2020. – № 3. – С. 89–96.

УДК 66. 669

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ С РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИМ ПОРОФОРМ

И. В. ЛАПИН, И. М. ГИЛЬМУТДИНОВ, М. М. ГРЕБЕНЩИКОВА

Казанский национальный исследовательский технологический университет
Казань, Россия

Исследован процесс получения нового типа пенометаллического материала с использованием новых типов пенообразователей, полученных из отходов производства, в сравнении с другими типами пористых металлов и их пенообразователями, такими как гидрид титана, различные типы карбонатов и др. Рассмотрен технологический процесс получения пенометаллов и механизм формирования их пористой структуры на стадии спекания. Проведен индукционный нагрев образцов в модельной установке, изучены физические характеристики процесса теплопередачи.

Пенометаллы представляют собой сверхлегкие материалы с ячеистой структурой, сочетающие свойства металлов с высокой энергопоглощающей способностью и низкой плотностью.

Исследование посвящено разработке и анализу пенометаллов, созданных с использованием инновационных вспенивателей из производственных отходов CaCO_3 (рис. 1), в качестве альтернативы традиционным агентам – гидриду титана TiH_2 , а также традиционным карбонатам CaCO_3 , MgCO_3 .

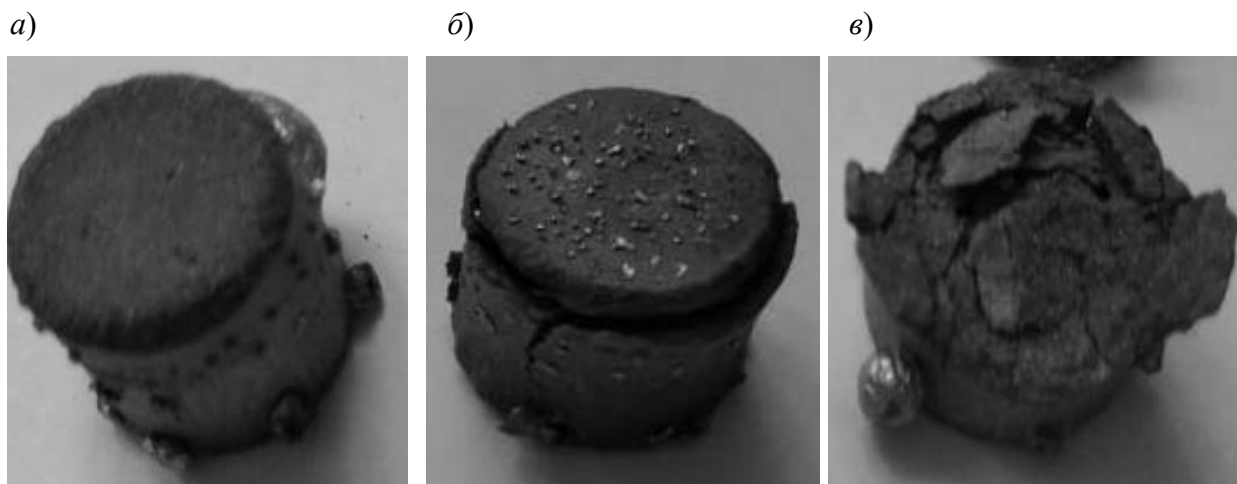


Рис. 1. Образцы диаметром 10 мм спекаемого алюминия с порообразователем CaCO_3 :
а – с усилием прессования 200 МПа; *б* – с усилием прессования 300 МПа; *в* – с усилием прессования 400 МПа

Ключевые аспекты исследования.

Сравнительный анализ. Использование отходов в качестве пенообразователей позволяет снизить себестоимость производства по сравнению с дорогостоящим TiH_2 и обеспечивает контролируемое выделение газа, сопоставимое с карбонатами.

Технологический процесс. Рассмотрен метод порошковой металлургии, включающий смешивание металлической матрицы с частицами нового пенообразователя, прессование заготовок и последующую термическую обработку.

Механизм порообразования. На стадии спекания при достижении температуры плавления (или размягчения) матрицы происходит термическое разложение отходов-пенообразователей. Газообразные продукты реакции формируют пористую структуру, удерживаемую силами поверхностного натяжения расплава.

Индукционный нагрев. В ходе эксперимента на модельной установке образцы подвергались быстрому индукционному нагреву. Этот метод обеспечивает высокую скорость передачи энергии и равномерность прогрева, что критично для стабилизации размера пор.

Теплофизические характеристики. Изучена динамика теплопередачи в процессе вспенивания. Установлено, что пористость существенно влияет на коэффициент теплопроводности, замедляя прогрев внутренних слоев материала по мере роста ячеек.

Усовершенствование. Создание композитных пен (добавление керамических частиц) для повышения износостойкости.

Снижение стоимости:

- переход на использование вторичного алюминиевого лома;
- замена дорогостоящего гидрида титана на более дешевые вспениватели (например, карбонаты).

Области применения.

Транспорт. Зоны деформации в автомобилях, полы скоростных поездов.

Строительство. Звукоизоляционные и огнестойкие панели.

Энергетика. Компактные теплообменники и электроды для аккумуляторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лапин, И. В.** Получение пористой меди разложением порообразующих частиц / И. В. Лапин, И. М. Гильмутдинов, Р. Н. Аскарова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2024. – № 2 (285). – С. 47–51.
2. **Лапин, И. В.** Получение пеноалюминия с применением альтернативного порофора / И. В. Лапин, И. М. Гильмутдинов // Вестник Югорского государственного университета. – 2024. – Т. 20, № 1. – С. 46–50.
3. Повышение эффективности в использовании малозатратных порофоров для получения новейших материалов / И. В. Лапин, В. В. Жиликов, Г. А. Аминова, И. В. Вишнякова // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. – 2020. – Т. 76, № 1. – С. 57–60.

УДК 691.175, 620.172

АППРОКСИМАЦИЯ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИСПЫТАНИИ ABS-ПЛАСТИКА НА РАСТЯЖЕНИЕ

И. А. ЛЕОНОВИЧ, Д. И. ЕВМЕНЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Рассмотрены и взаимосвязаны результаты определения прочностных характеристик при растяжении ABS-пластика, напечатанного на принтерах VSHAPER PRO и Hercules Strong. Условия печати и испытания образцов выдержаны в одних пределах и описаны в [1]. Предварительно образцы взвешивались и определялась средняя плотность в каждой партии, состоящей из пяти образцов. Варьировались плотность заполнения (от 100 % до 60 %) и стиль заполнения («линии» и «сетка»).

Формирование образцов на принтере VSHAPER PRO отличается тем, что внешние слои выполняются с плотной (100 %) укладкой нитей независимо от заданной степени заполнения, и только внутренняя часть образца отвечает заданному стилю и плотности заполнения. В результате скорость уменьшения средней плотности материала не коррелирует со скоростью уменьшения (от максимальной до минимальной) заданной плотности печати. Для принтера Hercules Strong эта закономерность проявляется в большей степени, т. к. печатаются несколько наружных плотных слоев, и только четыре внутренних слоя выполняются соответствующим стилем и плотностью печати. На принтере Hercules Strong печатались образцы двумя стилями только при 60-процентном заполнении.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что заданный стиль печати и плотность заполнения не смогут адекватно отразить влияние на прочностные свойства материала, т. к. они перемешаны в одном образце в разной степени. Результат обработки накопленных данных вылился в линейные регрессии:

– для образцов, выполненных стилем «линии» на принтере VSHAPER PRO, и всех образцов, выполненных на принтере Hercules Strong:

$$y = -24,57 + 60,31x; \quad (1)$$

– для образцов, выполненных стилем «сетка» на принтере VSHAPER PRO:

$$y = -79,49 + 114,59x. \quad (2)$$

В качестве независимого параметра, влияющего на предел прочности материала y , МПа, принята средняя плотность x , г/см³.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Леонovich, И. А.** Взаимосвязь между средней плотностью ABS-пластика аддитивной структуры и его прочностными и упругими свойствами / И. А. Леонovich, Д. Д. Адинцов, Д. И. Евмененко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2025. – № 2. – С. 4–13.

УДК 621.762

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ХРОМОВЫХ БРОНЗ

И. А. ЛОЗИКОВ, А. Д. ДОБРОВОЛЬСКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

На завершающем этапе выполнения работ по заданию «Рециклинг дисперсных металлических отходов для создания функциональных материалов и покрытий» в рамках государственной программы научных исследований на 2021–2025 годы ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении», подпрограмма «Металлургия» НИР: ГБ 2108ф «Создание теории и технологии получения модифицированных жаропрочных бронз электротехнического назначения на основе рециклинга медных отходов» по разработанному и утвержденному технологическому процессу получения модифицированных жаропрочных бронз (рис. 1) в рамках выполнения хозяйственных договоров с предприятиями Республики Беларусь были изготовлены две опытные партии указанных материалов на основе меди М1 и рециклингом отработанных изделий электротехнического назначения, из которых механической обработкой получены электроды контактной точечной и рельефной сварки, переданные для прохождения промышленных испытаний в условиях производства на ОДО «Вариж» (г. Минск) и ООО «Завод тканых и сварных сеток» (г. Жлобин).

Белорусско-Российский университет
БРХ.00.00.000.ТП
Идентификационный номер: 53200.000.01

Субмикросталлическая хромовая бронза

Министерство образования Республики Беларусь
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра «Технологии металлов»

УТВЕРЖДАЮ
Проверитель по научной работе
В.М. Пашкевич
« 10 » « 11 » 2025 г.

КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТАЦИИ
на технологический процесс получения
модифицированной жаропрочной хромовой бронзы

ПРОВЕРИЛ
А.И. Хабитуллин
« 10 » « 11 » 2025 г.

ИСПОЛНИТЕЛЬ
И.А. Лозиков
« 10 » « 11 » 2025 г.

ГОСТ 3.21-09-84 Форма 1

Рис. 1. Комплект документации на технологический процесс получения модифицированной жаропрочной хромовой бронзы

ОДО «Вариж» проводило испытания в производственных условиях цеха сварки вентиляционных решеток в период с 25 по 28 ноября 2025 г. Опытные

электроды устанавливались на точечные машины мод. МТ-1701 для сварки элементов рамки вентиляционной решетки РН 4-3, а также для сварки рамки вентиляционной решетки РН 4-2С. Элементы рамок решеток выполнены из высоколегированной нержавеющей листовой стали марки 08Х18Н10 толщиной от 0,5 до 1,0 мм в различных сочетаниях. Режимы сварки варьировались в следующих пределах: $I_{св} = 4...10$ кА; $F = 1,5...2,5$ кН; $T_{св} = 0,2...0,8$ с, и устанавливались в соответствии с технологическими процессами изготовления указанных деталей на сварочных машинах данного типа.

На ООО «Завод тканых и сварных сеток» испытания производили с 1 по 12 декабря 2025 г. на многоточечной машине контактной сварки МТМ 160-11 при изготовлении сетки арматурной сварной для железобетонных конструкций (ГОСТ 23279–2012) из арматурной проволоки (СТБ 1704–2012) диаметром от 3 до 5 мм. Величина сварочного тока варьировалась в пределах 3...9 кА, а усилие сжатия – в пределах 250...400 даН.

Одновременно с опытными были установлены электроды из хромовой бронзы производства Российской Федерации, применяемые на производстве в настоящее время. Эксплуатация электродов проводилась до полного износа.

Производственные испытания, проведенные в широком интервале изменения свариваемых материалов и режимов сварки согласно актам производственных испытаний, представленных на рис. 2, показали, что электроды из разработанных модифицированных бронз, изготовленных как из чистой меди марки М1, так и с элементами рециклинга из отработанных материалов, по стойкости в 1,5–2,2 раза превосходят аналоги из классических хромовых бронз при снижении их стоимости за счет рециклинга медных отходов в 1,5–2 раза.



Рис. 2. Акты производственных испытаний

Результаты проведенной работы являются основанием для разработки проектов ТУ РБ «Модифицированные хромовые бронзы» и ТУ РБ «Электроды прямые электросварочных контактных точечных машин».

УДК 621.793:66.088

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СШИВАЮЩИХСЯ СМОЛ
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Е. В. ОВЧИННИКОВ, А. С. ДАВИДОВИЧ, А. В. КИЗИК

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы

Гродно, Беларусь

Износ и коррозия представляют собой ключевые деструктивные факторы, приводящие к выходу из строя деталей машин, агрегатов и металлических конструкций. Согласно статистическим данным, до 70 % поломок в машиностроении обусловлено именно естественными процессами изнашивания трущихся поверхностей. Параллельно с этим глобальный экономический ущерб от коррозии металлов достигает колоссальных масштабов. Например, в химической промышленности стран СНГ ежегодно безвозвратно теряется свыше 200 тыс. т технологического оборудования и элементов трубопроводных систем. В Соединенных Штатах Америки ежегодные прямые и косвенные потери от коррозии оцениваются, по минимальным расчетам в 70 млрд долл., что эквивалентно 4,2 % валового национального продукта страны.

Эти цифры наглядно демонстрируют острую необходимость в разработке и внедрении эффективных методов защиты ответственных узлов и конструкций. Одним из наиболее действенных и универсальных способов повышения ресурса деталей является применение специализированных защитных покрытий.

Суть данного метода заключается в создании на поверхности детали дополнительного слоя с заданными свойствами, который принимает на себя основные механические и химические нагрузки. Такие покрытия выполняют барьерную функцию, локализуя процессы коррозионно-механического разрушения в поверхностных слоях, тем самым предотвращая глубинные повреждения основного материала. В зависимости от поставленных задач защитный слой может формироваться как из материала, отличного от материала подложки (нанесение извне), так и из материала самой детали путем её модификации (химико-термическая обработка, наплавка и т. д.) [1–3].

Особое место занимают полимерные и композиционные покрытия, которые способны не только защищать поверхность, но и придавать ей особые триботехнические (антифрикционные, износостойкие) свойства, что критически важно для узлов трения скольжения и качения.

Целью настоящего исследования является разработка состава композиционного материала на основе сшивающихся (отверждаемых) олигомеров, а также сопутствующей технологии его нанесения для формирования антифрикционного износостойкого покрытия, предназначенного для работы в тяжело нагруженных узлах трения.

В качестве основы (матрицы) для разрабатываемых композиционных материалов были выбраны два типа олигомеров: эпоксидная смола ЭД-20, отверждаемая аминным отвердителем в массовом соотношении 1:10, карбаминоформальдегидная смола, отверждаемая 10-процентным водным раствором

сульфата аммония в соотношении 1:20. Для модификации олигомерных матриц и придания покрытиям высоких адгезионных и антифрикционных свойств использовались следующие наполнители: природный минерал трепел (диатомит), дисперсный кремнь, малослойный графен и нанодисперсный фторопластовый порошок (УПТФЭ). Содержание модифицирующих добавок в композициях варьировалось и составляло 0,05 мас. %...5 мас. % от общей массы.

Первичное формирование опытных покрытий на пластинах из углеродистой стали осуществлялось по растворной технологии методом окунания в подготовленную жидкую композицию с последующей сушкой и термоотверждением. Для оценки свойств полученных композиционных покрытий был применен комплекс современных физико-химических и механических методов испытаний: ИК-спектроскопия, рентгенофазовый анализ. Адгезионную прочность определяли по ГОСТ 15140–78, испытания на ударную прочность оценивали согласно ГОСТ 4765–73. Определение влагопоглощения разработанных покрытий проводилось путем выдержки в дистиллированной воде при температуре (20 ± 2) °С в течение 24 ч. По изменению массы образцов до и после выдержки рассчитывалось процентное влагопоглощение материала покрытия. Триботехнические испытания (определение коэффициента трения и линейной интенсивности изнашивания) проводились на машине трения по схеме «сфера – диск». Испытания проходили в условиях сухого трения при нормальном давлении от 0,1 до 1 МПа и скорости скольжения 0,1 м/с.

Согласно данным ИК-спектроскопии, не установлено образование химических связей между полимерной матрицей и частицами модифицирующих добавок во всех исследованных покрытиях. Метод рентгенофазового анализа показал появление новых дифракционных максимумов и увеличение их интенсивности с увеличением концентрации, что говорит о возможном влиянии используемых модификаторов на степень кристалличности полимерной матрицы.

Покрытия на основе эпоксидной матрицы показали хорошие результаты, получив оценки 1–2 балла в зависимости от типа и содержания наполнителя. В то же время все покрытия на карбамидоформальдегидной основе продемонстрировали крайне низкую адгезию к металлу (3–4 балла), хрупко разрушаясь и полностью отслаиваясь от подложки при нанесении решетки надрезов. Эпоксидные покрытия выдержали ударные испытания, хотя на части образцов наблюдалось образование трещин по периметру зоны максимального изгиба.

Карбамидоформальдегидные покрытия обладают повышенной хрупкостью: при ударе происходило их разрушение с полным отслаиванием не только в эпицентре, но и на значительном удалении от него. Все исследованные композиционные покрытия показали сравнительно высокую способность к водопоглощению, находящуюся в диапазоне 1 %...5 %. Наилучшие антифрикционные свойства продемонстрировали покрытия на эпоксидной матрице, содержащие от 0,1 мас. % до 0,5 мас. % малослойного графена.

УДК 621.793:66.088

АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ АЛТИНОВ

Е. В. ОВЧИННИКОВ¹, Н. М. ЧЕКАН², Г. А. КОСТЮКОВИЧ³,
И. П. АКУЛА², Л. А. СУЛЕЙМАНОВА⁴, А. В. ПОПРУКАЙЛО³

¹Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
Гродно, Беларусь

²Физико-технический институт НАН Беларуси
Минск, Беларусь

³ОАО «Белкард»
Гродно, Беларусь

⁴Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Наиболее распространенными покрытиями для металлообрабатывающего инструмента являются нитрид титана, карбид титана, карбонитрид титана, нитрид и карбид циркония, карбонитрид циркония, а также хромовые, титановые, алюминиевые и алмазоподобные покрытия. Их получают в вакууме методами PVD, CVD, PCVD или их комбинацией. Современное направление в области вакуумного осаждения связано с созданием многофункциональных покрытий, которые значительно повышают производительность инструмента по сравнению с исходными материалами [1]. Для получения таких покрытий используются многослойные «сэндвич»-структуры, где каждый слой выполняет свою задачу: обеспечение формы, снижение износа, обеспечение коррозионной стойкости, снижение адгезии. Применение металлообрабатывающего острого инструмента с многослойными и композиционными покрытиями заметно повышает его стойкость и рабочие параметры, снижает износ, повышает точность обработки, дает возможность регулирования подачи, повышает качество поверхности и продлевает срок службы инструмента. Например, использование композиционного многослойного покрытия со слоями нитрида титана, титана и алмазосодержащих соединений толщиной от 0,1 до 2 мкм повышает долговечность инструмента в 1,5–5 раз. Такое покрытие наносится послойно на подготовленные поверхности в вакуумных установках. Многофункциональная структура покрытий эффективно обеспечивает высокую износостойкость пар трения в режиме воздействия высоких нагрузок и небольших перемещений. Создание многослойных вакуумных покрытий, включающих нанопазы и наночастицы, с применением многокомпонентных магнитоуправляемых потоков металлической и углеродной плазмы состава (Al-Ti-Cr-Si)-(C, N), CN, CF, CB дает возможность значительно улучшить физические и механические свойства модифицируемых изделий [2, 3]. Многокомпонентные покрытия на основе

алюминия-титана-кремния-азота позволяют получить значимые результаты при эксплуатации металлообрабатывающего инструмента. Это достигается за счет высоких физико-механических параметров данных покрытий, таких как барьерные свойства, т. е. снижающие диффузионные процессы, что позволяет сохранять достаточно точно стехиометрический состав покрытий. Постоянный стехиометрический состав покрытия обеспечивает стабильность эксплуатационных характеристик. Образование защитных слоев на поверхности металлического субстрата позволяет повысить стойкость к коррозионной среде при повышенных температурах, резко снижаются окислительные процессы. Формирование покрытий на поверхности субстрата уменьшает вероятность образования и последующего роста микротрещин. Покрытия системы Al-Ti-Si-N значительно повышают эффективность металлорежущего инструмента. Это обусловлено рядом факторов данных покрытий: они обладают барьерными свойствами, препятствующими диффузии и сохраняющими стабильный стехиометрический состав, формируют защитный слой, повышающий коррозионную и окислительную стойкость при высоких температурах, а также подавляют образование и рост микротрещин. Изучены покрытия на основе алтинов, содержащих в своем составе углерод и фтор. Показано, что покрытия алтинов, содержащие в своем составе фтор и углерод, имеют низкие коэффициенты трения по сравнению с исходными алтинами. Значения коэффициента трения снижаются с 0,8 (исходные покрытия) до 0,4–0,5 (покрытия алтинов, содержащие углерод и фтор). Установлено, что эксплуатационный ресурс инструмента с модифицированным алтиновым покрытием увеличился на 33 %, что можно объяснить сочетанием высокой твердости покрытий алтинов с высокими триботехническими характеристиками поверхностных слоев покрытий, содержащих фтор и углерод.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фторсодержащие сверхтвердые покрытия / Н. М. Чекан [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 2 кн. – Мн. : ФТИ НАН Беларуси, 2025. – Кн. 2. – С. 237–247.
2. Фторсодержащие покрытия алмазоподобного углерода / И. П. Акула [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2024. – Т. 69, № 4. – С. 183–193.
3. Овчинников, Е. В. Ориентационные эффекты в тонкослойных фторсодержащих покрытиях / Е. В. Овчинников // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. Кн. 1 : Материаловедение. – Мн. : ФТИ НАН Беларуси, 2023. – С. 233–239.

УДК 621.793

МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ
ПОКРЫТИЙ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ КАРДАННЫХ ПЕРЕДАЧА. В. ПОПРУКАЙЛО¹, Г. А. КОСТЮКОВИЧ¹, Е. В. ОВЧИННИКОВ²¹ОАО «Белкард»²Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
Гродно, Беларусь

Предъявляемые в настоящее время требования к долговечности и конкурентоспособности карданных передач вызывают необходимость значительного увеличения долговечности входящих в нее шлицевых соединений. Износ шлицевого соединения приводит к увеличению зазоров и нарушению центрирования, что вызывает вибрацию карданной передачи. Поэтому применяют различные способы обработки поверхностей шлицевых соединений, чтобы уменьшить осевые усилия и износ сопрягаемых поверхностей.

В карданных передачах производства ОАО «Белкард» для снижения осевых усилий, возникающих при изменении длины карданной передачи, и увеличения срока службы на рабочие поверхности шлицевой втулки наносится полимерное покрытие на основе полиамида 11 (Rilsan) производства компании ELF АТОСНЕМ (Франция). Однако недостатком данного материала является то, что он является импортным продуктом, имеет более высокий износ по сравнению с полиамидом 6 и 66, а также высокую стоимость [1–3].

В ОАО «Белкард» для решения задачи повышения долговечности шлицевых соединений карданных передач определены четыре основных направления:

- 1) создание производства по выпуску полиамида 11 в Республике Беларусь;
- 2) замена импортного материала (полиамид 11) на отечественные аналоги (модифицированные полиамиды 6 и 66) и полиамид 12 производства НП ООО «Анид» (г. Екатеринбург, Россия);
- 3) оптимизация технологии нанесения полимерного покрытия;
- 4) оптимизация технологии нагрева шлицевых втулок.

По первому направлению в настоящее время существуют небольшие специализированные производственные мощности, позволяющие выпускать небольшие партии полиамида 11 отечественного производства. Однако данных мощностей на текущий момент не хватает для обеспечения данным полимером всех потребителей.

По второму направлению разработаны отечественные составы композиционных покрытий на основе модифицированных полиамидов 6 и 66 и полиамида 12. Проведенные стендовые испытания в лаборатории ОАО «Белкард» и эксплуатационные испытания в составе автомобилей ОАО «МАЗ» и ПАО «КАМАЗ» показали высокие триботехнические и эксплуатационные характеристики данных покрытий, но наблюдалась более низкая адгезионная прочность к металлическим субстратам и более высокий коэффициент влагопоглощения по сравнению с полиамидом 11. В некоторых случаях необходима была дополнительная механическая обработка полимерных покрытий, связан-

ная с получением покрытий точно в размер и удалением поверхностных слоев полимера.

По третьему направлению с целью улучшения качества нанесения полимерного покрытия на шлицевую втулку, улучшения условий труда, повышения производительности выполнения операции по нанесению полимерного покрытия и снижения трудоемкости внедрена технология с применением автоматизированной установки для нанесения полимерного покрытия. Внедрение автоматизированной установки для нанесения полимерного покрытия на шлицевые втулки карданных передач позволило обеспечить стабильность процесса, точность толщины и равномерность наносимого покрытия.

Четвертое направление связано с оптимизацией технологии нагрева шлицевых втулок под операцию нанесения полимерного покрытия. Существующая технология нагрева шлицевых втулок в камерных печах не позволяет получить равномерный нагрев по всему объему втулки из-за перепада сечений и некоторого остывания в промежутки времени перед нанесением полимерного покрытия. Разработанная технология индукционного нагрева шлицевых втулок позволила значительно повысить качество полимерного покрытия и производительность труда.

Проведенные исследования полимерных покрытий на основе полиамида 11, полиамида 12 и модифицированного полиамида 6 из псевдооживленного состояния по оптимизированной технологии с индукционным нагревом шлицевых втулок показали, что применение индукционного нагрева шлицевых втулок:

- обеспечивает толщину покрытия в диапазоне 360...600 мкм;
- обеспечивает разнотолщинность покрытия в пределах одной детали не более 80 мкм;
- обеспечивает неравномерность нагрева шлицевых втулок по длине и диаметру не более 10 °С;
- приводит к однородному нагреву деталей, что позволяет более точно определять температурные диапазоны формирования покрытий;
- позволяет повысить значения степени кристалличности и молекулярного упорядочения в аморфной фазе полимера, что приводит к увеличению значений твердости и износостойкости покрытий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кравченко, В. И.** Карданные передачи: конструкции, материалы, применение / В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, В. А. Струк ; под ред. В. А. Струка. – Мн. : Тэхналогія, 2006. – 409 с.
2. Новые материалы и технологии, применяемые при производстве карданных передач / В. И. Кравченко [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2006. – № 4 (13). – С. 91–99.
3. Нанокпозиционные материалы и технологии, применяемые при производстве карданных передач / В. И. Кравченко [и др.] // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6, Тэхніка. – 2012. – № 1 (123). – С. 83–93.

УДК 669.15:620.178.1

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛУ ДЕТАЛЕЙ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

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

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Шарошечные буровые долота имеют широкое применение при добыче нефти, газа, угля и руд черных и цветных металлов [1]. Долговечность и безотказность бурового инструмента во многом определяется металлургическим качеством и химическим составом применяемых сталей, а также технологией изготовления и упрочнения деталей долот. Шарошечные долота работают при высоком входном крутящем моменте (до 2500 Н·м), контактные напряжения в опорах качения достигают 4000...5000 МПа [1].

Сталь для изготовления шарошек и лап буровых долот должна иметь достаточную твердость и прочность наряду с повышенной пластичностью и вязкостью. Повышенные требования предъявляются и к обеспечению высокого сопротивления абразивному износу и контактной усталости сопряженных поверхностей.

Известно, что высокая твердость применяемой стали обеспечивает хорошую износостойкость рабочих поверхностей, но вызывает повышенную хрупкость корпуса шарошек, что снижает их долговечность. Низкая твердость стали повышает ее пластичность и исключает поломки инструмента, но способствует преждевременному пластическому деформированию контактирующих поверхностей опор долот и шарошек. Противоречивость вышеупомянутых требований усложняет выбор марок сталей для изготовления деталей шарошечных долот.

Таким образом, высокая прочность и вязкость долотных сталей в сочетании с высоким сопротивлением контактной усталости являются основными требованиями к материалу высоконапряженных деталей бурового инструмента. Для изготовления деталей буровых долот применяют стали 12ХН3А, 17ХН2А, 20ХН2А, 20ХН3А, 18Х2Н4ВА, 14ХН3МА, 17Н3МА. В последнее время широкое применение получили стали 14ХН3МА, 15Н3МА, 17Н3МА-Ш, 19ХГНМА, 21ХГНМА. Химический состав этих сталей приведен в табл. 1.

На рис. 1 приведен вид контактного выкрашивания лапы, изготовленной из стали 19ХГНМА. Вид и повышенная глубина повреждения поверхности указывает на послышное развитие усталостных трещин, которое можно отнести к глубинному контактному выкрашиванию. Установлено, что такому выкрашиванию способствовала низкая прокаливаемость поверхностного слоя (рис. 2) и недостаточная твердость упрочненного слоя на его критической глубине, в которой зарождаются и развиваются усталостные процессы. Поэтому основным требованием к обеспечению долговечности деталей бурового инструмента, работающих при высоких контактных нагрузках, является обеспечение требуемой величины в критической зоне упрочненного слоя и формирование заданного градиента распределения твердости по его толщине.

Табл. 1. Массовая доля элементов

В процентах

Марка стали	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Молибден	Сера	Фосфор	Медь
							не более		
14ХНЗМА	0,12... 0,16	0,20... 0,35	0,40... 0,70	1,05... 1,35	3,00... 3,50	0,10... 0,15	0,020	0,020	0,30
15НЗМА	0,11... 0,15	0,15... 0,30	0,30... 0,65	≤ 0,30	3,20... 3,80	0,20... 0,30	0,020	0,020	0,30
17НЗМА-Ш	0,15... 0,20	0,17... 0,37	0,35... 0,65	≤ 0,30	3,20... 3,80	0,20... 0,30	0,015	0,020	0,25
19ХГНМА	0,17... 0,22	0,15... 0,30	0,60... 0,95	0,35... 0,65	0,35... 0,75	0,20... 0,30	0,020	0,020	0,30



Рис. 1. Вид контактного выкрашивания лапы, изготовленной из стали 19ХГНМА

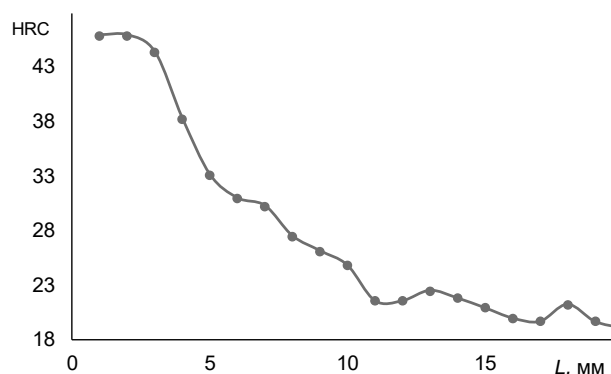


Рис. 2. Распределение твердости по длине торцового образца из стали 19ХГНМА

Другими основными требованиями к цементуемым сталям, применяемым для изготовления деталей бурового инструмента, являются:

- необходимая прокаливаемость и закаливаемость поверхностного слоя и сердцевины: сталь должна обеспечивать бездефектную мартенситно-аустенитную структуру диффузионного слоя с твердостью поверхности 58...62 HRC при твердости сердцевины 25...40 HRC;
- наследственная мелкозернистость, позволяющая сформировать величину действительного зерна упрочненного слоя и сердцевины не грубее № 7;
- минимальное коробление в процессе химико-термической обработки;
- теплостойкость для сохранения твердости при работе долота, а также хладостойкость и способность противостоять ударной нагрузке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амосов, А. П. Долотная сталь / А. П. Амосов, А. Г. Ишук, Т. М. Пугачева. – М. : Машиностроение, 2008. – 291 с.

УДК 621.793:66.088

ФТОРСОДЕРЖАЩИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ ПОКРЫТИЯ

А. Ч. СВИСТУН¹, Д. А. ЛИННИК¹, В. Ю. ФАЛЁСА², А. Е. ОВЧИННИКОВ¹¹Гродненский государственный университет имени Янки Купалы

Гродно, Беларусь

²Центр диагностики, экспертизы и сертификации

Санкт-Петербург, Россия

Одним из эффективных методов упрочнения данного инструмента является электроискровое легирование (ЭИЛ), позволяющее наносить износостойкие покрытия из тугоплавких материалов [1–4]. Твердый сплав Т15К6, содержащий 15 % карбидов титана (TiC) и 6 % кобальта (Co), является перспективным материалом для ЭИЛ благодаря высокой твердости и теплостойкости. Однако карбидные покрытия, обладая высокой износостойкостью, зачастую имеют повышенный коэффициент трения, что может ограничивать их применение в некоторых условиях.

Перспективным направлением является модифицирование трибологических характеристик таких покрытий с помощью фторсодержащих соединений, способных формировать на поверхности слои с низким сопротивлением сдвигу. В качестве подложки использовались образцы из стали Р6М5 после термообработки с твердостью 63...65 HRC. Поверхность образцов шлифовалась до шероховатости $Ra = 0,16...0,32$ мкм. Электроискровое покрытие наносилось на установке UR-121. Анодом-электродом служил твердый сплав Т15К6. Режимы обработки: Norma 2.

Испытания по определению износа и коэффициента трения проводились по схеме «сфера – плоскость» на машине трения FT-2. В качестве контртела использовался индентор из закаленной стали ШХ15. Испытания проводились в двух средах: без смазочного материала (условно-сухое трение) и с применением фторсодержащего олигомера Ф-5. Проводились измерения массы образцов до и после испытаний для определения интенсивности износа. Микроструктура и характер износа изучались с помощью автоматизированного металлографического комплекса.

Электроискровое покрытие Т15К6 на стали Р6М5 представляет собой несплошной, сильно неоднородный слой, состоящий из переплавленных и затвердевших зон, обогащенных карбидами титана (TiC) и частицами кобальта. Толщина покрытия составила 20...40 мкм. Микротвердость поверхностного слоя достигла 8...14 ГПа, что существенно выше твердости подложки (~3...5,5 ГПа). При испытаниях в условиях сухого трения коэффициент трения покрытия Т15К6 находился в диапазоне 0,45...0,55. При введении в зону контакта фторсодержащего олигомера коэффициент трения стабильно снижался до

значений 0,12...0,15. Это объясняется формированием на поверхности трения модифицированного слоя, обогащенного фтором. Данный слой, обладая низкими значениями удельной поверхностной энергии и легкой деформируемостью, выполнял роль разделительной смазки.

Результаты испытаний по определению износа показали, что образцы с покрытием T15K6, работавшие в паре с фторсодержащим олигомером Ф-5, имели массовый износ в 2,8–3,2 раза ниже, чем образцы, испытанные в условиях сухого трения. Микроскопия поверхности образцов после испытаний образцов, обработанных фторсодержащим олигомером, выявила наличие сплошной «пленки» продуктов износа, которая предотвращала прямой контакт и микросхватывание поверхностей трения. На образцах после сухого трения наблюдались признаки абразивного и адгезионного износа с глубокими бороздами и вырывами материала.

Таким образом, электроискровое покрытие T15K6 на стали P6M5 позволяет существенно повысить микротвердость поверхностного слоя (до 14 ГПа). Применение фторсодержащих соединений в зоне трения покрытия T15K6 приводит к значительному улучшению его триботехнических характеристик.

Основной механизм положительного влияния фторсодержащих соединений связан с формированием на поверхности трения разделительной антифрикционной пленки, снижающей коэффициент трения с 0,5 до 0,12...0,15 и предохраняющей покрытие от абразивного и адгезионного износа. Комбинация электроискрового покрытия T15K6 с последующей пропиткой поверхности фторсодержащими составами является высокоэффективной технологией для повышения износостойкости и снижения трения режущего инструмента из стали P6M5.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Овчинников, Е. В.** Триботехнические характеристики плазмохимических покрытий AlTiN / Е. В. Овчинников, Н. М. Чекан, И. П. Акула // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2014. – № 1 (303). – С. 55–63.
2. **Овчинников, Е. В.** Электроискровые покрытия. Структура, свойства, технология формирования / Е. В. Овчинников. – Гродно, 2022. – 254 с.
3. Электроискровые фторсодержащие покрытия / Е. В. Овчинников, А. Ч. Свистун, А. И. Веремейчик [и др.] // *Вестник Брестского государственного технического университета*. – 2025. – № 2 (137). – С. 68–72.
4. Теоретические аспекты формирования электроискровых покрытий на стальных субстратах / А. Ч. Свистун, Е. В. Овчинников, Д. А. Линник [и др.] // *Горная механика и машиностроение*. – 2025. – № 2. – С. 102–110.

УДК 534-8 + 621.9.048.6

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА
ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. К. СУНДУКОВ, А. А. НЕЧАЙ, А. А. РАХМАТУЛАЕВ

Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ)
Москва, Россия

Основным требованием при производстве полимерных композиционных материалов (ПКМ) является равномерность распределения наполнителя в полимерной матрице. Сложность данного процесса заключается в высокой вязкости большинства применяемых полимерных материалов, что затрудняет перемешивание компонентов, и в склонности мелкодисперсного наполнителя образовывать большие по размеру трудноразделяемые агломераты [1].

Для этих целей перспективно использование ультразвуковой обработки. Ударные волны и кумулятивные струи, возникающие при схлопывании кавитационных пузырьков [2, 3], способствуют диспергированию агломератов частиц, а крупномасштабные акустические потоки при высокоамплитудных режимах обработки [4, 5] осуществляют перемешивание и распределение компонентов по объёму.

В данной работе приведены результаты исследований по влиянию режимов ультразвуковой обработки на свойства и структуру ПКМ на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-20 (ЭДП) с добавлением 1 % гексаганального нитрида бора (НБ) по массе. Выбор наполнителя обусловлен высокой склонностью к образованию агломератов, плохой смачиваемостью большинством полимеров и высокими показателями по износостойкости и прочности.

Обработка осуществлялась путём погружения в 40 г жидкого ПКМ излучателя стержневой колебательной системы. При этом компоненты ПКМ были предварительно размешаны и нагреты до 25 °С. Амплитуда колебаний ξ_m составляла 20 мкм, что обеспечивает наибольшую кавитационно-эрозионную активность для значений вязкости 800...1300 мПа·с, которые были получены при проведении предварительных экспериментов.

В результате проведения экспериментальных исследований установлено, что в процессе ультразвуковой обработки частицы наполнителя и их агломераты являются зародышами кавитационных пузырьков, которые активно образуются, пульсируют и схлопываются рядом с ними. Возникающие при этом высокие давления и температуры приводят к диспергированию крупных агломератов наполнителя (рис. 1), разрушению макромолекул полимера и дефрагментации полимерных цепочек, а также вызывают значительное повышение температуры вследствие поглощения полимером акустической энергии.

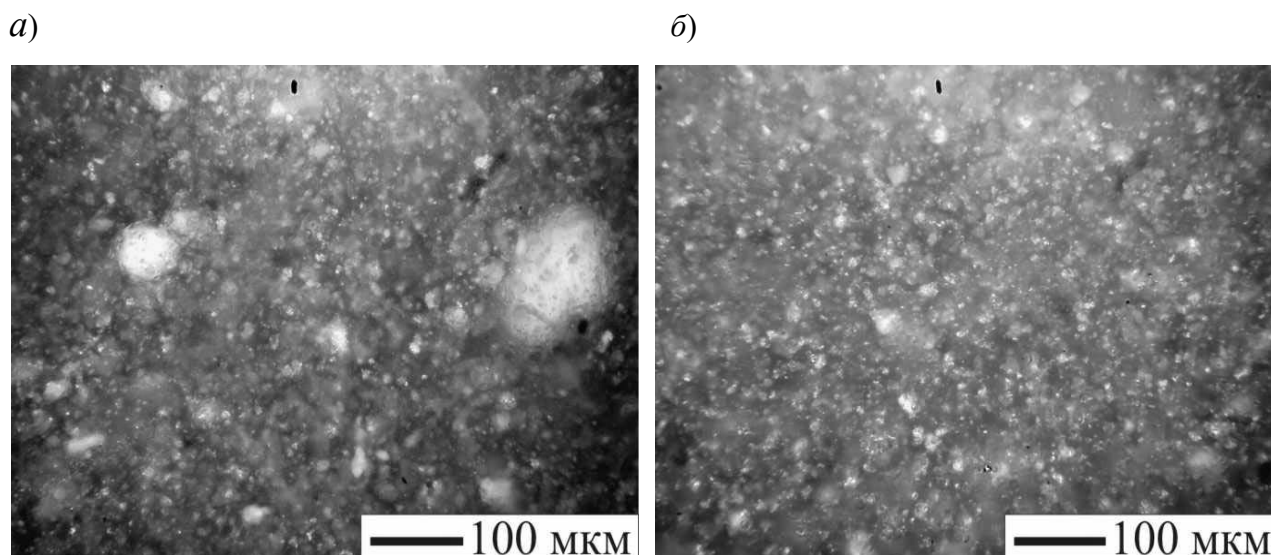


Рис. 1. Структура ПКМ: *а* – без обработки; *б* – $\xi_m = 20$ мкм, $t = 15$ с

Воздействие данных факторов приводит к значительному снижению вязкости до 15 %...25 % от начальной, измельчению структуры ПКМ и повышению равномерности распределения наполнителя в полимерной матрице. Это также приводит к повышению смачивающей способности ПКМ.

Полученные изменения свойств ПКМ, очевидно, оказывают влияние на его механические характеристики.

Испытания на растяжение показали повышение прочности на сдвиг на 20 %...25 %.

В результате трибологических испытаний установлено повышение износостойкости в 5–6 раз.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-00013 (<https://rscf.ru/project/25-29-00013>).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Bittmann, B.** Preparation of TiO₂/epoxy nanocomposites by ultrasonic dispersion and their structure property relationship / B. Bittmann, F. Haupt, A. K. Schlarb // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2011. – № 18 (1). – P. 120–126.
2. Comparison of the effects of ultrasonic cavitation on the surfaces of 45 and 40Kh steels / D. S. Fatyukhin, R. I. Nigmatzyanov, V. M. Prihodko [et al.] // *Metals*. – 2022. – Vol. 12 (1). – P. 138.
3. **Mayson, T. J.** Ultrasonic cleaning: An historical perspective / T. J. Mayson // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2016. – Vol. 29. – P. 519–523.
4. The role of surfactant headgroup, chain length, and cavitation microstreaming on the growth of bubbles by rectified diffusion / T. Leong, J. Collis, R. Manasseh [et al.] // *The Journal of Physical Chemistry C*. – 2011. – Vol. 115 (49). – P. 24310–24316.
5. Comparison of Ultrasonic Surface Treatment Methods Applied to Additively Manufactured Ti-6Al-4V Alloy / S. K. Sundukov [et al.] // *Obrabotka Metallov / Metal Working and Material Science*. – 2025. – Vol. 27 (2). – P. 6–28.

УДК 621.74

РАЗРАБОТКА ЖАРОСТОЙКОГО ЧУГУНА ДЛЯ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

С. А. СУХОЦКИЙ, В. П. ГРУША, П. Ю. ДУВАЛОВ, А. П. ГУТЕВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

Современная промышленность требует применения материалов, обладающих не только повышенной прочностью, но и комплексом специальных свойств, обеспечивающих длительную и надежную работу деталей в самых разнообразных условиях эксплуатации.

В настоящее время на предприятиях Республики Беларусь эксплуатируется большое количество импортного оборудования, работающего в условиях высокотемпературных циклических нагрузок и требующего своевременного обслуживания и поддержания его в рабочем состоянии. Приобретение расходных деталей и запасных частей для импортного оборудования на сегодняшний день затруднено. Поэтому освоение производства импортозамещающей продукции является актуальной задачей.

В мировой практике детали, работающие в нестационарных термомеханических условиях, изготавливают из дорогостоящих железо-углеродистых сплавов, в частности из специальных чугунов, легированных кремнием, никелем, хромом, алюминием и молибденом. Свойства таких чугунов, в том числе и жаростойких, определяются не только химическим составом, но и их структурой. Кремнистый чугун с содержанием кремния до 6 % имеет практически однофазную ферритную матрицу, поэтому отличается высокой стабильностью свойств при повышенных температурах (ростостойчивостью).

Применяется такой чугун в основном для изготовления колосников, топочной арматуры котлов, бронеплит печей отжига в цементной промышленности, подовых плит термических печей. В термоциклическом нестационарном режиме работы эксплуатируются также кокили, изложницы, пресс-формы и другие элементы литейной технологической оснастки, испытывающие высокие тепловые и ударно-механические нагрузки со стороны расплава. Номенклатура используемых в настоящее время отечественных кремнистых жаростойких чугунов ограничена и требует расширения в дальнейшем. Так, ГОСТ 7769–82 предусматривает только две марки жаростойкого кремнистого чугуна (одна с пластинчатой и одна с шаровидной формой графита), польский стандарт предусматривает четыре марки. Известны также другие европейские (Germany/TGL, Czech Republic/CSN) марки кремнистого чугуна. Таким образом, актуальной является задача разработки нового состава экономнолегированного жаростойкого чугуна с различной формой графита для деталей, работающих в условиях высокотемпературного термоциклического нагружения.

УДК 621.922

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Л. Э. ТУРСУНБОВЕВ, Х. Н. РАХМОНОВ

Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М. Т. Уразбаева АН РУ
Ташкент, Узбекистан

Технологический процесс шлифования волокнистых материалов считается формирующим качество волокнистого материала (кожа, текстиль). Поэтому вопросы достижения необходимого качества поверхности материалов представляют практический и теоретический интерес [1].

Эффективность процесса шлифования в значительной степени определяется физическими и геометрическими свойствами абразивных зерен, т. к. они выполняют функцию основного режущего элемента в шлифовальной оболочке [2].

Одним из основных факторов, приводящих к снижению эффективности использования абразивной бумаги в шлифовальных барабанных машинах, является геометрическая неупорядоченность формы абразивных зерен. Неопределенная и произвольная форма зерен создает неблагоприятную конфигурацию образующихся в них режущих микроклиньев, в результате чего определенная часть абразивных зерен не принимает активного участия в общем процессе микрорезания, происходящем при шлифовании, или оказывает крайне незначительное влияние. Такие дефекты, возникающие из-за неупорядоченности формы зерен, существенно снижают физико-механические и режущие свойства абразивного инструмента [3, 4]. Следовательно, существует возможность повысить эффективность процесса шлифования путем устранения проблем, связанных с неупорядоченностью формы абразивных зерен (рис. 1).

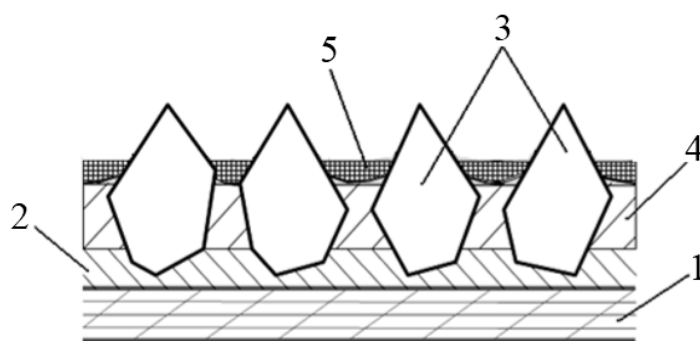


Рис. 1. Конструкция шлифовальной шкурки: 1 – основа; 2 – основной слой связующего; 3 – абразивные зерна; 4 – закрепляющий слой связующего; 5 – пылеотталкивающее покрытие

Абразивные зерна изготавливаются путем дробления и измельчения абразивного материала. Характер воздействия на измельченный материал (удар, трение, разлом) оказывает существенное влияние на форму частиц [5, 6].

Шлифовальная бумага серийного производства содержит в своей связке хаотично расположенные абразивные зерна изометрической, пластинчатой и игольчатой формы. Форма зерен оказывает существенное влияние на процесс шлифования и качество обработки поверхности.

В научных исследованиях форма абразивного зерна может характеризоваться различными способами. В частности, зерно можно рассматривать как эллипсоид вращения, при этом коэффициент формы определяется как отношение малой оси к большой.

Также существует другой подход к определению коэффициента формы как отношение диаметра окружности, описанной вокруг проекции зерна, к диаметру вписанной в нее окружности [7].

Выводы.

Для повышения эффективности процесса шлифования с учетом условий обработки волокнистого материала (силовая нагрузка, скорость, время контакта) необходимо классифицировать абразивные зерна не только по марке и зернистости, но и по их форме.

Заключение.

Анализ результатов исследований показывает, что эффективность процесса шлифования волокнистого материала в значительной степени зависит не только от физико-механических свойств абразивных зерен, но и от их геометрической формы и пространственного расположения. В практически применяемых шлифовальных бумагах неупорядоченная форма зерен приводит к неэффективной работе режущих микроклиньев, снижая режущую способность и износостойкость абразивной бумаги.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Maina, P.** Trends in leather processing / P. Maina, M. A. Ollengo, E. W. Nthiga // International Journal of Scientific and Research Publications. – 2019. – P. 2250–3153.
2. **Байдаков, Н. В.** Влияние зернистости и формы абразивного зерна на эффективность шлифования / Н. В. Байдаков, С. А. Крюков, И. Ю. Орлов // XVII Междунар. науч.-техн. конф. – 2019.
3. **Бахадиров, Г. А.** Расширение технико-эксплуатационных возможностей шлифовальных материалов / Г. А. Бахадиров, А. М. Набиев, Л. Э. Турсунбоев // Научный журнал по механике и технологии. – 2025. – № 1.
4. **Набиев, А. М.** Особенности и анализ конструкций барабанных машин для шлифования кожных полупродуктов / А. М. Набиев, Л. Э. Турсунбоев // Вестник транспорта. – 2025. – Т. 2, № 1. – С. 113–118.
5. **Бахадиров, Г. А.** Техника и технология для обработки кожсырья / Г. А. Бахадиров, Г. Н. Цой, А. М. Набиев. – Новосибирск : Сибир. акад. книга, 2023. – 214 с.
6. **Nabiev, A. M.** Combined Extraction of Liquid from Wet Leather Semifinished Products / A. M. Nabiev // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2022. – P. 486–495.
7. **Шатко, Д. Б.** The influence of the grinding grains shape and orientation on performance of coated abrasive tools / Д. Б. Шатко, В. С. Люкшин, П. А. Стрельников // MATEC Web of Conferences. – № 297, article 09006.

УДК 534-8, 621.9.048.6

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Д. С. ФАТЮХИН, Р. И. НИГМЕТЗЯНОВ,
В. К. КОЛЬДЮШОВ, Л. В. БАТОВА

Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ)
Москва, Россия

Одним из способов печати металлических деталей является ультразвуковая аддитивная технология UAM (Ultrasound Additive Manufacturing Technology) [1]. Данная технология основана на сварке трением металлических листов под действием давления и ультразвуковых колебаний, передаваемых элементам соединения [2]. Предварительно раскроенные листы фольги послойно сваривают, после чего проводится фрезерная контурная постобработка. К основным преимуществам UAM относят низкие температуры соединения листов и возможность соединения таких материалов, как медь, сталь, алюминиевые и титановые сплавы, а также их комбинации [3].

С точки зрения разработки оборудования для реализации процесса UAM наиболее трудоёмким является расчет волновода-концентратора, который представляет собой ступенчатый вал.

Особенности конструкции такого волновода следующие. На рабочей поверхности волновода, непосредственно выполняющей работу по сварке листов (ролике), должна быть обеспечена наибольшая возможная амплитуда колебаний, касательных к поверхности элементов свариваемого соединения (сдвиговые колебания). К участкам волновода, которые связывают колебательную систему с акустически неподвижными частями установки, предъявляется ряд требований, таких как достаточная жесткость и прочность, акустическая изоляция от неподвижных частей установки, минимальные потери энергии.

Учитывая вышеизложенное, расчет размеров волновода-концентратора требует учёта множества факторов. Для обеспечения максимальной амплитуды сдвиговых колебаний на рабочей поверхности излучателя в заданных условиях проведено моделирование и расчет волновода для использования в аддитивном производстве по технологии UAM.

Исследование модели излучателя было проведено в частотной области с использованием физического модуля механики твердого тела (Solid Mechanics) в программном обеспечении Comsol Multiphysics.

Полученные на основе расчетов размеры волновода-концентратора представлены на рис. 1.

По полученным расчётным данным был изготовлен и испытан волновод-концентратор из стали 40Х.

Измерения амплитуды колебаний с помощью объект-микрометра (с ценой деления 1 мкм) показали, что амплитуда колебаний середины рабочей части

УДК 621.762

ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ЛИГАТУРЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ СТАЛИ
В ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ МЕТОДОМ
РЕАКЦИОННОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

А. И. ХАБИБУЛЛИН, Н. Б. КИСЕЛЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Используя технологию реакционного механического легирования, разработанную в Белорусско-Российском университете, можно получать модифицирующую лигатуру для повышения эксплуатационных свойств большинства типов сплавов, а также для производства литых заготовок.

В литейных процессах для модифицирования структуры стали выгодно применять композиции на основе системы «железо – легирующий металл, обладающий высоким родством с кислородом – оксид». Этот оксид должен обладать более высоким значением ΔG° образования, чем оксид легирующего элемента.

Для увеличения дисперсности синтезируемых фаз и повышения уровня завершения химических превращений механическое легирование модифицирующей шихты рекомендуется проводить в газовой окислительной среде.

Из-за химической инертности молекулярного азота образование нитридов в процессе обработки композиции в воздушной среде маловероятно, но в среде закиси азота это вполне возможно.

Если в качестве окислителя использовать закись азота N_2O , а легирующего элемента – порошок алюминия, то в процессе механического легирования в вибрационной мельнице с высокой энергонапряженностью возможно синтезирование оксидов и нитридов алюминия, которые вследствие повышенной термостабильности могут использоваться в качестве модификаторов первой группы при литье различных сплавов.

ΔG°_{298} образования оксидов и нитридов алюминия имеет значения от ~ -330 до ~ -290 кДж/моль-атом N. В процессе реакции алюминия с закисью азота образуются наноразмерные частицы Al_2O_3 и AlN , а также некоторое количество молекулярного азота.

Для подачи окислителя в помольную камеру лабораторной вибрационной мельницы использовались баллон со сжиженной закисью азота и система подачи газа от сварочного аппарата для сварки в среде углекислого газа. Давление окислителя в помольной камере поддерживалось в пределах 0,3 МПа. Продолжительность механообработки лигатуры составляла 8 ч, в процессе которой помольная камера объемом 1 л охлаждалась водой.

Синтезирование термодинамически стабильных химических соединений в железной основе начинается в процессе механической обработки компонентов шихты в энергонапряженном механореакторе, а завершается этот процесс при термической активации лигатуры в процессе плавки.

Преимуществом вновь разработанной технологии является повышение степени дисперсности синтезируемых тугоплавких фаз с размерами менее 10...15 нм. Кроме того, дополнительная гомогенизация состава модифицирующей лигатуры позволяет осуществить более равномерное распределение центров кристаллизации во всем объеме расплава.

В качестве исходных компонентов для обработки в механореакторе использовались вполне доступные грубые и дешевые порошковые материалы: алюминия – ПА-4, ГОСТ 6058–2022, с размером частиц 100...250 мкм; железа – ПЖР 2.200.28, ГОСТ 9849–86, с размером частиц менее 200 мкм; стеариновой кислоты ($C_{17}H_{35}COOH$), ГОСТ 9419–60.

УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ СВАРНЫХ ШВОВ ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

А. В. ШАБЛОВСКИЙ, Д. И. ЯКУБОВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Одной из целей данного исследования была оценка влияния мелкодисперсного карбида кремния в покрытии электрода для ручной дуговой сварки при испытании сварных швов на статическое растяжение.

Известно, что механические свойства сварного соединения в целом являются свойствами комплексными, т. к. они зависят от соотношения механических свойств металла шва, металла зоны термического влияния и основного металла. Если исходить из свойств основного металла, то очевидно, что сварное соединение на конструкционных сталях можно считать качественным, если оно обеспечивает величины предела прочности и предела текучести не ниже, чем у основного металла, при достаточном запасе пластичности [1, 2].

Для проведения исследования были изготовлены три партии сварочных электродов, для которых за основу использовались электроды марки МР-3 с добавлением варьируемого количества мелкодисперсного порошка карбида кремния. Добавку карбида кремния в состав покрытия сварочных электродов использовали в количестве 3 %, 6 % и 9 % от массы шихты электродов. Для получения экспериментальных сварных соединений и образцов наплавленного металла (согласно ГОСТ 6996–66 *Сварные соединения. Методы определения механических свойств*) были подготовлены стальные пластины марки Ст3пс толщиной 6 мм и размером 100 × 100 мм с углом разделки кромок 25°.

Сварку изготовленными экспериментальными образцами электродов осуществляли с использованием сварочного аппарата Fronius F-4600 Wels на режимах 90...110 А.

Полученные из стальных пластин сварные образцы подвергались испытаниям сварных швов на статическое растяжение. Данный вид испытаний позволил определить предельную нагрузку, которую способны выдержать полученные сварные соединения перед разрушением.

Испытания на разрыв образцов сварных соединений проводились на разрывной машине типа УИМ-Д в соответствии с требованиями ГОСТ 6996–66 [3]. Для каждой партии электродов с различным процентным содержанием добавки карбида кремния были испытаны по два образца.

Разрушение образцов происходило по основному металлу, а не по сварному шву. Результаты испытаний на статическое растяжение представлены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты испытаний на статическое растяжение исследуемых образцов сварных швов

Номер образца	Добавление SiC в шихту электрода, %	Ширина образца, мм	Усилие при разрыве, Н	Предел прочности, мПа
3	3	17	47250	463,24
		16	44680	465,83
6	6	16	45390	472,4
		17,5	46570	443,1
9	9	15	40270	447,44
		15	38900	432,22

По результатам исследований установлено, что для всех исследуемых образцов сварных швов предел прочности при растяжении составил 430...470 мПа, что соответствует требованиям ГОСТ 380–2005 для Ст3сп (от 370 до 490 мПа) [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние карбида кремния, вводимого в шихту порошковой проволоки, на структуру наплавленного металла / Н. В. Коберник, А. Л. Галиновский, И. Н. Кравченко [и др.] // Металлург. – 2023. – № 2. – С. 70–75.
2. Поведение карбида кремния при введении его в расплав сварочной ванны на основе железа / В. В. Петрова, Н. В. Коберник, А. С. Панкратов [и др.] // Электрометаллургия. – 2021. – № 10. – С. 15–22.
3. Сварные соединения. Методы определения механических свойств : ГОСТ 6996–66. – Взамен ГОСТ 6996–54 ; введ. 01.01.66. – М. : Стандартиформ, 2006. – 44 с.
4. Сталь углеродистая обыкновенного качества : ГОСТ 380–2005. – Взамен ГОСТ 380–94 ; введ. 09.12.2005. – М. : Стандартиформ, 2007. – 16 с.

УДК 678.5.029.6

ВЛИЯНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ ДИСПЕРСНЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

В. М. ШАПОВАЛОВ, С. В. ЗОТОВ,
К. В. ОВЧИННИКОВ, М. А. КОВАЛЕНКО

Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси
Гомель, Беларусь

Актуальной задачей современного материаловедения является разработка новых видов полимерных покрытий, позволяющих повысить долговечность и работоспособность деталей и механизмов, в том числе узлов трибосопряжений, в условиях агрессивных сред и повышенных нагрузок. В настоящее время для формирования таких покрытий все больше используют порошковые (дисперсные) полимерные материалы на основе термопластов, нанесение которых может осуществляться в псевдооживленном слое или электростатическим способом, а также комбинацией этих методов.

В ИММС НАН Беларуси исследовано влияние неорганических наполнителей на прочностные и триботехнические показатели покрытий на основе таких перспективных термопластов, как полифениленсульфид (ПФС), полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) и сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ). В композициях применяли ПФС марки МА-520, СВМПЭ марки GHR 8110, ПЭЭК марки Victrex 450 PF с размером частиц от 50 до 315 мкм. В качестве наполнителей использовали дисперсные (до 125 мкм) частицы гексагонального нитрида бора (ГНБ) и монтмориллонита (ММТ) в концентрации от 0,5 мас. % до 5 мас. %. Покрытия получали вибровихревым способом путем погружения металлических подложек (сталь 45) в псевдооживленный слой композиций с последующим спеканием покрытий.

В ходе работы оценивали микротвердость, устойчивость к ударным нагрузкам и растрескиванию при изгибе, а также триботехнические показатели покрытий. Измерение микротвердости проводили по методу восстановленного отпечатка согласно ГОСТ 9450–76 на приборе ПМТ-3. Определение устойчивости покрытий к растрескиванию при изгибе проводили по оригинальной методике, согласно которой металлическую подложку с покрытием подвергали изгибу на угол 90°, фиксируя угол изгиба подложки, при котором покрытие начинало разрушаться. Ударную прочность покрытий определяли на экспериментальной установке согласно ГОСТ 4765 в условиях прямого удара. Триботехнические испытания проводили по схеме «вал – частичный вкладыш» на машине трения СМТ-1 без смазки при нагрузке 100 Н и линейной скорости вращения контртела (ролик, сталь 45) 1 м/с.

Испытания по определению прочностных показателей позволили установить, что наиболее высокими физико-механическими характеристиками обладают композиционные покрытия на основе ПЭЭК: микротвердость составила более 23 кгс/мм², покрытия выдерживают удар при максимальной высоте падения груза и изгиб подложки на угол не менее 75°. Введение ММТ

в количестве до 5 мас. % не повышает микротвердость полимерной матрицы, а введение 2 мас. % ГНБ повышает этот показатель более чем на 15 %. Покрытия на основе ПФС имеют высокую микротвердость поверхности (22...25 кгс/мм²), но невысокий модуль упругости, что отрицательно сказывается на устойчивости к растрескиванию при изгибе. Введение наполнителей в композиции из ПФС повышает микротвердость покрытий на 10 %...15 %, но незначительно снижает прочность при ударных нагрузках: покрытия деформировались при высоте падения груза не менее 60 см. Покрытия на основе СВМПЭ имеют наименьшие значения микротвердости (10...12 кгс/мм²), но обладают высокой ударной вязкостью, позволяющей выдерживать максимальные ударные нагрузки. При наполнении полимерной матрицы СВМПЭ наблюдается повышение микротвердости композиционных покрытий более чем на 20 % при одновременном снижении устойчивости к растрескиванию, о чем свидетельствует образование микротрещин при изгибе подложки на угол 30°...40°.

Трибологические исследования показали, что минимальный коэффициент трения ($K_{тр} = 0,4$) имеют покрытия на основе СВМПЭ, наполненного 5 мас. % ММТ. Введение этого наполнителя в матрицу СВМПЭ обеспечивает снижение износа в разы и уменьшает коэффициент трения на 26 %. Наполнение ПЭЭК приводит к незначительному повышению износа и коэффициента трения, что можно объяснить абразивным действием наполнителя при высокой адгезии его частиц к связующему. Покрытия на основе ПФС без наполнения имеют достаточно низкую интенсивность изнашивания, что, как и в случае с ПЭЭК, можно объяснить эффектом самосмазывания, т. е. переносом частиц полимера на контртело и образованием тонкого смазочного слоя. Введение наполнителей в композиции ПФС позволяет уменьшить коэффициент трения на 13 % при наполнении ГНБ и на 18 % при наполнении ММТ. Рост износа композиционных покрытий по сравнению с покрытиями из чистого ПФС свидетельствует о таком же механизме действия частиц наполнителей, как и в композициях с ПЭЭК.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о положительной роли неорганических наполнителей в изменении свойств покрытий из дисперсных термопластов при их формировании по технологии псевдооживленного слоя. При малом наполнении термопластичных связующих удастся получать покрытия с повышенной твердостью, низким коэффициентом трения и устойчивостью к ударным нагрузкам. Отмечена перспективность практического использования покрытий для поверхностей изделий сложной формы в условиях жестких эксплуатационных требований.

Работа выполнена в рамках задания 4.2.17 подпрограммы 8.4 «Многофункциональные и композиционные материалы» государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2025 годы.

УДК 621.791

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СВАРОЧНОЙ МАШИНЫ ПРИ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКЕ НАХЛЕСТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

С. В. БОЛОТОВ, Д. Н. ЮМАНОВ, П. А. ПРУДНИКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Для проведения экспериментальных исследований с целью получения зависимостей между основными параметрами режима и дефектностью (качеством) рельефных сварных соединений и их прочностными свойствами подготовлены образцы из стали Ст03сп следующих размеров: $200 \times 50 \times 2$ мм, $200 \times 50 \times 2,5$ мм, $200 \times 50 \times 3$ мм. В образцах были изготовлены рельефы: $6 \times 1,2$ мм (для пластин $2 + 2$ мм), $6 \times 1,35$ мм (для пластин $2,5 + 2,5$ мм), $6 \times 1,5$ мм (для пластин $3 + 3$ мм).

Экспериментальные исследования проводились на машине контактной сварки МТ-1601 с помощью разработанного программно-аппаратного комплекса.

Установлены зависимости между сварочным током $I_{св}$, временем сварки $t_{св}$, усилием сжатия электродов $F_{св}$ и диаметром литого ядра $d_{я}$ для нахлесточных рельефных сварных соединений для толщин $2 + 2$; $2,5 + 2,5$ и $3 + 3$ мм. Определены энергосберегающие параметры режима сварки, обеспечивающие формирование минимально допустимого по ГОСТ 15878–79 диаметра литого ядра для контактной рельефной сварки группы соединения А: 7,0 мм (образцы $2 + 2$ мм), 8,0 мм (образцы $2,5 + 2,5$ мм), 9,0 мм (образцы $3 + 3$ мм) и группы соединения Б: 5,0 мм (образцы $2 + 2$ мм), 6,0 мм (образцы $2,5 + 2,5$ мм), 6,5 мм (образцы $3 + 3$ мм).

Установлены зависимости между сварочным током $I_{св}$, временем сварки $t_{св}$, усилием сжатия электродов $F_{св}$ и усилием на отрыв $F_{отр}$ нахлесточных рельефных сварных соединений для толщин $2 + 2$; $2,5 + 2,5$ и $3 + 3$ мм. Подготовка образцов и процедура испытания проводилась в соответствии с ГОСТ 6996–66.

Установлено, что при сварке на энергосберегающих режимах обеспечивается требуемая прочность нахлесточных сварных соединений, т. к. полученные значения разрушающей нагрузки находятся в требуемом диапазоне. Для образцов $2 + 2$ мм минимальная разрушающая нагрузка составила $F_{отр} = 16,72$ кН при диаметре литого ядра $d_{я} = 7,32$ мм, при этом напряжения $\tau = 397,5$ МПа. Для образцов рельефных сварных соединений $2,5 + 2,5$ мм минимальная разрушающая нагрузка составила $F_{отр} = 15,12$ кН при диаметре литого ядра $d_{я} = 6,58$ мм. Для этого случая касательное напряжение $\tau = 278,1$ МПа. Для образцов $3 + 3$ мм минимальная разрушающая нагрузка составила $F_{отр} = 20,95$ кН при диаметре литого ядра $d_{я} = 7,32$ мм. Напряжение в этом случае составляет $\tau = 498$ МПа, что также находится в требуемом диапазоне. Средние значения нагрузок по партиям образцов $2 + 2$; $2,5 + 2,5$ и $3 + 3$ мм составляют 17,74 ; 16,12 и 24,45 кН соответственно.

Экспериментально установлены зависимости между основными параметрами режима контактной рельефной сварки на однофазной машине переменного тока: сварочным током $I_{св}$, временем сварки $t_{св}$ и энергией, потребляемой из сети Q_1 , энергией, выделяемой в межэлектродной зоне $Q_{эз}$ нахлесточных рельефных сварных соединений для толщин $2 + 2$; $2,5 + 2,5$ и $3 + 3$ мм (рис. 1).

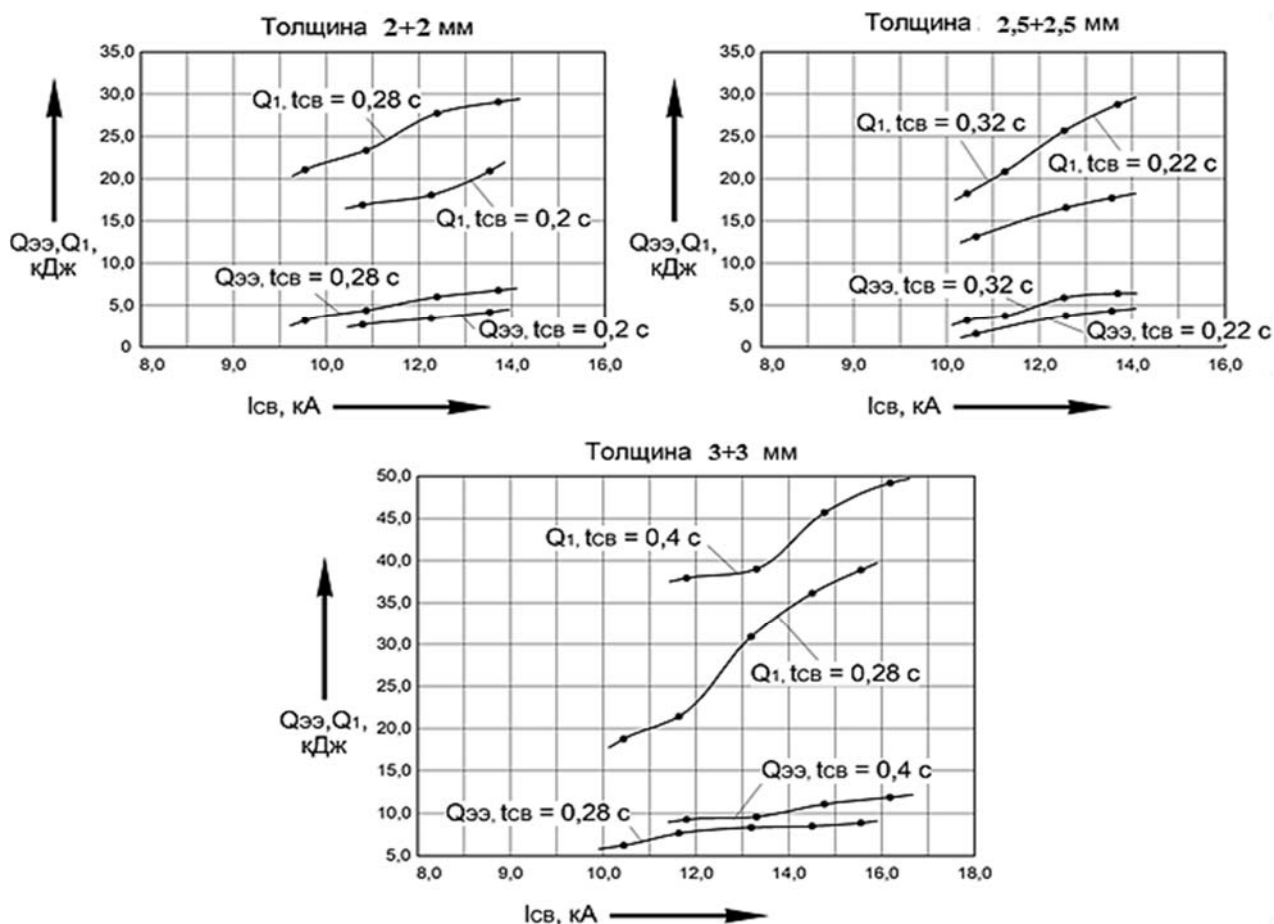


Рис. 1. Графические зависимости энергетических параметров $Q_{эз}$ и Q_1 процесса сварки от силы сварочного тока $I_{св}$ при различном времени сварки $t_{св}$

Установлено, что при сварке на энергосберегающих режимах на машине контактной сварки МТ-1601 при использовании разработанной системы регулирования мощности тепловложения по сравнению со сваркой по традиционной технологии происходит снижение потребляемой из сети энергии: в 1,27–1,38 раза для образцов $2 + 2$ мм, в 1,34–1,58 раза для образцов $2,5 + 2,5$ мм, в 1,31–1,71 раза для образцов $3 + 3$ мм, а выделяемой в межэлектродной зоне энергии: в 1,6–1,86 раза для образцов $2 + 2$ мм, в 2,17–2,25 раза для образцов $2,5 + 2,5$ мм, в 1,33–1,47 раза для образцов $3 + 3$ мм.

УДК 621.9.048.4

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПРОХОДОВ НА СПЛОШНОСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ЭИЛ-ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО В АРГОНЕ

А. А. ЖУЛДЫБИН, А. А. ВЛАДИМИРОВ, А. И. ШАПОВАЛОВ

Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»
Старый Оскол, Россия

Известно, что достаточная сплошность электроискровых покрытий, близкая к 100 %, обеспечивается при скорости формирования ~ 3 мин/см² [1, 2].

Покрытия были получены механизированной электроискровой обработкой электродом марки Т15К6 в аргоновой межэлектродной среде на режимах:

- суммарная энергия за 1 мин обработки: $\sum E = 12,29$ кДж · мин;
- частота вращения заготовки: $n = 36$ об/мин;
- подача: $s_0 = 0,063$ мм/об (встречно-переменное направление подачи);
- диаметр заготовки: $d = 60$ мм;
- количество проходов: 4 шт.;
- сечение электрода: 5×6 мм [3].

Следовательно, скорость формирования слоя покрытия при механизированном электроискровом легировании за один проход составляла 2,268 мм/мин. С учетом линейной скорости легирования, для обеспечения максимальной сплошности было послойно сформировано четыре поверхности с соответствующим количеством слоев (рис. 1).

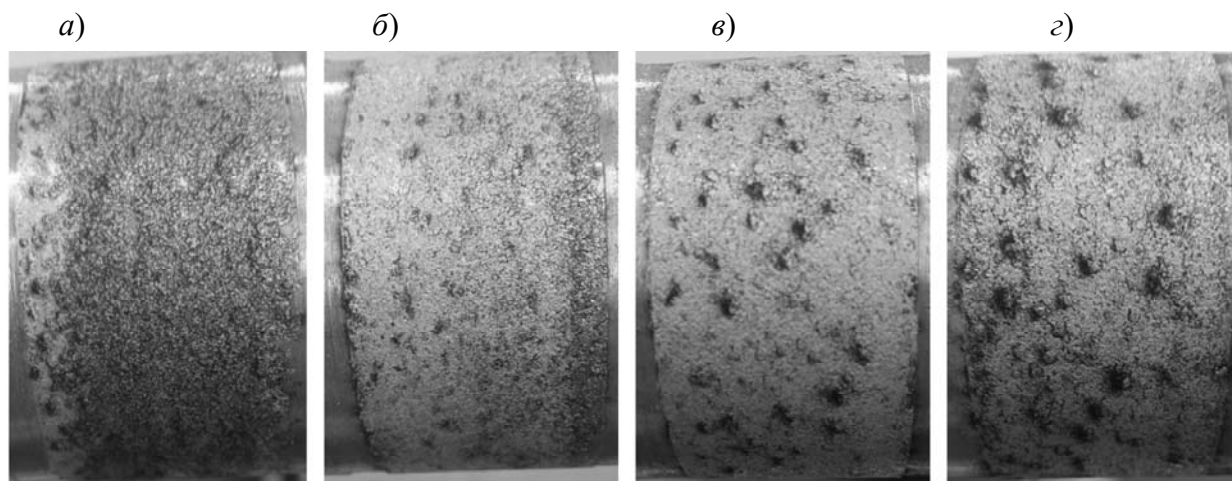


Рис. 1. Вид покрытия: а – 1 слой; б – 2 слоя; в – 3 слоя; г – 4 слоя

На основании визуальной оценки сплошности покрытия правомерно предположение, что оно является сплошным уже на первом проходе. Исследование покрытия при увеличении в 4 раза позволяет выявить локальные участки, где оно отсутствует. Такое явление также характерно для двух и трех проходов.

Визуальное определение относительной сплошности сформированного покрытия является недостоверным, а абсолютной сплошности – трудоемким.

Целесообразно определение сплошности покрытия, например, через параметры микрогеометрии поверхности покрытия измерением среднего арифметического отклонения профиля R_a и относительной опорной длины профиля t_p (табл. 1).

Табл. 1. Параметры микрогеометрии поверхности покрытия

Номер слоя	R_a , мкм	t_p , %
1	11,870	41,10
2	11,790	50,40
3	12,940	37,00
4	13,530	55,00

Параметры микрогеометрии определяли с помощью профилометра модели TR200. Измерение параметра t_p производилось на уровне 40 %.

Из значений относительной опорной длины профиля очевидно, что для нечетных слоев покрытия наблюдаются меньшие значения, что может быть связано с кинематикой и особенностями механизированного процесса электроискрового легирования, например направления подачи.

По результатам анализа данных установлено, что шероховатость покрытия увеличивается в $\sim 1,14$ раза, при этом относительная опорная длина профиля увеличилась $\sim 1,34$ раза.

Стоит также отметить, что электроискровые покрытия, сформированные на больших значениях суммарной энергии за 1 мин обработки, требуют последующей финишной обработки.

Таким образом, можно сформулировать предположение, что оценка сплошности электроискровых покрытий по параметрам микрогеометрии является перспективным способом.

Увеличение относительной опорной длины профиля поверхности при многослойном формировании электроискровых покрытий механизированным способом в совокупности с последующей финишной обработкой электроискрового покрытия для формирования специальной микрогеометрии будет способствовать повышению эксплуатационного ресурса деталей оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электроискровое легирование металлических поверхностей / А. Е. Гитлевич, В. В. Михайлов, Н. Я. Парканский, В. М. Ревуцкий. – Кишинев : Штиинца, 1985. – 196 с.
2. **Верхотуров, А. Д.** Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А. Д. Верхотуров. – Владивосток : Дальнаука, 1995. – 323.
3. **Жулдыбин, А. А.** Перспективы применения электроискрового легирования на рабочих поверхностях деталей тележек локомотивов / А. А. Жулдыбин, А. А. Владимиров, А. И. Шаповалов // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 9 (45). – С. 28–37.

УДК 621.791.754

ДУГОВАЯ СВАРКА С ДВУХСТРУЙНОЙ ПОДАЧЕЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

А. А. КОРОТЕЕВА, А. О. КОРОТЕЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Одним из перспективных направлений развития способов дуговой сварки в защитных газовых средах является разработка технологий, основанных на управлении металлургическими процессами через защитную газовую среду.

Современные материалы обладают сложными системами легирования и упрочнения, что существенно повышает требования к подготовке деталей под сварку, соблюдению параметров технологического процесса, обеспечению условий для формирования требуемого химического состава наплавленного металла шва. Как правило, используются инертные газы и газовые смеси на их основе. Это позволяет исключить нежелательные потери легирующих элементов в дуговом промежутке, обеспечив необходимые условия для формирования конечной микроструктуры наплавленного металла шва.

Использование инертных газов и смесей приводит к повышению чувствительности соединений к диффузионному водороду. Так как зачастую используются проволоки сплошного сечения, а газовая среда выполняет лишь функцию вытеснения воздуха, то практически отсутствуют возможности для связывания водорода в нерастворимые в жидком металле соединения.

Ранее в ряде работ был исследован механизм связывания водорода в нерастворимые соединения через модификацию защитной газовой среды галогенидом SF_6 , что позволило существенно снизить его количество в наплавленном металле и повысить благодаря этому сопротивляемость соединений образованию холодных трещин по замедленному механизму разрушения [1]. Однако остались открытыми вопросы сдерживания роста массовой доли серы в наплавленном металле. Это ограничивает применимость разработанной технологии, т. к. сера является вредной примесью для большинства сталей.

Также технология малоприменима к способу сварки неплавящимся вольфрамовым электродом. Зачастую корневой проход многослойного сварного соединения выполняется именно этим способом, а потенциальная трещина, вызванная присутствием диффузионного водорода, возникает из корневой части от линии сплавления в направлении зоны термического влияния.

Предлагается для дальнейшего развития предлагаемых решений реализовать подачу защитной газовой смеси двумя концентричными потоками (кольцевыми струями). Ранее такой подход нами предлагался с точки зрения реализации механизма перемешивания компонентов, подаваемых по концентричным каналам сопла с образованием в зоне сварки переменной по своему составу защитной газовой атмосферы ($\text{Ar} + \text{CO}_2$) [2]. Решение было вызвано экономической целесообразностью, а также возможностью формирования переменной по вертикальной оси защитной газовой атмосферы (рис. 1, а). Для рассматриваемого подхода предлагается реализовать способ подачи газов,

при котором кинематические характеристики струй обеспечивают заполнение центральной области газом из осевого (центрального) канала сопла. При этом перемешивание потоков является нежелательным фактором (рис. 1, б).

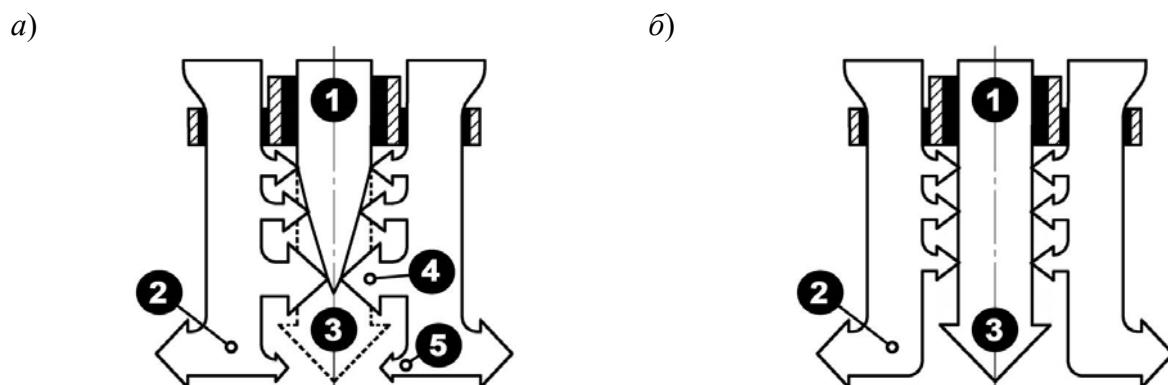


Рис. 1. Схема инъекции газа из кольцевого потока в центральный: 1 – центральный поток газа; 2 – кольцевой поток газа; 3 – зона горения дуги; 4 – боковая инъекция газа в центральную струю; 5 – инъекция газа, обусловленная отражением кольцевой струи от поверхности изделия

В случае использования способа сварки плавящимся электродом 135 MIG/MAG предлагается подавать по центральному каналу сопла смесь $\text{Ar} + \text{CO}_2$, а по кольцевому – смесь $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{SF}_6$. В случае использования дуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом рекомендуется подавать по центральному каналу сопла чистый аргон, а по кольцевому – смесь $\text{Ar} + \text{SF}_6$.

Это позволит сместить область диссоциации галогенида SF_6 , отдалив на некоторое расстояние от дугового промежутка и капли расплавленного металла. При этом изменятся технологические характеристики процесса плавления присадочной проволоки и температурные характеристики дугового промежутка.

Механизм связывания фтора будет реализован на периферийной части защитной газовой атмосферы, что позволит снизить вероятность взаимодействия расплавленного металла с серой.

Сопло и кинематические характеристик струй проектируются исходя из необходимости обеспечения необходимой температуры диссоциации SF_6 .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологические особенности плавления присадочной проволоки при дуговой сварке и наплавке с введением SF_6 / А. О. Коротеев, Е. А. Фетисова, С. Г. Паршин, А. А. Коротеева // Наука и техника. – 2024. – № 23 (4). – С. 380–389.

2. **Коротеев, А. О.** Технология дуговой сварки конструкционных сталей с двухструйной коаксиальной подачей компонентов защитной газовой среды : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.10 / Коротеев Артур Олегович ; Бел.-Рос. ун-т. – Могилев, 2017. – 236 л.

УДК 621.79

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРИВАЕМОСТИ СТАЛИ QUARD 450

А. Г. ЛУПАЧЕВ, А. О. КОРОТЕЕВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

QUARD 450 относится к мартенситным износостойким сталям со средней твердостью 450 HV 10. Сталь характеризуется исключительно высокой стойкостью к абразивному износу и ударным нагрузкам. Сталь используют для изготовления ряда конструкций: кузовов самосвалов и вагонеток, корпусов барабанов смесителей цемента, ковшей, ножей, горнодобывающих и землеройных машин. Согласно ГОСТ ISO/TR 15608–2010 сталь относится к группе 3.2.

Объект применения исследуемой технологии – водоохлаждаемая неподвижная часть колосниковой решетки топки водогрейного котла.

Элементы из листовой стали сварены стыковыми сварными швами.

Ввиду высокой прочности (предел текучести 1100 МПа) и низкой пластичности (относительное удлинение 10 %) стали QUARD 450 сварку необходимо выполнять сварочными материалами с высокими значениями высокотемпературной пластичности. Такими материалами являются аустенитные сварочные материалы.

Исследовали два типа сварочных материалов: Weld M 307Si, Ø1,2 мм, СТВ ISO 13343-A: G 18 8 Mn; Weld M 309LSi, Ø1,2 мм, СТВ ISO 13343-A: G 23 12 LSi. Сварку выполняли в смеси СТВ ISO 14175 M12 (98 % аргона, ГОСТ 10157–2016 + 2 % CO₂, ГОСТ 8050–85). Образцы сваривали в двух пространственных положениях PF, PC (СТВ ISO 6947–2012), толщина пластин 12 мм. Разделка кромок по ГОСТ ISO 9692-1–2016, схема 1.5.

Определяли статическое растяжение, статический изгиб, ударный изгиб, измерение твердости, металлографические исследования.

При сварке обоими сварочными материалами удастся получить качественные сварные швы, что подтверждено протоколами рентгенографического контроля.

Как и следовало ожидать, при испытании на статическое растяжение разрушение происходит либо по зоне термического влияния, либо по сварному шву. В зоне термического влияния по обе стороны сварного шва наблюдается прослойка с пониженной твердостью. Ширина прослойки увеличивается с повышением погонной энергии сварки. Степень разупрочнения не зависит от погонной энергии сварки. Пластичность сварного шва, выполненного обоими проволоками, существенно выше, чем у основного металла. Причем пластичность сварного шва, выполненного проволокой Weld M 307Si, выше, чем проволокой Weld M 309LSi.

УДК 621.79

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА С ПРИСАДОЧНОЙ ПРОВОЛОКОЙ СТАЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

А. Г. ЛУПАЧЕВ, Н. М. ШУКАН
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

С целью внедрения в производство новой, ранее не применявшейся технологии, в рамках договора с ОАО «Могилевлифтмаш» выполнена исследовательская аттестация технологии лазерной сварки.

Исследовательскую аттестацию выполняли по следующим документам: СТБ EN 1011-6–2009. Часть 6. Лазерная сварка; СТБ ISO 15614-11–2007. Часть 11. Сварка электронно-лучевая и лазерная; СТБ ISO 15609-4–2009. Инструкция на технологический процесс сварки. Часть 4. Лазерная сварка; ГОСТ ISO 9692-1–2016. Типы подготовки соединений. Часть 1; СТБ ISO 13919-1–2010. Руководство по оценке уровня качества для дефектов. Часть 1. Сталь.

Объект применения аттестуемой технологии – рама пола 0401K.03.03.010 СБ. Элементы из листовой стали, сваренные стыковыми и угловыми сварными швами. Уровень качества сварных швов в зависимости от дефектов – D (умеренный). Сварку стыковых швов (толщина свариваемых элементов 2,0 мм) выполняли в положении РА, а угловых швов (толщина 2,0...4,0 мм) – в положении РВ.

Для выполнения сварных соединений использовали волоконный непрерывный лазер TSP Disen Laser LightWELD 1500 XC. Сварку выполняли в условиях производства ОАО «Могилевлифтмаш». Толщина свариваемых элементов: стыковое соединение – 2,0 + 2,0 мм; тавровое соединение – 2,0 + 2,0 мм, 3,0 + 3,0 мм, 4,0 + 4,0 мм. Сварочные материалы: Св-08Г2С-П, Ø1,2 мм.

Усилие разрушения при растяжении сварных соединений, выполненных лазерной сваркой по предлагаемой технологии (pWPS № 2-25), составляет 321...347 МПа, что соответствует ГОСТ 16523–97, табл. 2.

При испытании на разрушение угловых швов необходимо учитывать, что сварной шов испытывает касательную составляющую, т. е. сварной шов работает на срез (сдвиг). Поэтому временное сопротивление разрыву необходимо умножить на коэффициент $k = 0,6$. Минимальное значение временного сопротивления разрыву основного металла составляет 270 МПа. Следовательно, $270 \cdot 0,6 = 162$ МПа. Таким образом, разрушающая нагрузка угловых сварных соединений, выполненных лазерной сваркой по предлагаемым технологиям (pWPS № 3-25, pWPS № 4-25, pWPS № 5-25), удовлетворяет требованиям конструктивной прочности по ГОСТ 16523–97.

УДК 537.523.5:621.791.75

ДАВЛЕНИЕ ИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ РАЗРЯДНОГО ТОКА НА «ХОЛОДНЫЙ» КАТОД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

А. И. ЛЯПИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Изучение природы давления, испытываемого электродами сварочной дуги, имеет научный и практический интерес. В данной работе рассматривается возникновение давления на катод под действием ионного тока. Ионы, ускоренные полем катодного падения потенциала, сталкиваясь с катодом, передают ему свой импульс, тем самым оказывая давление. Получим формулу для указанного давления и оценим его значение.

Ион получает от электрического поля в катодной области энергию, равную

$$W = e \cdot U_{\kappa}, \quad (1)$$

где e – заряд иона; U_{κ} – катодное падение потенциала.

Максимальный импульс p_1 , передаваемый ионом катоду, определяется следующим выражением:

$$p_1 = \sqrt{2 \cdot m_i \cdot e \cdot U_{\kappa}}, \quad (2)$$

где m_i – масса иона.

Умножив (2) на отношение плотности сварочного тока j_{∂} и заряда иона e и долю f ионного тока, получим выражение для давления, оказываемого на катод ионным током:

$$P = \sqrt{2 \cdot \frac{m_i}{e} \cdot U_{\kappa} \cdot j_{\partial} \cdot f}. \quad (3)$$

Выразив в (3) массу иона через произведение 1 а.е.м. и относительной атомной массы A :

$$m_i = 1 \text{ а.е.м.} \cdot A$$

и, учтя значения постоянных величин, окончательно получим формулу для искомого давления на катод:

$$P = \sqrt{2 \cdot 10^{-8} \cdot A \cdot U_{\kappa} \cdot j_{\partial} \cdot f}. \quad (4)$$

Используя ранее рассмотренные значения величин, входящих в (4), оценим максимальные давления, оказываемые на катоды из разных материалов. Исходные данные и результаты расчетов приведены в табл. 1.

Табл. 1. Исходные данные и рассчитанные значения давления

Катод	A	$U_k, \text{В}$	$j_0, 10^7 \cdot \text{А/м}^2$	f	$P, \text{Па}$
Al	27	13,5	1,5	0,38	7695
Ti	48	10,9	1,7	0,62	11489
Fe	56	12,4	2,0	0,52	12896
Ni	59	12	2,1	0,54	13608
Cu	64	11,9	2,0	0,45	10710

Для наглядности на рис. 1 результат расчета представлен в виде графика.



Рис.1. Давление ионного тока на катод сварочной дуги: 1 – Al-Al; 2 – Ti-Ti; 3 – Fe-Fe; 4 – Ni-Ni; 5 – Cu-Cu

На горизонтальной оси материалы катодов расположены в порядке возрастания относительной атомной массы. Однако из этого не следует, что график отражает однозначную зависимость давления от относительной атомной массы материала катода. Из формулы (4) видно, что определяемое давление зависит от четырех параметров. Полученный результат показывает, что «ионное давление» на катод сварочной дуги может достигать трети нормального значения атмосферного давления.

Следует отметить, что рассматриваемая сварочная дуга горит между расплавленными поверхностями электродов. При этом ионы нормально бомбардируют поверхность катода. Поэтому можно ожидать, что давление будет незначительно отличаться от рассчитанного максимального значения.

УДК 537.523.5:621.791.75

МОДЕЛЬ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В АНОДНОЙ ОБЛАСТИ СВАРОЧНОЙ ДУГИ С «ХОЛОДНЫМ» КАТОДОМ ПРИ НОРМАЛЬНОМ ДАВЛЕНИИ

А. И. ЛЯПИН

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При дуговой сварке прямой полярности состояние анода (свариваемой детали) во многом определяет качество сварного шва и конструкции в целом. Поэтому знание элементарных процессов в анодной области имеет практическое значение. На сегодняшний день не существует законченной теории анодной области сварочной дуги с «холодным» катодом. Здесь можно отметить работы по моделированию свойств сварочной дуги с «горячим» катодом [1, 2]. Затруднение в развитии теории в основном связано с выбором механизма генерации заряженных частиц и, как следствие, отсутствием общепризнанной модели элементарных процессов.

Одним из условий стационарности дуги является повсеместная компенсация объемных зарядов противоположного знака в столбе. Для такой компенсации необходимо, чтобы концентрации зарядов противоположных знаков были равны между собой. В этом случае в разрядном промежутке и, в частности, в анодной области, должны протекать электронный и ионный токи. В катодной области электронный ток связан с эмиссией электронов из катода, а ионный ток возникает в результате ионизации пара электронами, получившими энергию от поля катодного падения потенциала (полевая ионизация).

Общепризнанным является факт наличия анодного падения потенциала. «Холодный» анод не эмитирует заряженные частицы. Электрическое поле анода вытягивает электроны из положительного столба, обеспечивая разрядный ток. Неопределенность связана с механизмом возникновения ионов в анодной области. В настоящее время рассматриваются два механизма генерации ионов – термическая и полевая ионизации. Предполагается [3], что в маломощных дугах реализуется полевая, а в мощных термическая ионизации.

В теории, основанной на термической ионизации, распределение потенциала и знак анодного падения потенциала может зависеть от разрядного тока, потенциала и площади анода [1]. В этом случае ионы и электроны рождаются в некоторой высокотемпературной области, расположенной на определенном расстоянии от анода. Возникшие ионы двигаются в сторону катода, а электроны, ускоряемые полем анодного падения потенциала, бомбардируют анод, отдавая ему полученную энергию $e \cdot U_a$. При этом в ионизационной области и в конце столба со стороны анода концентрация ионов будет равна половине концентрации электронов. Действительно, при ионизации электронным ударом, независимо от механизма ионизации, образуются три заряженные частицы: положительный ион и два электрона – вызвавший ионизацию и возникший в результате ионизации. В то же время согласно

расчетам ионный ток на всех участках столба составляет примерно тысячную часть от тока дуги. Для разрешения этой ситуации приходится дополнительно рассматривать механизмы, приводящие к уменьшению концентрации ионов в рассматриваемой области.

В [4, 5] подробно обсуждены особенности указанных выше механизмов ионизации и сделан выбор в пользу полевой ионизации. В этой модели электроны положительного столба ускоряются полем анодного падения потенциала и, сталкиваясь с испаряющимися атомами анода, ионизируют их. Протяженность анодной области, в которой происходит падение анодного потенциала U_a , составляет несколько длин свободного пробега. Поэтому энергия, приобретаемая электроном на каждом свободном пробеге, может составлять только часть энергии $e \cdot U_a$, которая меньше энергии ионизации атомов пара. Следовательно, в данном случае речь может идти о ступенчатой ионизации. Так как вероятность ступенчатой ионизации пропорциональна квадрату тока [6], то при сварочных токах такая ионизация вполне вероятна. Следует отметить, что после ионизации на анод попадают два электрона с разными энергиями. Энергия электрона, вызвавшего ионизацию, примерно равна работе выхода из анода. Энергия электрона, возникающего в результате ионизации, примерно равна энергии ионизации атома пара. Впрочем, концентрации таких электронов должны составлять лишь тысячную долю концентрации первичных электронов. Таким образом, рассмотренная модель позволяет с единых позиций описать явления в катодной и анодной областях.

Здесь рассмотрены основные элементарные процессы. Возможное уточнение модели будет сделано после расчета баланса энергии на аноде.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кривцун, И. В.** Анодные процессы в сварочных дугах / И. В. Кривцун // Автоматическая сварка. – 2018. – № 11–12. – С. 103–117.
2. **Baeva, M.** Novel non-equilibrium modelling of a DC electric arc in argon / M. Baeva, M. S. Benilov, N. A. Almeida // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2016. – Vol. 49. – P. 1–16.
3. Теория сварочных процессов: учебник / А. В. Коновалов, А. С. Куркин, Э. Л. Макаров [и др.]; под ред. В. М. Неровного. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 752 с. : ил.
4. **Ляпин, А. И.** Обобщенная модель элементарных процессов в области «холодного» катода сварочной дуги в парах при атмосферном давлении / А. И. Ляпин // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 1 (82). – С. 108–117.
5. **Ляпин, А. И.** Баланс энергии в катодной области и на «холодном» катоде сварочной дуги, свободно горящей при атмосферном давлении / А. И. Ляпин // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2025. – № 1 (86). – С. 81–91.
6. **Энгель, А.** Физика и техника электрического разряда в газах: в 2 т. / А. Энгель, М. Штенбек. – М. : ОНТИ, 1935. – Т. 1. – 252 с.

УДК 621.791

РАЗРАБОТКА НАПЛАВОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
СИСТЕМЫ Sn-Sb-Cu-TiNi ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Р. С. МИХЕЕВ¹, П. А. БЫКОВ², И. Е. КАЛАШНИКОВ², Л. И. КОБЕЛЕВА²

¹Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

²Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН
Москва, Россия

При разработке и изготовлении узлов трения их надежность может быть обеспечена не только конструктивным исполнением, но и применением современных материалов, к числу которых относятся дисперсно-упрочненные композиционные материалы (КМ) [1]. Среди них наибольшим потенциалом обладают КМ системы Sn-Sb-Cu-TiNi. В подобных КМ пластичной матрицей является широко применяемый и распространенный в промышленности антифрикционный сплав на основе олова (баббит). Армирующие частицы никелида титана (TiNi) характеризуются высокой демпфирующей способностью, сверхупругостью, антикоррозионными свойствами в сочетании с высоким уровнем механических характеристик [2]. Поэтому их комбинация может обеспечить низкие значения интенсивности изнашивания и коэффициента трения узлов трения. Кроме того, реализация эффекта демпфирования для отдельных объемов дискретных частиц TiNi позволит сохранить стабильность процесса трения, характеризующую уровень вибраций и акустического шума габаритных конструкций (например, судовых валопроводов, гиротурбин, насосных агрегатов и т. д.) [3]. Поскольку при эксплуатации узлов трения наибольшему физико-химическому воздействию подвергается их поверхностный слой, то изготовление всей конструкции узла трения полностью из КМ является нерациональным. В связи с этим особый интерес представляют процессы нанесения антифрикционных покрытий из КМ на этапах изготовления и планового ремонта узлов трения широкой номенклатуры, например методами дуговой наплавки. Однако нерешенным до настоящего времени остается вопрос, связанный с разработкой и созданием наплавочных КМ данной системы, что и стало целью работы.

Наплавочные КМ в форме прутков изготавливали экструзией, выбранной по критериям получения изделий требуемых геометрических размеров и обеспечения заданного содержания армирующих частиц в объеме матрицы [4].

На первом этапе в планетарной мельнице Retsch PM100 обрабатывали порошковую смесь, представляющую собой комбинацию спирально-свитой стружки матричного сплава (Б83, ГОСТ 1320) размером до 500 мм и частиц гидридно-кальциевого сплава TiNi размером до 100 мкм (изготовитель – ООО «Метсинтез») в количестве 6 мас. % (рис. 1, а, б). Режим обработки: частота вращения барабана – 350 об/мин, длительность обработки – 15 мин, защитная среда – аргон высшего сорта по ГОСТ 10157. Важно отметить, что выбранный порошковый гидридно-кальциевый сплав TiNi обладает стабильностью фазового состава в области существования соединения никелида титана.

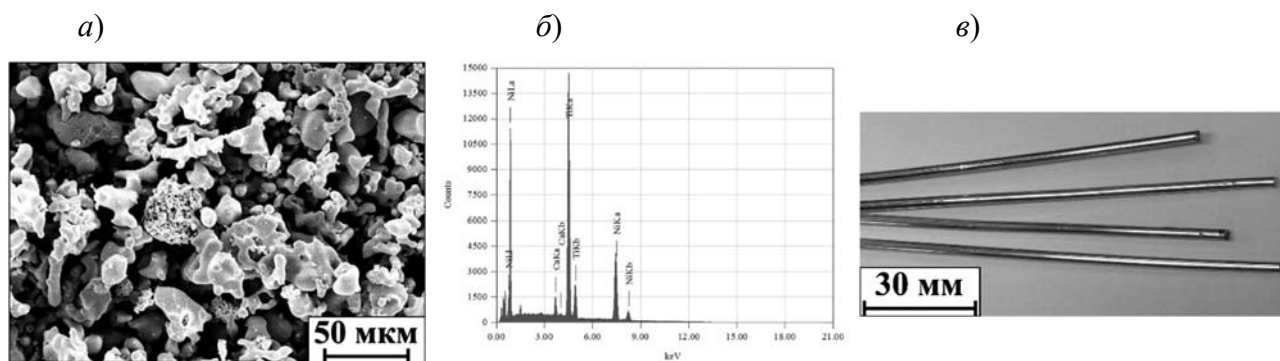


Рис. 1. Внешний вид (а) и поэлементный состав (б) частиц TiNi, а также характерный вид изготовленных наплавочных КМ (в)

Следующей технологической операцией являлось компактирование при давлении (300 ± 5) МПа размещенных в пресс-форме навесок изготовленной композиционной смеси массой (90 ± 10) г. Предварительно, перед экструзией, компактированную заготовку выдерживали в камерной электропечи сопротивления СНОЛ 10/11-В при температуре (583 ± 10) К в течение 30 мин.

Процесс экструзии через фильеру диаметром 3 мм выполняли на механическом прессе NORDBERG N3550 при усилии от 350 до 380 МПа и температуре (553 ± 10) К. Значения параметров экструзии (усилия и температуры) выбирали исходя из обеспечения экструдирования всего объема изготовленной порошковой смеси, а также соответствия наплавочных КМ требованиям ГОСТ 21449. В результате проведенной работы были определены технологические режимы и изготовлены экструзией наплавочные прутки диаметром 3 мм из композиционного материала на основе сплава Б83 (система Sn-Sb-Cu), армированного 6 мас. % частиц гидридно-кальциевого сплава TiNi размером до 100 мкм. Их применение позволит использовать процессы дуговой наплавки для формирования обладающих повышенными трибологическими свойствами антифрикционных покрытий широкой номенклатуры узлов трения приборов и машин.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-29-00980).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка и апробация композиционных материалов систем Al-SiC, Al-TiC в узлах трения нефтедобывающего оборудования / Т. А. Чернышова [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2010. – № 5. – С. 78–86.
2. Characterization of high-strength Ti–Ni shape memory alloys prepared by hot pressed sintering / X. Yi [et. al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Vol. 854. – P. 157159.
3. **Nabi, S.** Friction and wear analysis of Al–5052/NiTi surface composites fabricated via friction stir processing / S. Nabi, S. Rathee, M. Srivastava // Tribology International. – 2024. – Vol. 191. – P. 109179.

УДК 621.791.927.5

ЗАВИСИМОСТЬ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ОТ КОЛИЧЕСТВА ТУГОПЛАВКИХ КОМПОНЕНТОВ НАПЛАВОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ

А. П. НОВОТОЧИНОВ, Е. А. КУДИНОВ, А. А. ВЛАДИМИРОВ

Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»
Старый Оскол, Россия

Одним из способов восстановления изношенных поверхностей деталей машин является автоматизированная электродуговая наплавка под слоем флюса с применением порошковой проволоки, модифицированной тугоплавкими компонентами. Применение данной технологии и материалов позволяет повысить эксплуатационные характеристики восстановленных поверхностей за счет внедрения в состав шихты порошковой проволоки тугоплавких компонентов. Повышение эксплуатационных характеристик наплавленной поверхности способствует снижению периода стойкости режущих инструментов.

Целью работы является выявление зависимости стойкости режущего инструмента при обработке наплавленных поверхностей фрезерованием от количества тугоплавких компонентов порошковой проволоки по сравнению со сталью 45.

Химический состав оболочки порошковой проволоки для каждой комбинации тугоплавких компонентов был одинаков. Исследовались четыре варианта комбинации тугоплавких компонентов, в состав шихты которых входили WC (от 4,5 % до 10 %) и BN (от 0,3 % до 0,4 %) [1].

Фрезерование образцов производилось на станке модели JMD-939GH фрезой с четырьмя зубьями, глубина фрезерования составляла 0,5 мм.

По результатам обработки экспериментальных образцов был построен график зависимости удельного износа от количества проходов (рис. 1).

Из графика очевидно, что изменение удельного износа режущего инструмента от количества проходов для каждой комбинации тугоплавких компонентов имеет схожий характер.

Из анализа графиков кривых стоит отметить, что наличие на кривых крутых участков с изменением значения удельного износа более $5 \text{ мм/мм}^3 \cdot 10^{-4}$ свидетельствует о сколах режущей кромки пластин. Очевидно, что наплавленные слои из проволок АСМ-10 и АСМ-11 соответствуют большим значениям удельного износа пластин, в отличие от проволок АСМ-14 и АСМ-15.

Стоит отметить, что удельный износ пластин при обработке материала АСМ-15 начиная с 23-го прохода увеличивается до значений больших, чем для АСМ-11.

Максимальному удельному износу за 24 прохода соответствует проволока АСМ-10, минимальному – АСМ-14. Следовательно, обрабатываемость наплавленного материала из проволоки АСМ-14 имеет лучшее значение.

Следующим шагом необходимо было определение комбинации удельного износа пластин и износостойкости наплавочного материала для максимального

и минимального удельного износа. Соотношение количества тугоплавких компонентов и износостойкости наплавленного материала для максимального и минимального удельного износа пластин представлено в табл. 1.

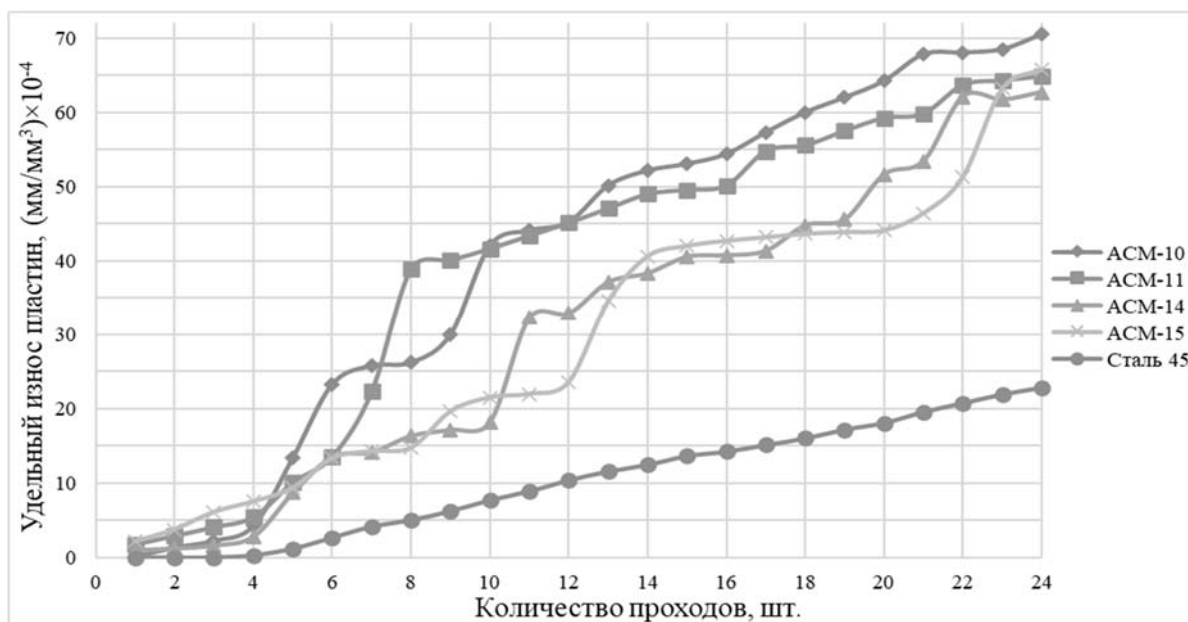


Рис. 1. Зависимость удельного износа пластин от количества проходов

Табл. 1. Количество тугоплавких компонентов в порошковой проволоке

Наименование марки проволоки	Количество компонента, %		Удельный абразивный износ, г/мин	Удельный износ в условиях трения скольжения, г/мин
	W + WC	BNr		
АСМ-10	6	0,3	2,893	5,01
АСМ-11	10	0,4	1,242	4,27
АСМ-14	9,3	0,3	1,188	3,63
АСМ-15	7	0,3	0,867	3,5

Таким образом, правомерно предположение, что наплавленный материал из проволоки АСМ-14 является перспективным для применения в технологии восстановления с упрочнением рабочих поверхностей деталей, при этом будет обеспечиваться удовлетворительная обрабатываемость резанием.

Также целесообразно проведение дополнительных опытов по обрабатываемости материала АСМ-15 в диапазоне значений количества проходов от 22 шт.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новоточинов, А. П. Влияние тугоплавких компонентов на износостойкость наплавочного материала / А. П. Новоточинов, Е. А. Кудинов, А. А. Владимиров // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 8. – С. 12–26.

УДК 621.793.7:621.762

СОВРЕМЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И ИНТЕНСИВНОГО ИЗНОСА

Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО, В. В. ОКОВИТЫЙ,
О. Г. ДЕВОЙНО, А. А. ЛИТВИНКО

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

На основе проведенного обзора современного применения и особенностей создания материалов для нанесения многослойных плазменных покрытий, работающих в условиях высоких температур и интенсивного износа, можно констатировать, что композиции из металлокерамики на основе сплавов никель (кобальт)-хром-алюминий-иттрий (иттербий, церий) и оксидов (диоксид циркония, оксид алюминия, оксид алюминия-оксид титана, оксид церия, оксид иттербия и их композиции) являются основой для целого спектра таких покрытий. Металлические сплавы на основе материала MCrAlY очень часто применяются как функциональное внешнее покрытие или связующее покрытие при процессе плазменного напыления и весьма полезны при защите поверхностей от разрушения при высокотемпературном воздействии на компонентах эксплуатируемых деталей. Новая область использования данных покрытий может быть получена путем добавления частиц новых материалов к базовой металлической матрице MCrAlY для создания композиционных покрытий. Газотермические покрытия MCrAlY с усиленными функциональными свойствами из-за добавления армирующих элементов, таких как иттрий-стабилизированный диоксид циркония (YSZ) ($\text{ZrO}_2\text{-}8\text{Y}_2\text{O}_3$), CeO_2 , $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$, Al_2O_3 , диоксид циркония (CSZ) ($\text{ZrO}_2\text{-}25\text{CeO}_2\text{-}2,5\text{Y}_2\text{O}_3$) [1], характеризуются повышенными механическими свойствами, коррозионной и термической стойкостью. Однако недостаточная прочностная связь между оксидами и металлической матрицей, формирование трещин, сколы, пористость являются характерными недостатками у газотермически напыленных покрытий.

Для уменьшения этих дефектов и улучшения прочностных характеристик покрытия применяются различные варианты последующей высокоэнергетической обработки с помощью лазера или компрессионной плазмы. Добавление оксидной керамики со стабилизацией редкоземельными элементами (РЗЭ) в покрытиях MCrAlY может значительно улучшить как износостойкость, так и коррозионную стойкость покрытий. РЗЭ, будучи поверхностно-активными элементами, снижают поверхностное натяжение и межфазную энергию между ядром кристалла и расплавом в процессе затвердевания, что приводит к улучшению смачивающих свойств и уменьшению краевого угла между расплавом и подложкой [2–4]. В последние годы редкоземельные элементы успешно применялись для изменения поверхностных свойств покрытий, наносимых методом термического напыления. Добавление РЗЭ в покрытия

приводит к измельчению зерен и очистке границ зерен, что увеличивает микротвердость и износостойкость покрытий, снижается коэффициент трения. Низкокачественное топливо обычно содержит примеси, такие как Na и V, которые могут образовывать коррозионные соли Na_2SO_4 и V_2O_5 на покрытии лопаток турбины [1]. Эти расплавленные коррозионные соли могут проникать на всю толщину YSZ через граничные пятна и другие дефекты покрытия YSZ, такие как микротрещины и открытые поры [2]. Проникшие соли могут затем реагировать с оксидом иттрия (стабилизирующий компонент YSZ), и истощение стабилизатора и фазовое превращение тетрагонального диоксида циркония в моноклинный диоксид циркония может происходить очень быстро и эффективно во время охлаждения. Это фазовое превращение также сопровождается быстрым объемным расширением на 3 %...5 %, что приводит к растрескиванию и отслаиванию ТЗП. Добавление Al_2O_3 в покрытие YSZ в ТЗП, напыленных атмосферной плазмой, может значительно снизить диффузию расплавленных солей в слой YSZ и приводит к более высокому сопротивлению ТЗП против горячей коррозии. Можно сказать, что слоистый композит ТЗП, содержащий оксид алюминия, может значительно предотвратить горячую коррозию [1]. Интересно отметить, что Al_2O_3 не может растворяться в ZrO_2 . Оксид алюминия (как жесткая матрица) может окружать только частицы ZrO_2 в системе ТЗП. Это явление может создавать локальные сжимающие напряжения, которые могут препятствовать фазовому превращению тетрагонального диоксида циркония в моноклинную фазу [3]. Тетрагональная фаза ZrO_2 недостаточно стабильна для длительного применения в условиях окружающей среды [4], однако добавление частиц оксида алюминия (Al_2O_3) к ZrO_2 является одним из эффективных методов ингибирования низкотемпературной деградации. Более того, добавление частиц Al_2O_3 минимального размера может привести к дополнительному повышению прочности. Традиционные плазменные напыления ТВС первоначально выявили серьезную проблему низкой прочности во время термоциклирования [1], и это было связано с плохой прочностью связи между покрытием и подложкой, низкой устойчивостью к эрозии/коррозии и отслаиванием покрытий. Эти проблемы могут быть устранены при использовании многослойных покрытий. Концепция многослойных покрытий была впервые предложена для получения материала, способного выдерживать серьезные термомеханические нагрузки, которые часто случаются в конструкциях и термоядерных реакторах в системах космических аппаратов, керамических двигателях, газовых турбинах и дизельных двигателях. Уникальность этой идеи состоит в том, чтобы приготовить новый композит с использованием термостойкой керамики на высокотемпературной стороне, чтобы обеспечить адекватную термостойкость, и твердых металлов с высокой теплопроводностью на низкотемпературной стороне для обеспечения необходимой механической прочности, с постепенным изменением состава от керамики к металлам. Кроме того, оптимальное градиентное распределение состава, микроструктуры и пористости разработано для эффективного снятия термического напряжения и значительного улучшения механических и термических свойств. Для напыления многослойных покрытий применяются различные газотермические методы распыления высокоскоростного кислородного

топлива (HVOF), детонационное напыление, газопламенное, плазменное напыление в вакууме, плазменное напыление на воздухе.

Плазменное напыление на воздухе – наиболее гибкий, эффективный и недорогой метод изготовления многослойных покрытий. Были проведены многочисленные исследования механических и термических свойств многослойных покрытий, полученных плазменным напылением [1]. Однако необходимы обширные исследования во многих аспектах, таких как проектирование, подготовка, оценка и последующая обработка покрытий после напыления. До сих пор в нескольких работах исследовалось улучшение прочности связи покрытий и, как мы знаем, недостаточно высокая для некоторых способов применения прочность связи между покрытием и подложкой многослойных покрытий, сформированных плазменным напылением, всегда является проблемой, когда эти покрытия работают в неблагоприятных условиях. Предлагаемое направление проводимых нами исследований будет касаться технологий создания композиционных порошковых материалов для формирования многослойных плазменных покрытий, работающих в условиях высоких температур при тяжелых и повышенных нагрузках. Для принятия решений, направленных на непосредственное внедрение таких многослойных покрытий, необходимо проанализировать возможности синтеза новых порошковых композиций из оксидной керамики с добавлением металлических сплавов и разработать принципы и критерии, дающие возможность прогнозировать свойства разрабатываемых покрытий, полученных с применением плазменного напыления и последующей высокоэнергетической обработки, на основе исследований оптимизировать технологические параметры плазменного напыления порошковых композитов и последующей модификации. В рамках осуществляемой работы будут изучены спектры влияния формируемых структур из разработанных порошковых композиций плазменных покрытий на физико-механические и эксплуатационные свойства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пантелеенко, Ф. И.** Формирование многофункциональных плазменных покрытий на основе керамических материалов / Ф. И. Пантелеенко, В. А. Оковитый. – Мн. : БНТУ, 2019. – 231 с.
2. Получение композиционного керамического материала для газотермического напыления / В. А. Оковитый [и др.] // Наука и техника. – 2017. – Т. 16, № 3. – С. 181–188.
3. **Пантелеенко, Ф. И.** Исследование плазменных двухслойных композиционных покрытий диоксид циркония – нихром / Ф. И. Пантелеенко, В. А. Оковитый, Е. Ф. Пантелеенко // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – Т. 4, № 3. – С. 100–105.
4. Формирование и исследование плазменных двухслойных композиционных покрытий (вязкий металлический NiCr и твердый ZrO₂ слои) / В. А. Оковитый [и др.] // Наука и техника. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 21–28.

УДК 629.4.027.4

СНИЖЕНИЕ НЕПОДРЕССОРЕННОЙ МАССЫ ЛОКОМОТИВОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Д. К. ПАХОМОВ, Е. Н. КУЗЬМИЧЕВ, Д. Н. НИКИТИН

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Хабаровск, Россия

Снижение неподрессоренной массы у локомотивов железнодорожного транспорта остается актуальной задачей по нескольким причинам, связанным с повышением эффективности, безопасностью, надежностью локомотивов и железнодорожного полотна [1].

Актуальность снижения неподрессоренной массы обусловлена такими факторами, как: уменьшение динамического воздействия на путь; повышение плавности хода и комфорта; улучшение сцепления с рельсами и снижение риска боксования; увеличение конструкционной скорости; снижение затрат на обслуживание и ремонт локомотивов [2, 3].

На сегодняшний день известные следующие подходы, направленные на снижение неподрессоренной массы: применение опорно-рамного подвешивания тягового электродвигателя (ТЭД) вместо опорного-осевого подвешивания; использование асинхронных ТЭД; облегчение колесных пар за счет применения полых осей; внедрение упругих элементов в тяговый привод; оптимизация конструкции букс и других узлов, связанных с неподрессоренной частью локомотивов.

На фоне технологической революции аддитивные методы становятся неотъемлемой частью модернизации железнодорожного транспорта, открывая новые возможности для проектирования и ремонта.

Бурное развитие аддитивных технологий позволяет железнодорожным компаниям снижать капитальные затраты, легализовывать производство запчастей, сокращать логистические издержки и время простоя подвижного состава.

Аддитивные технологии позволяют реализовать топологическую оптимизацию конструкции железнодорожного колеса за счет послойного синтеза и точного дозирования материала при сохранении требуемых механических характеристик и свойств.

Железнодорожные колеса испытывают экстремальные нагрузки (контактные напряжения до 1200...1500 МПа, циклические изгибы, ударные воздействия), что предъявляет жесткие требования к прочности и усталостной стойкости материала.

Обеспечение однородности механических характеристик по всему объему аддитивно изготовленного железнодорожного колеса представляет существенную технологическую сложность. Это обусловлено присущей аддитивным процессам анизотропией свойств материала, возникающей из-за послойного характера синтеза. Дополнительным критическим фактором выступает пористость, типичная для металлических деталей, полученных методами 3D-печати: наличие микропустот создаёт зоны концентрации

напряжений, что недопустимо для колесных пар, работающих в условиях высоких циклических нагрузок. Особую сложность вызывает адаптация традиционных колесных сталей к технологиям селективного лазерного плавления (SLM) и прямого энергетического осаждения (DED). При быстром локальном нагреве и охлаждении такие материалы демонстрируют повышенную склонность к образованию термических трещин. Ситуация усугубляется отсутствием утверждённых отраслевых регламентов для применения порошковых аналогов колёсных сталей в аддитивном производстве. При этом к металлическому порошку предъявляются жесткие требования по качеству: строго регламентируются размер частиц, их сферичность, а также отсутствие оксидных включений, способных ухудшить плотность и прочность конечного изделия.

Несмотря на перечисленные технологические, материаловедческие и нормативные сложности внедрения аддитивных технологий в производство железнодорожных колес, потенциал этого метода для снижения неподрессоренной массы локомотива остается крайне значимым для железнодорожной отрасли. Ключевое преимущество заключается в принципиальной возможности топологической оптимизации конструкции: аддитивные технологии позволяют проектировать внутреннюю структуру колеса с рациональным распределением материала, что позволит создавать облегчённые зоны в малонагруженных участках, формировать ячеистые или решетчатые структуры, исключать избыточный металл без потери несущей способности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вахромеева, Т. В.** Снижение динамических нагрузок в тяговых приводах электровозов с рамным подвешиванием тяговых двигателей и карданными муфтами : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Вахромеева Т. В. – М., 2014. – 243 л.
2. **Бирюков, И. В.** Вагон и маленькая тележка / И. В. Бирюков // Гудок. – 2003. – 23 апр.
3. Тепловозы. Механическое оборудование. Устройство и ремонт / В. Е. Кононов, Н. М. Хуторянский, А. В. Скалин; под ред. Н. М. Хуторянского. – М. : Транспорт, 1988. – 320 с.

УДК 621.791.763.2

О РЕЗУЛЬТАТАХ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКОЙ

А. О. СЕРГЕЙЧИК, С. М. ФУРМАНОВ, А. Д. МИХАЛЮТО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Для проведения механических испытаний образцов, полученных с использованием системы адаптивного управления процессом рельефной сварки, было выбрано соединение пластины со втулкой с конической формой рельефа на ее торце. Выбор основывался на проведенных металлографических исследованиях, показавших качественное формирование кольцевой зоны сплавления, что в свою очередь является положительным признаком повышенных механических свойств соединений.

Образцы сваривались при следующих параметрах режима: диаметр отверстия в пластине $D = 24$ мм, высота рельефа $h_r = 1,5$ мм, припуск на подогрев $h_{\text{под}} = 0,05h_r$, ток подогрева $I_{\text{под}} = 18$ кА, сварочный ток $I_{\text{св}} = 23,5$ кА, время протекания тока подогрева $\tau_{\text{под}} = 0,14$ с, время нарастания тока $\tau_n = 0,06$ с, припуск на сварку $h_{\text{св}} = 0,7h_r$, время протекания максимального сварочного тока $\tau_{\text{св}} = 0,31$ с, усилие сжатия $F_{\text{св}} = 5900$ кН, время проковки $\tau_{\text{ков}} = 0,5$ с.

На рис. 1 представлена схема испытаний на отрыв соединений «пластина + втулка». К изделию, изготовленному при помощи контактной рельефной сварки 1, приваривают способом механизированной сварки кольцевым швом 2 прут арматуры 3 диаметром 22 мм и длиной 200 мм. Полученная конструкция устанавливается в паз пресс-формы 4, которая в свою очередь опирается на стационарное основание 5 разрывной гидравлической машины РГМ-1000 1М с компьютерной системой регистрации параметров испытаний. Арматурный прут захватывается пневматической системой с помощью универсальных клиновых захватов 6. После чего прикладывается усилие P для определения действующих значений временного сопротивления отрыва.

Дополнительной операцией перед механическими испытаниями на отрыв была приварка арматурных стержней к торцам втулок. Это операция является необходимой для обеспечения достаточной длины образцов для захвата зажимом гидравлической разрывной машины РГМ-1000. Результаты, полученные при испытании на отрыв, представлены в табл. 1. Для большей информативности были проанализированы области разрыва образцов после механических испытаний (рис. 2).

При рассмотрении образца с наименьшей прочностью № 3 (см. рис. 2) пришли к выводу, что на формирование геометрии кольцевого соединения повлиял перекося втулки при сварке. Это привело к резкому снижению прочностных свойств за счёт меньшей площади проплавления втулки с пластиной. На основании проведенных испытаний сделан вывод, что на характер

формирования кольцевого соединения значительно влияет параллельность плоскостей электродов.

Были проведены также механические испытания образцов, полученных с использованием системы адаптивного управления процессом рельефной сварки, с использованием конической формы рельефа с заступом на торце втулки. Результаты, полученные при испытании на отрыв, представлены в табл. 1 (образцы № 4–6).

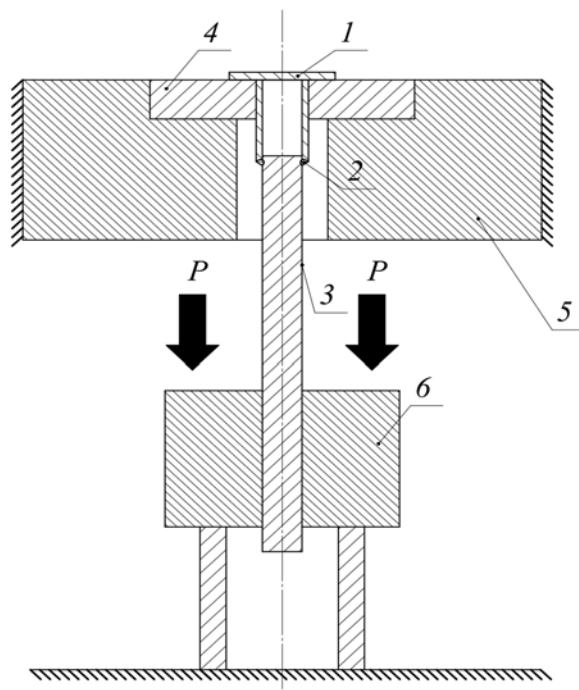


Рис. 1. Схема испытаний на отрыв соединений «пластина + втулка»

Табл. 1. Результаты испытаний на отрыв соединений

Номер образца	Усилие отрыва $F_{отр}$, кН	Номер образца	Усилие отрыва $F_{отр}$, кН
1	33,16	4	30,4
2	36,67	5	20,76
3	22,61	6	22,24

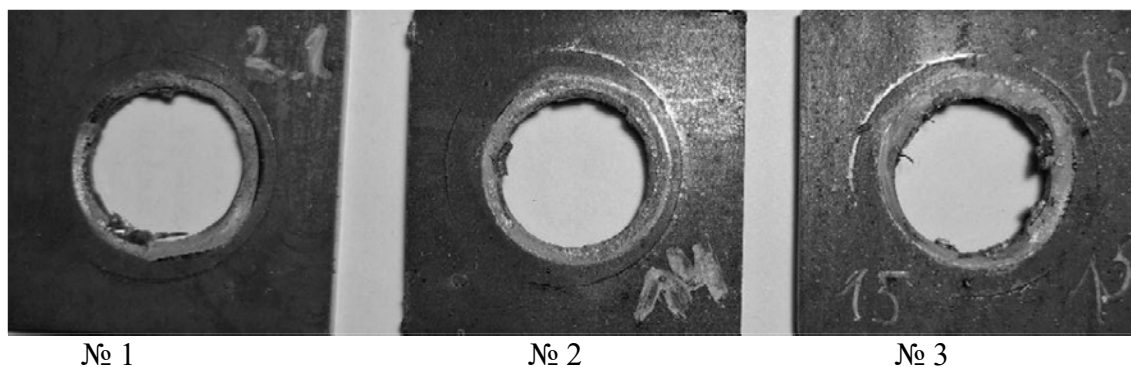


Рис. 2. Вид области разрыва сварного соединения втулки с пластиной

УДК 621.791.763.1

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВАРНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА МЕТОДАМИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. Н. СИНИЦА, М. А. СИНИЦА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Ограждения зданий и сооружений включают ограждения лестниц, площадок, балконов, крыш. Основное назначение ограждений – защита людей от падений с высоты. Другие требования (внешний вид, класс пожарной опасности, технологичность, экономичность и т. д.) являются второстепенными.

На практике чаще всего ограждение представляет собой решетчатую сварную металлоконструкцию из трубного и (или) сортового (полоса, круг, квадрат) проката. В последнее время в конструкциях ограждений используется многослойное стекло.

При проектировании разработчик чертежей МКД должен выбрать такое сочетание формы, размеров и материалов ограждения, при которых оно выдержит заданные эксплуатационные нагрузки. При наличии трехмерной модели и использовании метода конечных элементов расчеты относительно простых решетчатых конструкций не вызывают затруднений. Но при условии, что значения механических свойств материала деталей известны, например при использовании Solidworks Simulation 3D-модель разбивается на стержневые элементы и расчет занимает не более минуты.

Однако если в конструкцию ограждения кроме деталей из стандартного металлопроката входят детали из многослойного стекла (например, экраны), то при расчете возникают трудности задания значений механических свойств такого материала. Производитель стекла не публикует таких данных.

Самый простой подход к заданию свойств стеклянных деталей – считать, что стекло монолитное. Но такое упрощение не учитывает влияние на механические свойства стекла соединительной полимерной пленки.

В докладе изложена методика определения механических свойств монолитного и трехслойного стекла при испытаниях на статический изгиб. Схема нагружения – трехточечная. Испытывались пять образцов с размерами $300 \times 200 \times 10$ мм. При испытаниях нагрузку увеличивали до появления первой трещины в трехслойном стекле и до полного разрушения монолитного и трехслойного стекла. Результаты испытаний могут быть использованы при расчетах комбинированных ограждений объектов строительства.

УДК 621.79

ОБ АТТЕСТАЦИИ СВАРЩИКОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

С. А. СТАЛЕНКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Процедура аттестации сварщиков в Республике Беларусь является обязательной для сварщиков, выполняющих работы на опасных производственных объектах, потенциально опасных объектах в области промышленной безопасности, строительных объектах и объектах использования атомной энергии. Названная процедура регламентирует квалификацию специалистов и гарантирует качество сварных соединений. Процедура аттестации регламентирована нормативными документами, обеспечивающими единые требования ко всем категориям сварщиков независимо от организации-работодателя.

К ключевым нормативным документам, регламентирующим проведение процедуры аттестации сварщиков, относятся: серия стандартов СТБ ISO 9606 (части 1–5), СТБ 2350–2013, Правила аттестации сварщиков Республики Беларусь по ручной, механизированной и автоматизированной сварке плавлением, СТБ ЕН 1418–2001.

Эти документы определяют требования к видам и условиям проведения аттестации, квалификации сварщиков, методам контроля качества контрольных сварных соединений и другие важные аспекты.

Обязательное требование для аттестуемых сварщиков – знание нормативной базы.

Нормативная база по аттестации сварщиков в Республике Беларусь периодически обновляется и дополняется с учетом развития технологий и новых требований к качеству сварочных работ.

Соблюдение и выполнение требований нормативных документов обязательно для всех участников процесса аттестации – от аттестуемых сварщиков до членов аттестационных комиссий. Нарушение требований нормативных документов может повлечь за собой административную или уголовную ответственность. Ответственность за соблюдение норм – основа безопасности и качества.

Квалификационные требования к сварщикам зависят от вида сварки и сложности выполняемых работ. Они определяют необходимый уровень теоретических знаний, знаний технологии сварки, материалов, оборудования и методов контроля качества и уровня практической подготовки.

Аттестация сварщиков – необходимая процедура, гарантирующая высокое качество и безопасность использования сварных соединений.

УДК 621.791.763

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ
 $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{SF}_6$ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Е. А. ФЕТИСОВА, А. А. КОРОТЕЕВ, В. П. КУЛИКОВ

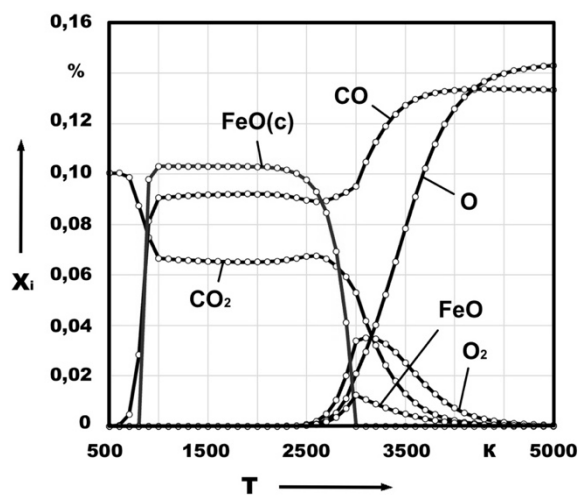
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Перспективным направлением борьбы с водородной хрупкостью при сварке высокопрочных сталей является модификация защитной газовой среды газообразными галогенидами. Это позволяет связать водород в соединения HF , нерастворимые в жидком металле сварочной ванны. Ранее в ряде работ показана эффективность такого механизма при использовании гексафторида серы SF_6 . Газ доступен и широко распространён в электроэнергетике. При высоких температурах дугового промежутка SF_6 активно диссоциирует и вступает в реакции с компонентами защитной газовой атмосферы. Вместе с тем существует проблема повышения массовой доли серы в наплавленном металле.

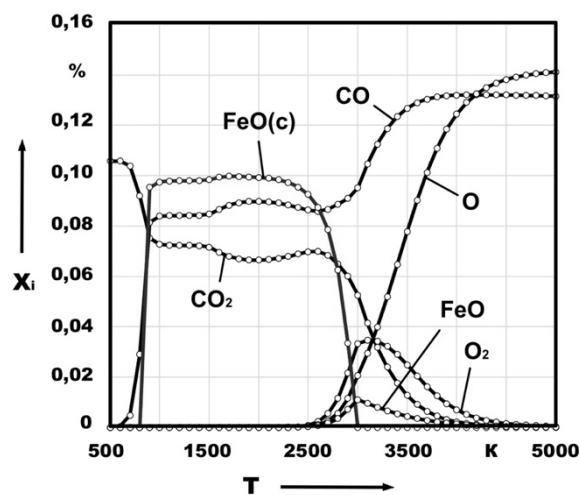
Известно, что сера способна вступать в реакцию с кислородом при высокотемпературном нагреве с последующим образованием сернистого газа. Изменение окислительного потенциала защитной газовой атмосферы при дуговой сварке может выступать одним из способов борьбы с серой в наплавленном металле, ухудшающей свойства сварного соединения. Реализовать этот метод при сварке в защитных газовых смесях можно путем регулирования соотношения количества CO_2 в их составе. Поэтому интерес при проведении термодинамического моделирования поведения равновесного состава трехкомпонентной газовой защитной атмосферы $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{SF}_6$ представляли продукты диссоциации углекислого газа при высокотемпературном нагреве, т. к. в его состав входит O_2 . На рис. 1 представлены результаты термодинамического моделирования равновесного состава газовой смеси, выполненного при помощи программного продукта FactSage, для части продуктов углекислого газа в температурном интервале от 500 до 5000 К.

Результат анализа графических зависимостей свидетельствуют о том, что в температурном диапазоне от 800 до 3000 К кислород, образующийся в результате диссоциации CO_2 , вступает во взаимодействие с парами металла с последующим образованием их продуктов реакции. При температуре 3000 К процесс диссоциации компонентов завершается. Увеличение концентрации атомарного кислорода происходит в интервале температур от 3000 до 5000 К в результате его высвобождения из оксида железа, что отражено спадом графической кривой $\text{FeO}(\text{с})$ на рис. 1.

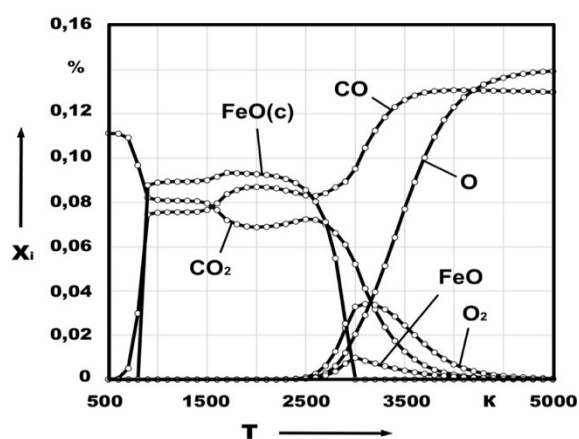
Введение газообразного модификатора SF_6 в состав защитной газовой смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$ способствует увеличению содержания CO_2 в ней в температурном диапазоне от 3000 до 5000 К, что говорит о повышении окислительного потенциала защитной газовой среды (табл.1).



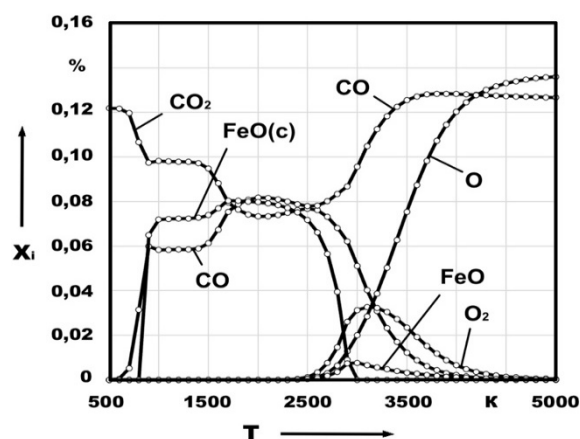
Опыт 1–1, табл. 1 в мольных долях
(SF_6 отсутствует)



Опыт 1–2, табл. 1 в мольных долях
(массовая доля вводимого SF_6 – 0,753 %)



Опыт 1–3, табл. 1 в мольных долях
(массовая доля вводимого SF_6 – 1,499 %)



Опыт 1–4, табл. 1 в мольных долях
(массовая доля вводимого SF_6 – 2,965 %)

Рис. 1. Результаты термодинамического моделирования

Табл. 1. Состав защитной газовой атмосферы

Номер опыта	SF_6	Ar	CO_2	Пары Fe	N	O	H_2O
1–1	0	68,112	16,438	13,673	1,236	0,379	0,163
1–2	0,753	67,573	16,308	13,598	1,229	0,377	0,162
1–3	1,499	67,04	16,179	13,525	1,222	0,375	0,161
1–4	2,965	65,989	15,926	13,38	1,209	0,371	0,159

УДК 621.791.793.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА НА ХАРАКТЕР ФОРМИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЯ «ПЛАСТИНА + ВТУЛКА» ПРИ АДАПТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКОЙ

С. М. ФУРМАНОВ, А. О. СЕРГЕЙЧИК, А. Д. МИХАЛЮТО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При контактной рельефной сварке адаптивное регулирование мощности заключается в измерении величины перемещения подвижного электродного узла во время протекания сварочного тока, задании допусков осадки электрода при подогреве $\Delta_{\text{под}}$ и сварке $\Delta_{\text{св}}$ в процентах от начальной высоты рельефа h_r и перехода от одного этапа сварки к другому при условии достижения этих допусков.

При использовании конической формы рельефа втулка центрируется по отверстию в пластине, однако центрирование втулки недостаточно жесткое, что может приводить ко смещению втулки относительно пластины в горизонтальном направлении (рис. 1, а).

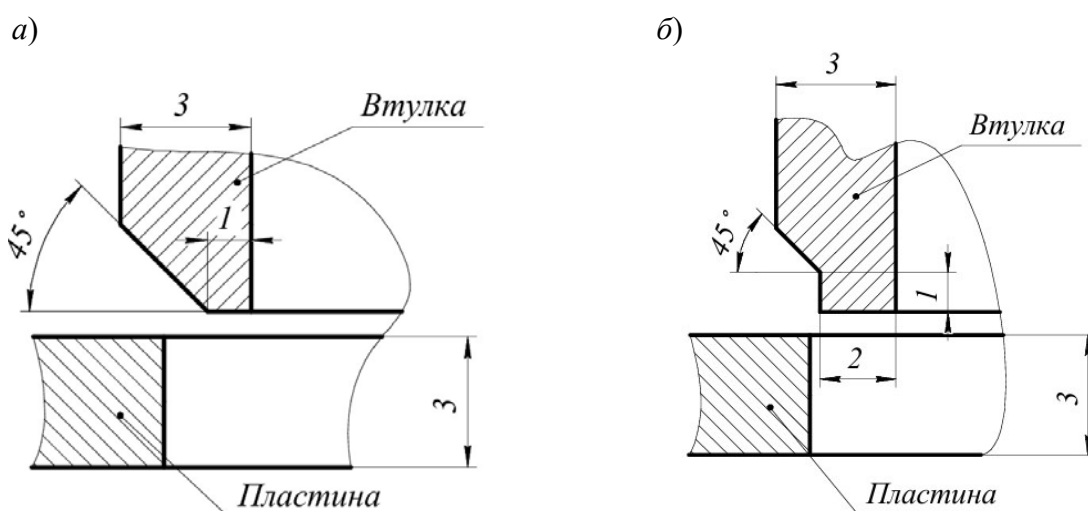


Рис. 1. Размеры рельефов на торце втулки конической (а) и конической с заступом (б) формы

Это подтверждается фотографиями макроструктуры зоны соединения, полученного при следующих параметрах режима: диаметр отверстия в пластине $D = 24$ мм, высота рельефа $h_r = 1,5$ мм, ток подогрева $I_{\text{под}} = 16$ кА, сварочный ток $I_{\text{св}} = 24$ кА, время подогрева $\tau_{\text{под}} = 0,8$ с, время нарастания тока от подогрева к сварке $\tau_n = 0,1$ с, время протекания максимального сварочного тока $\tau_{\text{св}} = 0,14$ с, усилие сжатия $F_{\text{св}} = 4500$ Н (рис. 2).

Использование рельефа конической формы с заступом (см. рис. 1, б) позволяет более жестко центрировать втулку относительно пластины и исключить сдвиг втулки в горизонтальном направлении за счет максимального приближения посадочного диаметра втулки и диаметра отверстия в пластине,

что обеспечивает равномерное формирование кольцевого соединения по ширине зоны сплавления и тем самым повышает его механические свойства.

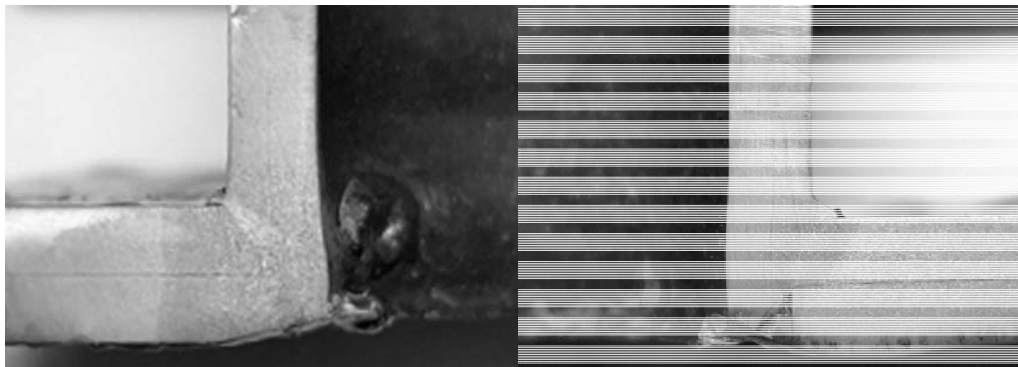


Рис. 2. Макроструктура зоны рельефной сварки втулки с конической формой рельефа на ее торце с пластиной

Металлографические исследования соединений «пластина + втулка» показали, что использование конической формы рельефа с заступом на торце втулки позволяет получить наилучшие результаты формирования зоны сплавления.

Макроструктура зоны соединения (рис. 3) получена при следующих параметрах режима рельефной сварки: диаметр отверстия в пластине $D = 25$ мм, высота рельефа $h_p = 1,0$ мм, ток подогрева $I_{\text{под}} = 19...20$ кА, сварочный ток $I_{\text{св}}$ плавно уменьшается от 24...25 до 23...24 кА, время протекания тока подогрева изменяется в пределах $\tau_{\text{под}} = 0,06...0,13$ с, мощность при подогреве $P_{\text{под}} = 38...42$ кВт, напряжение межэлектродной зоны при подогреве $U_{\text{ээ под}} = 2,2$ В, время нарастания тока от подогрева к сварке $\tau_n = 0,06$ с, время протекания максимального сварочного тока $\tau_{\text{св}} = 0,34...0,49$ с, напряжение межэлектродной зоны при сварке $U_{\text{ээ св}}$ плавно нарастает от 2,5 до 3,5 В, мощность при сварке $P_{\text{св}}$ плавно нарастает от 60 до 80 кВт, усилие сжатия электродов $F_{\text{св}} = 5900$ кН, допуск осадки при подогреве $\Delta_{\text{под}} = 0,1 h_p$, допуск осадки при сварке $\Delta_{\text{св}} = 0,6 h_p$.

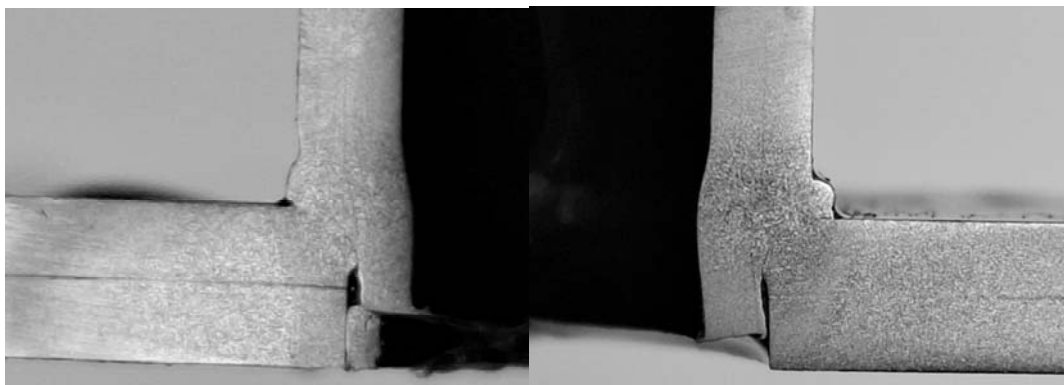


Рис. 3. Макроструктура зоны рельефной сварки втулки с конической формой рельефа и заступом на ее торце с пластиной

УДК 621.791

ИСПЫТАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КРИОГЕННЫХ СОСУДОВ ДЛЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ В ФОРМЕ СЕРТИФИКАЦИИ

М. Ю. ЧЕШКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Для подтверждения соответствия криогенных сосудов, имеющих сварные соединения и являющихся объектами Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 032/2013 *О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением* (далее – ТР ТС 032/2013), в форме сертификации необходимо проводить комплекс испытаний, который согласно Приложению № 2к ТР ТС 032/2013 включает проверку на прочность и герметичность, а также неразрушающий контроль сварных швов с целью обнаружения внешних или внутренних дефектов (повреждений), которые могут повлиять на безопасность оборудования. Однако ввиду конструктивных особенностей на готовом криогенном сосуде данные испытания провести затруднительно, а в большинстве случаев невозможно (без разрушения криогенного сосуда).

В криогенных сосудах сосудом, непосредственно работающим под давлением и на который распространяется действие ТР ТС 032/2013, является непосредственно внутренняя емкость криогенного сосуда.

Невозможность проведения вышеуказанных испытаний криогенных сосудов при сертификации не позволяет объективно и достоверно оценить соответствие данной продукции требованиям ТР ТС 032/2013.

Для проведения объективной оценки соответствия криогенных сосудов требованиям ТР ТС 032/2013 в форме сертификации целесообразно проводить испытания сварных соединений внутренней емкости криогенного сосуда до момента помещения внутренней емкости криогенного сосуда в оболочку (т. е. когда имеется доступ к сварным соединениям внутренней емкости криогенного сосуда). Однако в этот момент отсутствует конечная маркировка криогенного сосуда, что не позволяет аккредитованным органам по оценке соответствия корректно проводить отбор образцов и идентификацию продукции для последующих сертификационных испытаний.

Имеющиеся при подтверждении соответствия криогенных сосудов противоречия в большинстве случаев не позволяют проводить испытания сварных соединений на готовых криогенных сосудах в необходимых для целей сертификации объемах, что в свою очередь не обеспечивает достоверное и объективное подтверждение качества изготавливаемых криогенных сосудов.

Таким образом, изготавливаемые криогенные сосуды в большинстве случаев не подвергаются сертификационным испытаниям в необходимом объеме, что ставит под сомнение достоверность и объективность проводимого подтверждения соответствия и, соответственно, безопасность последующего выпуска в обращение криогенных сосудов.

УДК 621.791.763.2

АДДИТИВНАЯ НАПЛАВКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕДИ НА СТАЛЬНУЮ ПОДЛОЖКУ

Н. М. ШУКАН, К. Н. СЕРДЮКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Медь, обладая высокой тепло- и электропроводностью, является широко востребованным во многих сферах металлом. Медь для сварки применяется с добавлением легирующих элементов, снижающих вероятность появления дефектов. Однако, улучшая прочностные характеристики, легирующие элементы существенно снижают электропроводность. Следовательно, аддитивная наплавка электротехнической меди с минимальным количеством примесей востребована для различного рода медных элементов токопроводящих соединений и теплообменников. При этом данная технология обеспечивает на необходимом уровне требуемые характеристики несмотря на сложности процесса.

При аддитивном синтезе металлическими материалами наложение первого слоя на подложку отличается от остального процесса, приближаясь по своим характеристикам к сварочным. К первоначальному этапу наплавки можно отнести определенное количество слоев. Важными характеристиками являются оптимальные размеры и стабильность поперечного сечения первого слоя, который укладывается на подложку. Параметры режима при этом существенно отличаются от всех последующих слоев.

Были исследованы процессы распространения тепла при последовательном наложении слоев друг на друга, что позволило установить зависимость изменения параметров режима наплавки. Температура первого и последующих слоев замерялась термопарой. Экспериментально подтверждено необходимое количество слоев для достижения стабильности процесса, после чего корректировка параметров не требовалась. Таким образом, выявлена необходимость изменения параметров при изготовлении деталей с различной пространственной конфигурацией, исследованы особенности влияния физических характеристик меди повышенной чистоты в качестве материала для аддитивного электродугового выращивания, определен диапазон толщин, которые возможно получить, применяя диаметр проволоки 1,2 мм. По такой методике наплавлен элемент толщиной стенки 12 мм с отсутствием несплошностей и оксидов.

УДК 621.791.763.2

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НАПЛАВКИ

Н. М. ШУКАН, И. И. ЦЫГАНКОВ, К. Н. СЕРДЮКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Сварка с применением лазерного излучения в качестве источника нагрева становится все более востребована на промышленных предприятиях. Это связано с существенным уменьшением габаритов оборудования при обеспечении достаточной мощности и простоте обслуживания. Основным преимуществом лазеров является гораздо меньший размер зоны нагрева и расплавления, причем есть возможность ее настройки в широких пределах.

К основным параметрам относятся мощность и размер фокусировки пятна, в пределах которой вводится энергия. Так были подобраны оптимальные режимы при наплавке проволокой Italfil IT-600, применяемой для восстановления поверхностей различных элементов оборудования, работающего в условиях интенсивного износа. Обладает высокой твердостью после наплавки порядка 50...55 HRC без последующей термообработки. Предназначена для наплавки в среде защитных газов, однако при таком методе наплавляется достаточно большая величина слоя. Применение лазера позволило существенно уменьшить объем наплавленного металла и обеспечить более оптимальный расход проволоки с хорошим экономическим эффектом. Так получи-лось уменьшить толщину слоя с 3,0...4,0 до 0,5...1,2 мм. Поверхность наплавляется последовательным наложением валиков. Наплавка осуществлялась на мощностях 700...1500 Вт. Для сварки применялся ручной сварочный лазер Oree Laser. Было выявлено, что наибольшее влияние оказывают следующие параметры: размер зоны нагрева, фокусное расстояние, мощность источника излучения. Установлено оптимальное соотношение между величиной пятна и мощностью для обеспечения необходимой формы валика и получения сварного соединения с поверхностью. Выявлено, что избыточная мощность незначительно влияет на качество и производительность процесса. Высокие показатели тепловложения проплавляют основной материал на большую глубину и способствуют высокой степени коробления и деформации даже при наплавке одного прохода. При таком подходе твердость получаемой поверхности снижается до 45...48 HRC, улучшается пластичность. Меньший локальный нагрев минимизирует остаточные деформации, что приводит к более качественной обработке поверхностей тонкостенных элементов. Таким образом, высокая мощность и глубина проплавления такого материала показала большое количество неоднородностей и микротрещин, расположенных поперек глубины, что существенно снизило сплошность металла под наплавленным слоем и его прочность.

УДК 621.926

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕРВОМ ЯРУСЕ ДРОБИЛКИ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ВАЛОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ЧАСТИЦЫ

В. В. БЕРЕСНЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В дробилках ударного типа с вертикальным валом материал поступает на первый ярус из бункера под действием силы тяжести, набирая определенную скорость.

Увеличение скорости подачи – прямой путь к росту производительности дробилки. Однако данный подход имеет ограничение: при определенном сочетании вертикальной скорости частицы и количества рабочих элементов на ярусе возможны негативные сценарии, такие как внецентренный удар или полное отсутствие соударения (проскок).

В связи с этим в работе ставится задача нахождения рационального количества рабочих элементов на первом ярусе. Этот параметр исследуется как функция вертикальной скорости частицы при постоянной частоте вращения ротора.

Высота соударения H (расстояние от условной точки O в нижней части частицы, рис. 1) не является фиксированной. Она варьируется в зависимости от двух ключевых параметров: начального углового положения ротора и вертикальной скорости поступающей частицы.

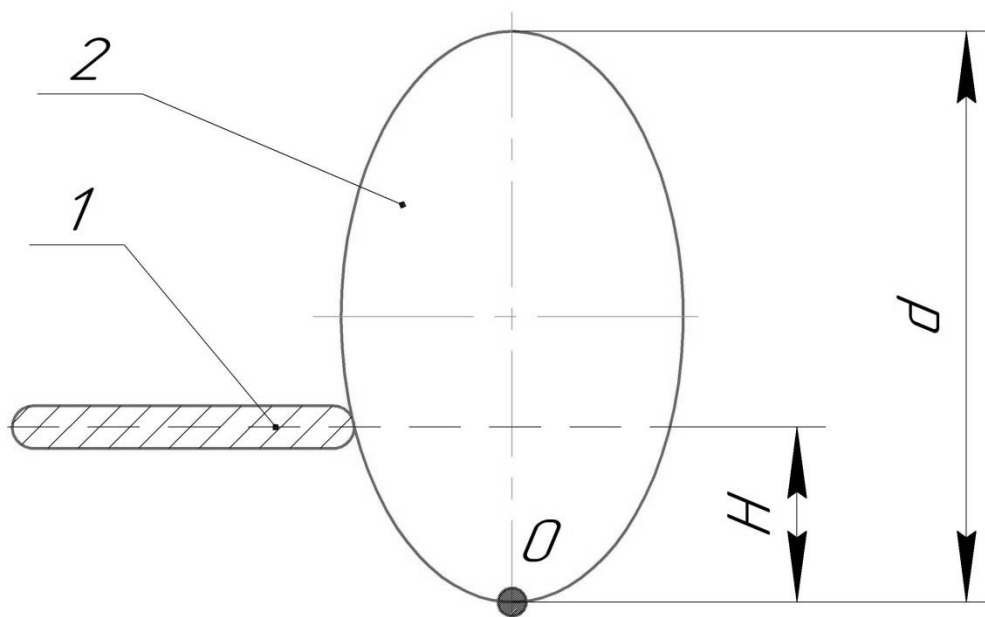


Рис. 1. Схема взаимодействия рабочего элемента с частицей материала: 1 – рабочий элемент; 2 – частица материала; d – продольный размер частицы; O – точка начала отсчета; H – расстояние от точки начала отсчета до места соударения рабочего элемента с частицей материала

Наиболее эффективное разрушение частицы материала размером 0,04 м происходит, когда соударение с рабочим элементом происходит на расстоянии от 0,01 до 0,03 м от точки начала отсчёта (точки O). Эта зона является наиболее благоприятной, т. к. находится ближе к центру масс частицы [1].

Условия моделирования и параметры исследования были следующими:

- количество рабочих элементов на первом ярусе – от 1 до 5;
- размер измельчаемой частицы – 0,04 м;
- высота падения измельчаемой частицы – 0,2 м;
- частота вращения ротора – 1500 мин⁻¹;
- вертикальная скорость частицы – в диапазоне от 0 до 1 м/с.

В результате исследования была определена вероятность того, что соударение частицы с рабочим элементом произойдёт в оптимальной зоне ($H = 0,01 \dots 0,03$ м). Полученные данные представлены в табл. 1.

Табл. 1. Вероятность соударения рабочего элемента с частицей материала

Скорость падения частицы, м/с	Количество рабочих элементов на первом ярусе				
	1	2	3	4	5
0	21,6	43,2	59,5	45,9	37,8
0,1	24,3	45,9	59,5	45,9	35,1
0,2	24,3	48,6	64,9	56,8	37,8
0,3	24,3	51,4	67,6	56,8	37,8
0,4	21,6	43,2	59,5	43,2	37,8
0,5	24,3	48,6	64,9	54,1	37,8
0,6	24,3	45,9	59,5	43,2	40,5
0,7	21,6	43,2	64,9	56,8	40,5
0,8	21,6	43,2	67,6	54,1	45,9
0,9	21,6	45,9	64,9	56,8	45,9
1	21,6	43,2	67,6	56,8	43,2

Как видно из данных табл. 1, максимальная вероятность соударения в оптимальной зоне (0,01...0,03 м) достигается при использовании трех рабочих элементов на ярусе. Следовательно, для заданных условий рациональным и рекомендуемым является установка именно трех рабочих элементов на первом ярусе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Береснев, В. В.** Определение количества рабочих элементов на первом ярусе дробилки ударного действия с вертикальным валом / В. В. Береснев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 24–25 апр. 2025 г. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 207–208.

УДК 621.9

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ УЧЕБНО-ИНЖЕНЕРНОГО МАКЕТА ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ LS3 V8

И. А. БОРОВИК, Е. В. ЛАГОВСКАЯ

Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского
Норильск, Россия

Аддитивные технологии в последние годы занимают все более заметное место в образовательной и инженерной практике, особенно в области подготовки специалистов машиностроительного и автотранспортного профиля. Использование 3D-печати позволяет расширить возможности учебного процесса за счёт создания наглядных моделей и прототипов, демонстрирующих конструкцию и принцип работы сложных технических систем [2, 3]. В отличие от традиционных учебных стендов, аддитивно изготовленные модели могут быть адаптированы под конкретные образовательные задачи и условия эксплуатации.

Одним из перспективных направлений применения аддитивных технологий является создание учебно-инженерных макетов агрегатов машин, позволяющих визуализировать взаимодействие узлов и механизмов. Особую сложность в этом отношении представляют поршневые двигатели внутреннего сгорания, конструкция которых включает большое количество взаимосвязанных деталей и подвижных элементов. В данной работе рассматривается опыт применения аддитивного прототипирования для создания учебно-инженерного макета поршневого двигателя внутреннего сгорания на примере двигателя LS3 V8.

Выбор двигателя LS3 V8 в качестве объекта исследования обусловлен его конструктивной сложностью и наглядностью кинематических процессов, происходящих при работе двигателя. Двигатели V-образной компоновки позволяют эффективно продемонстрировать работу кривошипно-шатунного механизма, взаимосвязь движения поршней и вращения коленчатого вала, а также пространственное расположение основных узлов. Это делает данный объект удобным для использования в качестве учебного макета при изучении дисциплин, связанных с устройством и эксплуатацией двигателей.

Целью работы являлось изготовление функционального учебного макета двигателя LS3 V8 на основе цифровой модели с применением технологий аддитивного прототипирования, а также оценка возможности использования полученного изделия в учебном процессе. Для достижения поставленной цели была выполнена последовательная работа, включающая подготовку цифровой модели, изготовление деталей методом 3D-печати и сборку готового макета.

Цифровая модель двигателя была получена из открытого источника [1] и подвергнута адаптации под условия аддитивного изготовления. Подготовка модели включала анализ геометрии деталей, оценку возможности их печати на доступном оборудовании, а также учёт допусков, необходимых для обеспечения подвижности узлов после сборки. Особое внимание уделялось элементам кривошипно-шатунного механизма, от корректной работы которых зависит

наглядность демонстрации принципов работы двигателя.

После завершения этапа подготовки цифровой модели была выполнена 3D-печать элементов двигателя. Аддитивное изготовление деталей осуществлялось с учётом требований к точности и качеству поверхностей, обеспечивающих корректную сборку и движение узлов. Применение 3D-печати позволило получить элементы сложной формы без использования традиционного станочного оборудования, что подтверждает целесообразность применения аддитивных технологий для изготовления учебных макетов [2, 3].

Завершающим этапом работы стала сборка макета двигателя. В результате сборки обеспечена подвижность основных узлов, что позволило реализовать демонстрацию работы кривошипно-шатунного механизма. Полученная конструкция наглядно показывает процесс преобразования возвратно-поступательного движения поршней во вращательное движение коленчатого вала, а также взаимодействие отдельных деталей двигателя между собой.

Практическая реализация показала, что аддитивное прототипирование эффективно подходит для создания учебных инженерных моделей сложных механических систем. Использование подобных макетов способствует формированию у обучающихся инженерного мышления, упрощает восприятие сложных технических процессов и повышает эффективность изучения дисциплин машиностроительного и автотранспортного профиля [2, 3].

Созданный учебно-инженерный макет может быть использован при проведении лабораторных и практических занятий, а также в качестве демонстрационного пособия при изучении устройства и принципов работы двигателей внутреннего сгорания. Применяемая в работе терминология и основные понятия аддитивных технологий соответствуют действующим нормативным документам Российской Федерации [4]. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения аддитивных технологий для визуализации и изучения сложных механических систем в образовательной среде.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chevy Camaro LS3 V8 Engine – Scale Working Model. – Thingiverse. – URL: <https://www.thingiverse.com/thing:1911808> (date of accesse: 12.02.2026).
2. Применение 3D-принтеров в образовании // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-3d-printerov-v-obrazovanii> (date of accesse: 12.02.2026).
3. **Фаритов, А. Т.** 3D-моделирование и прототипирование во внеурочной деятельности учащихся / А. Т. Фаритов // Педагогика и просвещение. – 2019. – № 4. – С. 44–49.
4. Аддитивные технологии. Базовые принципы. Термины и определения : ГОСТ Р 57558–2025 (ISO/ASTM 52900:2021). – Введ. 31.03.2025. – М. : Рос. ин-т стандартизации, 2025. – 32 с.

УДК 625

ИНТЕГРАЦИЯ КАНАТНЫХ ДОРОГ В СУЩЕСТВУЮЩИЕ
ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Н. С. ИГНАТОВИЧ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Современные города сталкиваются с растущими транспортными проблемами, вызванными урбанизацией и увеличением численности населения. В этих условиях поиск эффективных решений для повышения пропускной способности городских транспортных сетей становится критически важным. Одним из перспективных направлений развития городской транспортной инфраструктуры является интеграция канатных дорог в существующие системы общественного транспорта, особенно в городах с пересеченным рельефом или ограниченным пространством для расширения наземной транспортной инфраструктуры [2].

Канатные дороги обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными видами городского транспорта. Они являются одним из самых экологически чистых видов транспорта с низким уровнем шума и отсутствием прямых выбросов CO₂ [1]. Канатные дороги идеально подходят для преодоления естественных барьеров, таких как реки и овраги, где строительство традиционных транспортных артерий экономически нецелесообразно.

Определение оптимальных параметров канатных дорог, в зависимости от конкретных условий эксплуатации, является критически важным этапом проектирования. Расчеты показывают, что пропускная способность системы напрямую зависит от количества и вместимости кабин, интервала движения и скорости перемещения. При этом необходимо учитывать не только технические, но и социальные факторы, такие как комфорт пассажиров и доступность для различных категорий пользователей.

Медельин (Колумбия) стал первым городом в мире, который в 2004 г. полностью интегрировал канатные дороги в существующую транспортную систему, включающую метро, поезда и автобусы. Система Metrocable не только решает транспортные проблемы, но и способствует социальному развитию ранее изолированных районов. После запуска канатной дороги пассажиропоток в прилегающих районах вырос на 40 %, а среднее время поездки сократилось на 60 мин в день.

Богота (Колумбия) недавно запустила систему TransMiCable, которая интегрирована с существующей системой TransMilenio (BRT). Пользователи высоко оценивают удобство пересадок, единую систему билетирования и сокращение времени в пути [3]. Ла-Пас/Эль-Альто (Боливия) имеет самую масштабную в мире сеть городских канатных дорог Mi Teleférico, насчитывающую более 10 линий, успешно интегрированную с автобусами и метро.

Успешная интеграция канатных дорог в существующие транспортные системы требует учета нескольких ключевых аспектов. Прежде всего необхо-

димо обеспечить физическую связь между станциями канатной дороги и другими видами транспорта через удобные пешеходные переходы, лифты и пандусы для людей с ограниченными возможностями.

Операционная интеграция предполагает согласование интервалов движения с другими видами транспорта и создание единого расписания. Тарифная интеграция включает внедрение единой системы билетирования и разработку комплексных тарифов, таких как «единый билет на день». Информационная интеграция создает целостный пользовательский опыт через единые информационные табло и интеграцию в приложения для планирования маршрутов [5].

Учитывая географические и демографические особенности белорусских городов, наиболее перспективными кандидатами для внедрения канатных дорог являются Минск, Гомель и Могилев. В Минске можно рассмотреть возможность соединения северных и южных районов города через Свислочь. В Гомеле канатная дорога может стать эффективным решением для преодоления естественного барьера в виде реки Сож, соединив центральную часть города с микрорайонами на правом берегу. Аналогичные возможности существуют и в Могилеве [4].

Для успешной реализации таких проектов необходимо провести детальный анализ пассажиропотоков и потребностей населения, обеспечить раннее вовлечение всех заинтересованных сторон и разработать комплексный план интеграции с существующими видами транспорта.

Интеграция канатных дорог в существующие транспортные системы представляет собой перспективное направление развития устойчивой городской мобильности. Международный опыт показывает, что успешная интеграция требует комплексного подхода, охватывающего физическую, операционную, тарифную и информационную совместимость.

Для белорусских городов внедрение канатных дорог может стать эффективным решением для преодоления естественных барьеров и снижения нагрузки на существующую транспортную инфраструктуру. Однако для успешной реализации таких проектов необходимо тщательное планирование с учетом местных условий и потребностей населения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Flessner, M.** Integration of urban aerial cable cars into public transit: Operational capacity limits due to passenger queuing at stations / M. Flessner, B. Friedrich // *Journal of Public Transportation*. – 2024. – Vol. 26. – Article 100094.
2. **BMV (Federal Ministry for Digital and Transport).** Urban Cable Cars in Local Public Transport. – Berlin : Federal Ministry for Digital and Transport, 2023.
3. User expectations and perceptions towards new public transport infrastructure: evaluating a cable car in Bogotá / L. A. Guzman, J. Arellana, V. Cantillo-Garcia, O. Sarmiento // *Transportation*. – 2021. – Vol. 48. – P. 751–771.
4. Развитие транспортной инфраструктуры крупных городов и территорий на основе технологии пассажирских канатных дорог / А. А. Короткий, А. В. Лагерева, Б. Ч. Месхи [и др.]. – Ростов н/Д. : ДГТУ, 2017. – 272 с.
5. **Toplak, S.** Integration Possibility of Urban Public Bus System and Cable Car System / S. Toplak // *Journal of Civil Engineering and Architecture*. – 2016. – Vol. 10, № 2. – P. 123–135.

УДК 62-5

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Н. Г. КИШКАНОВ, К. Н. МАТЮХИН, Л. В. ДОБРОДЕЕВА

Московский государственный технический университет гражданской авиации
Москва, Россия

Авиационная отрасль – это одна из самых сложных транспортных сфер с точки зрения технологичности. Должная надежность летательных аппаратов и жесткие стандарты безопасности – главные моменты, соблюдение которых требует непрерывного совершенствования методов проведения технического обслуживания.

Технологии и способы управления процессами поддержания летной годности, используемые в настоящее время, делают возможным повышение эффективности осуществления проводимых работ [1]. Несмотря на это, в условиях увеличения числа авиаперевозок, в цифровых инструментах, применяемых эксплуатантами и обслуживающими организациями, стали выявляться области, улучшение которых обеспечит требуемую оперативность.

Так, актуальность рассматриваемого вопроса определяется активным использованием летательных аппаратов в сфере гражданской авиации. Это делает обязательным обращение к новым инструментам автоматизации. Именно они могут позволить создать предпосылки для предотвращения имеющихся простоев, приводящих к финансовым потерям авиационных компаний.

Как итог, цель исследования – это проведение анализа вариантов улучшений, которые могут поспособствовать совершенствованию технического обслуживания воздушных судов и дальнейшей модернизации уже разработанных отечественных и зарубежных решений.

В то же время достигнуть требуемой скорости процессов, а также реализовать действия по цифровой автоматизации производства непросто. Ввиду этого требуется обратить особое внимание на организацию правильного взаимодействия между его участниками. Первый этап при этом должен быть связан с созданием документов, стандартизирующих работу персонала [2].

Одним из самых простых и проверенных способов предлагаемой формализации можно считать алгоритмизацию. Получаемая однозначная регламентация задач способна привести к исключению напрасной траты времени. Главным образом это становится возможным благодаря наработке опыта и снижению трудоёмкости.

Одно из требований, которое предъявляется к алгоритму, связано с необходимостью осуществления его этапов без подведения исполнителя к поиску информации или выполнению иных работ, помимо тех, что уже указаны в нём [3]. Это способно снизить воздействие человеческого фактора на результат.

Существует множество методов передачи алгоритмизированной информации. В большинстве случаев прибегают к использованию такого способа, как создание блок-схемы [4].

Приемом, способствующим приближению момента работы специалистов без блок-схем, может стать интеграция чек-листов выполняемых операций [5]. Они в состоянии привнести в их деятельность необходимое ощущение уверенности. Эти особенности позволяют считать его вторым обязательным улучшением процесса технического обслуживания.

Постоянное стремление авиационных организаций к внедрению цифровых технологий в рабочие операции коснулось и мероприятий, которые связаны с разработкой отечественных версий программного обеспечения, ускоряющих процессы. Это, в свою очередь, подводит к значимости вопроса корректного замещения существующих импортных решений.

Ранее российские авиационные компании использовали исключительно зарубежные системы управления техническим обслуживанием. Они и по сегодняшний день делают возможным интеграцию всех аспектов данной работы в единое цифровое пространство. Одной из таких является AMOS (Aircraft Maintenance and Operational Support).

Проводимый анализ российских аналогов показывает необходимость добавления в отечественные аналоги комплексности, внедрения технологий машинного обучения и внесения большего количества данных. Однако для этого необходима не только активная работа авиакомпаний и авиационных организаций, но и государственная поддержка.

Таким образом, проведение цифровизации процессов технического обслуживания – главная долгосрочная задача, связанная с внедрением современных технологий и полноценной интеграцией в деятельность отечественных аналогов. Данные мероприятия усилят конкурентоспособность России на авиационном рынке и повысят независимость отрасли.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Квасницкий, В. Н.** Автоматизация процессов информационной поддержки лётной годности, технического обслуживания и ремонта воздушных судов: мировой опыт и отечественные разработки / В. Н. Квасницкий, С. Н. Коллар // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2025. – № 5 (86). – С. 92–98.
2. **Чернева, А. Д.** Значение закона экономии рабочего времени в инновационном развитии экономических систем / А. Д. Чернева // Молодежь и наука – 2022. – Петрозаводск : Новая Наука (ИП И. И. Ивановская), 2022. – С. 70–75.
3. **Фисенко, О. В.** Что такое алгоритм? / О. В. Фисенко, Ю. С. Юраш, Э. И. Сафаргалина // The Scientific Heritage. – 2020. – № 57. – С. 46–48.
4. **Кишканов, Н. Г.** К вопросу совершенствования процесса технического обслуживания воздушных судов / Н. Г. Кишканов, К. Н. Матюхин // Современные тенденции в естествознании и технике: теория и практика. – М. : НКР – Научный мир, 2025. – С. 110–118.
5. **Кузьменкова, Е. А.** Чек-листы и их применение в деятельности Федерального казначейства / Е. А. Кузьменкова // Журнал Бюджет. – 2021. – № 9 (225). – С. 50–53.

УДК 656.2.08

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СВЕТОФОРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Н. А. КОВАЛЕНКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время в Республике Беларусь насчитывается около 4,5 млн транспортных средств. Это приводит к перегрузке дорожной сети, особенно в крупных городах, и возникновению заторов в местах пересечения транспортных потоков (рис. 1).



Рис. 1. Заторы в час пик на загруженном перекрестке г. Могилева

Комплексно эта задача решается путем совершенствования дорожной сети, расширения дорожного полотна, увеличения числа полос движения, создания объездных, рокадных и кольцевых дорог, строительства путепроводов и т. п. Но это требует больших финансовых и материальных затрат, значительного времени на их реализацию, а иногда и просто невозможно из-за сложившейся структуры зданий и сооружений, расположенных вблизи дорог. Особенно это характерно для старых городов, историческая планировка которых не рассчитана на большие транспортные потоки.

Одним из возможных путей уменьшения заторов является оптимизация светофорного регулирования на наиболее загруженных перекрестках. Существующие методы определения длительности светофорного цикла, количества и длительности его фаз основаны на усредненных показателях интенсивности движения по полосам движения (СТБ 1300–2014, ГОСТ 25695 и др.). Так, для определения длительности светофорного цикла используется простейшая методика и указывается, что он не должен превышать 120...150 с. Поэтому принимаемые решения по длительности цикла и фаз основываются на опыте организаторов дорожного движения и не всегда являются оптимальными.

Для оптимизации светофорного регулирования, с учетом конкретных условий, необходимо использовать моделирование. С этой целью первоначально разработана логическая схема моделирования движения автомобилей на перекрестке при включенной фазе для наиболее интенсивного транспортного потока. Она включает следующие этапы:

- 1) моделирование закона поступления автомобилей;
- 2) моделирование цикла светофора;
- 3) моделирование занятия очереди автомобилем;
- 4) моделирование разрешающего сигнала светофора;
- 5) моделирование продвижения очереди и проезда перекрестка;
- 6) моделирование запрещающего сигнала светофора;
- 7) моделирование добавления вновь прибывших автомобилей в очередь.

Для реализации логической схемы было использовано программное обеспечение GPSS (General Purpose Simulation Sistem) – интерпретирующий язык, обеспечивающий имитацию пространственных перемещений объектов (в данном случае автомобилей) при фиксированной блок-схеме. В частности, были смоделированы цикл и фаза работы светофора для наиболее загруженного направления трехполосной дороги. Для моделирования конкретного светофорного объекта необходимо получить закон поступления автомобилей на основе статистических данных по наблюдению за прибытием автомобилей в часы пик. Также необходимо получить статистические данные по количеству автомобилей, успешно преодолевших перекресток в рассматриваемой фазе.

Результатом моделирования (функции отклика) являются средняя длина очереди, среднее время ожидания в очереди, максимальное количество автомобилей в очереди, относительная пропускная способность, абсолютная пропускная способность.

Изменяя в модели длительности цикла и фаз, получают численные значения указанных функций отклика. Выбор рекомендуемого варианта светофорного регулирования может осуществляться по одному (главному) из перечисленных показателей, когда он принимает наилучшее значение, или их комбинации.

Для комплексной оценки эффективности работы светофорного объекта, при различных вариантах длительности цикла светофорного регулирования, можно использовать средневзвешенное время преодоления перекрестка всеми автомобилями или сумму стоимостей потерь времени транспортными средствами (исходя из среднего расхода топлива автомобилем при его работе на холостом ходу) и потерь времени пассажирами на перекрестке (исходя из средней заработной платы в регионе) на регулируемом перекрестке.

УДК 629.1

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ АВТОМОБИЛЕЙ

Е. В. КУЗНЕЦОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Объем работ при испытаниях автомобильной техники отражается в документе, который называется «Программа и методика испытаний». В нем, в частности, регламентируется количество повторных (параллельных) опытов в каждой точке снимаемой характеристики, что существенно влияет на трудоёмкость и материальные затраты испытаний. Однако путём увеличения числа параллельных опытов можно уменьшить случайную погрешность измерений и тем самым сузить доверительный интервал снимаемой характеристики. Поэтому актуальной задачей является определение необходимого и достаточного количества параллельных опытов.

Как известно [1], при любых измерениях имеют место систематические и случайные погрешности. В связи с этим можно сделать логический вывод, что если систематическую погрешность исключить невозможно, то случайную погрешность имеет смысл уменьшать до разумных пределов, а именно до границ систематической.

При многократных измерениях, т. е. когда имеют место параллельные опыты, суммарная (абсолютная) погрешность измерений определяется выражением [1]

$$\Delta = k \sqrt{\left(\frac{\sigma^2}{n} + \frac{\omega^2}{3} \right)}, \quad (1)$$

где k – коэффициент учета доверительной вероятности P и закона распределения погрешностей; σ – среднее квадратическое отклонение измеряемой величины; ω – граница систематической погрешности; n – число параллельных опытов.

Из данной зависимости следует, что от отношения границы систематической погрешности к среднему квадратическому отклонению измеряемой величины зависит число параллельных опытов n , которое практически влияет на точность измерений. Это соотношение, в свою очередь, зависит от закона распределения случайной (измеряемой) величины, что иллюстрируют графики, приведенные на рис. 1.

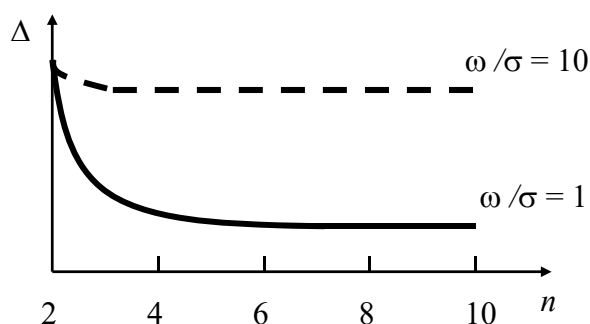


Рис. 1. Зависимость погрешности измерений от количества параллельных опытов при различных законах рассеивания измеряемой величины

Например, при нормальном законе распределения погрешности $\omega / \sigma = 6$, т. е. достаточно от трех до пяти параллельных опытов в каждой точке снимаемой характеристики.

Наиболее часто погрешности измерений соответствуют нормальному закону распределения. Однако проверка гипотезы (предположения) о виде (законе) распределения опытных данных является важной частью процесса обработки результатов измерений. Для такой проверки используют критерий Колмогорова, χ^2 Пирсона и иные методы.

При числе опытных данных $N < 50$ критерии Пирсона и Романовского нельзя применять. В этом случае используют составной критерий, алгоритм которого следующий:

- 1) определяют смещённое среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma^* = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (X_j - X_{j.cp})^2}{N}}; \quad (2)$$

- 2) на основе σ^* вычисляют d -критерий:

$$\tilde{d} = \sum_{j=1}^N \frac{|X_j - X_{j.cp}|}{N y^*}; \quad (3)$$

- 3) по таблицам d -распределения определяют нижнюю и верхнюю границы интервала для данного количества точек N .

Если функция (3) попадает в этот интервал, то гипотеза о соответствии опытных данных нормальному закону распределения не отвергается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, Е. В. Испытания самоходной техники / Е. В. Кузнецов, В. И. Сёмчен. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2023. – 186 с.

УДК 629.114.2:621.828.6

АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА ПРИ ЗАГЛУБЛЕНИИ ОТВАЛОВ ЗЕМЛЕРОЙНОЙ ТЕХНИКИ

А. В. КУЛАБУХОВ, А. П. СМОЛЯР

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Несмотря на многочисленные исследования в области расчета сил сопротивления копанию, недостаточное внимание уделяется процессу заглубления отвалов землеройных машин, особенно при изношенных ножах. Этот этап работы повторяется многократно в ходе эксплуатации и существенно влияет на общую производительность. Отсутствие методик оптимизации заглубления и учета влияния затупления ножа определяет необходимость специального исследования.

В научной литературе выделяются два основных направления в изучении разрушения грунтов: экспериментальные методы, основанные на установлении эмпирических зависимостей между параметрами рабочего органа, свойствами грунта и силами сопротивления (работы В. П. Горячкина, Ю. А. Ветрова, А. Н. Зеленина), и аналитические методы, использующие законы механики грунтов и теории прочности (подходы И. Я. Айзенштока, В. В. Соколовского, Е. И. Берестова).

Большинство существующих моделей ориентированы на расчете горизонтальной и вертикальной составляющих сопротивления при установившемся резании с острой кромкой. Геометрия изношенного ножа и особенности начального заглубления изучены фрагментарно.

В качестве базового математического аппарата можно принять теорию предельного равновесия сыпучей среды В. В. Соколовского. Данный подход, описываемый системами дифференциальных уравнений и условием Кулона, позволяет строго определять напряженно-деформированное состояние грунта в зоне контакта с рабочим органом. Метод характеристик, примененный Соколовским, дает возможность решать краевые задачи для областей с разными граничными условиями, что актуально для моделирования процесса внедрения отвала.

Для разработки методики расчёта сил сопротивления при заглублении отвала в грунт, с учетом реальной геометрии изношенной режущей кромки, необходимо проанализировать кинематику и силовое взаимодействие при начальном заглублении отвала, адаптировать уравнения теории предельного равновесия для случая контакта с затупленной кромкой, оценить влияние параметров износа (ширины площадки, углов) на величину и точку приложения результирующей силы сопротивления и на основе модели предложить практические рекомендации по снижению энергозатрат на этапе заглубления.

УДК 625.08

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК
НА ВЕДУЩИЕ КОЛЕСА ГУСЕНИЧНОГО БУЛЬДОЗЕРАИ. В. ЛЕСКОВЕЦ¹, А. А. ГРАЧЕВ²¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Россия

Проектирование и обеспечение надежности механизмов и деталей гусеничных машин, таких как ведущие колеса бульдозеров, является сложной инженерной задачей. Традиционно при прочностных расчетах статические нагрузки корректируются с помощью коэффициентов динамичности K_d , учитывающих дополнительные усилия от динамических нагрузок при взаимодействии движителя с грунтом и сил инерции.

Однако анализ существующих исследований и практики проектирования позволяет установить, что значения коэффициентов динамичности часто назначаются без достаточного обоснования, исходя из априорных рекомендаций. Это может приводить к негативным последствиям:

- при занижении K_d – риск усталостных разрушений и снижения ресурса;
- при завышении K_d – неоправданное увеличение массы, металлоемкости и конечной стоимости конструкции без улучшения эксплуатационных качеств.

Целью данного исследования является проведение имитационных экспериментов для определения динамических нагрузок на ведущие колеса бульдозера в процессе копания и на основе результатов моделирования – формулировка научно обоснованных рекомендаций по применению коэффициентов динамичности в прочностных расчетах.

Для решения поставленной задачи авторами используется системный подход, рассматривающий бульдозер как комплекс взаимосвязанных подсистем: «оператор – двигатель – трансмиссия – движитель – рабочее оборудование – грунт».

С целью достижения поставленных целей разработаны дифференциальные уравнения движения отдельного трака, находящегося в зацеплении с зубьями ведущего колеса. В системе дифференциальных уравнений математической модели учитываются касательная и нормальная силы со стороны трактов, взаимодействующих с колесом, усилия от соседних трактов в гусеничной цепи, геометрические и массово-инерционные параметры трака.

Данная модель интегрирована в общую имитационную модель гусеничного бульдозера, которая включает математические описания характеристик дизельного двигателя и трансмиссии, рабочего оборудования, модель взаимодействия отвала с грунтом, учитывающую сопротивление резанию, формирование призмы волочения, силы трения.

На базе математических моделей создано специализированное программное обеспечение, позволившее провести серию вычислительных экспериментов для бульдозера 10-го тягового класса. Эксперименты имитировали полный цикл

технологического процесса копания грунта: начало движения, разгон, заглубление отвала, набор призмы волочения и транспортировку грунта при трех различных толщинах стружки (100, 150 и 200 мм). Параметры грунта (категория, угол внутреннего трения, сцепление, плотность) задавались в соответствии с реальными условиями.

Проведенные имитационные эксперименты позволили получить характеристики сил сопротивления движению и вращающих моментов на ведущих колесах.

Анализ полученных результатов показал, что характеристики сил сопротивления движению носят негармонический, сложный характер, определяемый процессом резания и перемещения призмы волочения.

Момент на ведущих колесах имеет ярко выраженную гармоническую составляющую с периодом около 2 с, что указывает на доминирующее влияние собственных колебаний массово-инерционной системы машины, а не непосредственно процесса копания грунта.

На основе статистической обработки полученных результатов рассчитан коэффициент динамичности для каждого режима. Установлено, что:

- при малых нагрузках (толщина стружки – 100 мм) коэффициент динамичности достигает значительных величин – до 1,15...1,20 (15 %...20 %);
- при больших нагрузках (толщина стружки – 150 и 200 мм) коэффициент динамичности снижается и не превышает 1,03 (3 %).

На основании полученных результатов сформулированы следующие научно-практические выводы.

Динамические нагрузки на ведущие колеса носят сложный характер и определяются в большей степени собственными колебаниями конструкции машины, а не колебаниями от процесса резания.

Коэффициент динамичности не является константой для данного узла. Его величина обратно пропорциональна уровню статической нагрузки на рабочее оборудование.

При проведении прочностных расчетов ведущих колес и валов трансмиссии на максимальные нагрузки (режим полного заглубления отвала), характерные для выбора сечений и подшипников, учет коэффициента динамичности не является обязательным.

Технико-экономическое обоснование: отказ от необоснованного завышения коэффициента динамичности позволяет избежать излишнего увеличения массы и металлоемкости изделия, что ведет к снижению материалоемкости и себестоимости конструкции без ущерба для ее надежности.

Разработанная методика системного имитационного моделирования применима для оценки динамических нагрузок в других узлах гусеничных и колесных машин. Для окончательных выводов по другим системам бульдозера (например, раме, элементам подвески) требуются дополнительные целевые исследования.

УДК 62-592.117

ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ТОРМОЗНОЙ МОМЕНТ КАК КРИТЕРИЙ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ

А. А. МЕЛЬНИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

На данный момент не выработано единого стандарта для сравнительной оценки конструкций тормозных механизмов. На практике используется методика сравнения конструкций тормозных механизмов на основании заранее определенных критериев с учетом разного веса каждого из критериев в конечном сравнительном параметре. В качестве единого численного критерия, отражающего способность тормозного механизма развивать необходимый тормозной момент при минимальных массе и габаритах, предлагается применять относительный тормозной момент.

Тогда для сравнения конструкции тормозов будут использоваться следующие критерии: относительный тормозной момент, экономичность, надежность, сложность конструкции, обслуживание, универсальность, сложность проектирования, ремонтпригодность, износостойкость, материалозатратность, требования к квалификации, эффективность, габариты, масса. При этом отдельно предлагается оценивать критерии относительного тормозного момента и экономичности.

Сравнительный параметр K_R предлагается определять по формуле

$$K_R = \frac{\sum K_i \cdot Z_\zeta \cdot Z_e}{\sum K_{i,\max} \cdot Z_{\zeta,\max} \cdot Z_{e,\max}}, \quad (1)$$

где Z_ζ , $Z_{\zeta,\max}$ – присвоенное и максимально возможное значение балла для конструкционного решения по критерию относительного тормозного момента; Z_e , $Z_{e,\max}$ – присвоенное и максимально возможное значение балла для конструкционного решения по критерию экономичности; K_i , $K_{i,\max}$ – присвоенное и максимально возможное значение балла для конструкционного решения по критерию i .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников, А. А. Сравнительная оценка вариантов конструкций тормозных механизмов автомобилей / А. А. Мельников // Актуальные вопросы машиноведения. – 2023. – Т. 12. – С. 68–70.

УДК 629.113

ВЛИЯНИЕ УГЛОВ НАКЛОНА ОПОРНОЙ ПЛАСТИНЫ НА УРАВНОВЕШЕННОСТЬ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА САМОУСТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ ТОРМОЗНЫЕ КОЛОДКИ

А. А. МЕЛЬНИКОВ, А. С. МЕЛЬНИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Характерной особенностью при использовании самоустанавливающихся тормозных колодок барабанных тормозов является неравномерный износ фрикционных накладок и возникновение скрипа. Причина происходящих явлений лежит в возникновении неуравновешенности сил, действующих на самоустанавливающиеся тормозные колодки. Проведение исследований показало, что для устранения вибраций и одностороннего, несимметричного относительно середины колодок износа фрикционных накладок необходимо силы, возникающие в контакте тормозного барабана и накладок и стремящиеся сместить колодки по поверхностям опорной пластины, уравновесить реакциями опорной пластины. На основе последовательного рассмотрения эпюр износа накладок, соответствующих различным углам наклона рабочих поверхностей опорных пластин, взаимодействующих с тормозными колодками, установлено, что по мере увеличения угла наклона опорной пластины ϵ от 0° до 15° происходит выравнивание износа по длине фрикционных накладок. При этом для каждого тормозного механизма существует свое значение угла наклона ϵ , являющееся оптимальным значением, обеспечивающим равномерный износ фрикционной накладки и дальнейшее увеличение угла наклона опорной пластины, что дает обратный эффект. Дополнительным негативным фактором, ведущим к неравномерному износу фрикционных накладок и возникновению скрипа тормозов, является расположение стяжных пружин безотносительно к углам наклона рабочих поверхностей опорных пластин. Во время работы тормоза колодки под действием стяжных пружин сползают по наклонным поверхностям опорной пластины, что также приводит к возникновению вибраций и одностороннему износу накладок. Вибрации (скрип) и неравномерный износ накладок, вызванные действием стяжных пружин, устраняются при закреплении пружин, когда линии их действия являются нормальными нажимным и опорным поверхностям разжимного устройства и пластины. Проведенные исследования и полученные аналитические выражения позволяют определить оптимальные углы наклона опорных пластин, при которых достигается равномерный износ тормозных накладок и устранение вибраций (скрипа) созданием уравновешенности сил, действующих на тормозные колодки.

УДК 629.113

ЗАВИСИМОСТЬ ЧИСЛА ЗУБЬЕВ РЕГУЛЯТОРА ЗАЗОРА ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ОТ УГЛА ПОВОРОТА РАЗЖИМНОГО КУЛАКА

А. А. МЕЛЬНИКОВ, А. С. МЕЛЬНИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Автоматические регуляторы зазоров между тормозными колодками и поверхностью трения должны обеспечивать постоянство зазора тормозных колодок при сохранении положения разжимного кулака тормозного механизма. В разработанном автоматическом регуляторе решение данной задачи обеспечивается механизмом с храповыми поверхностями.

При этом число зубьев храпового колеса z_{np} должно обеспечивать не только выборку зазоров между тормозными колодками и поверхностью трения, но и передачу усилий, прижимающих тормозные колодки к поверхности трения. В то же время количество зубьев храпового колеса z_{np} должно обеспечивать возврат разжимного кулака в исходное положение, создавая при этом необходимый зазор между тормозными колодками и поверхностью трения.

Рассматривалось влияние различных углов поворота разжимного кулака χ на значение числа зубьев храпового колеса z_{np} . Исходя из полученных аналитических выражений определялись оптимальные значения числа зубьев храпового колеса z_{np} , соответствующие углу поворота разжимного кулака χ . При этом принималось, что угол поворота храпового колеса α соответствует углу поворота разжимного кулака χ .

Для угла поворота храпового колеса $\alpha = 5^\circ$ значение числа зубьев храпового колеса соответствует $z_{np} = 72$. После получения остальных значений числа зубьев храпового колеса z_{np} в зависимости от угла поворота храпового колеса α и сформированной функциональной зависимости имеется возможность на предварительной стадии проектирования определить число зубьев храпового колеса z_{np} в зависимости от угла поворота храпового колеса α и, соответственно, угла поворота разжимного кулака χ .

Полученные аналитические выражения для определения числа зубьев z_{np} в зависимости от угла поворота храпового колеса α и, соответственно, угла поворота разжимного кулака χ позволяют получить параметры автоматического регулятора, обеспечивающего не только получение необходимого зазора между тормозными колодками и поверхностью трения при сохранении положения разжимного кулака, но и исключают возможность заклинивания тормозных колодок, возникающую в автоматических регуляторах-прототипах.

УДК 629.113

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТОРМОЗНОГО ПРИВОДА МАГИСТРАЛЬНЫХ АТС

Е. А. МОИСЕЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Актуальность проблемы определяется тем, что пневматический тормозной привод, оставаясь стандартом для магистральных АТС, обладает существенным недостатком – значительным временем срабатывания. Это явление выходит за рамки простого увеличения тормозного пути и напрямую влияет на безопасность. Как показано в исследованиях [1], увеличение временного запаздывания срабатывания тормозов полуприцепа относительно тягача приводит к возникновению опасной динамической продольной нагрузки в седельно-сцепном устройстве, что является причиной потери устойчивости автопоезда.

Время срабатывания тормозного привода автопоезда складывается из последовательных задержек в контурах тормозной системы тягача и полуприцепа. Ключевое значение имеет разница во времени начала эффективного торможения звеньев. Исследования подтверждают, что пиковые динамические нагрузки могут в несколько раз превышать статические. Эффективность торможения автопоезда при этом падает, т. к. часть кинетической энергии рассеивается не в тормозных механизмах, а в деформации элементов седельно-сцепного устройства. Следовательно, меры по снижению времени срабатывания, особенно на полуприцепе, напрямую уменьшают эту разницу во времени, снижая ударные нагрузки и повышая устойчивость автопоезда в целом.

Существующие методы снижения времени срабатывания можно разделить на несколько групп по механизму воздействия. К эксплуатационным методам относятся обеспечение абсолютной герметичности системы, поддержание качественной воздухоподготовки с помощью исправных осушителей и фильтров, а также своевременное обслуживание компонентов тормозной системы. Эти меры направлены на восстановление и поддержание характеристик тормозной системы, но не решают проблему принципиально для длинных автопоездов.

Конструктивная модернизация пневматического привода предполагает изменение его физических параметров для ускорения протекающих процессов. К таким методам относятся увеличение диаметра магистралей, что напрямую уменьшает пневматическое сопротивление и сокращает время наполнения тормозных камер, и стратегическая установка быстродействующих клапанов на полуприцепе, вблизи тормозных механизмов. При этом управляющий сигнал начала процесса торможения активирует клапан, который мгновенно подает воздух, минимизируя путь его прохождения. Применение двухпроводной пневматической схемы с разделением магистралей питания и управления также

повышает стабильность давления и скорость отклика тормозных приводов полуприцепа. Комплексная реализация перечисленных мер позволяет снизить временную разницу в срабатывании звеньев на 30 %...40 %.

Принципиальным изменением системы управления является переход на электропневматическую систему. Ее суть заключается в замене достаточно медленного пневматического сигнала на мгновенный электрический по схеме «датчики педали – электронный блок управления – электромагнитные клапаны у каждой тормозной камеры». Эффект от такого перехода позволяет сократить время срабатывания тормозного привода автопоезда в 2–3 раза. Это является наиболее эффективным способом устранения причины ударного нагружения в седельно-сцепном устройстве. Кроме того, такая система открывает возможности для реализации интеллектуальных функций [2], таких как АБС и система курсовой устойчивости, а также для точной координации торможения звеньев автопоезда.

На основании проведенного анализа можно сформулировать выводы и рекомендации. Проблема снижения времени срабатывания пневматического привода является сложной задачей, напрямую связанной с безопасностью, долговечностью узлов сцепки и общей эффективностью процесса торможения. Для существующего парка техники необходим иерархический подход, начинающийся с безупречного содержания штатной системы и продолжающийся целевой модернизацией пневматического привода полуприцепа с установкой перспективных тормозных механизмов с улучшенными характеристиками. Для перспективных разработок приоритетом должна стать электропневматическая тормозная система, кардинально устраняющая причину асинхронного торможения. Предложенные конструктивные усовершенствования дисковых тормозов [2] являются важным компенсирующим направлением и могут эффективно дополнять меры по модернизации пневматической системы.

Перспективы дальнейших исследований видятся в разработке цифровых моделей сопряженной динамики всех элементов комплекса «пневматический привод – тормозной механизм – седельно-сцепное устройство» для их комплексной оптимизации. Также актуально создание адаптивных алгоритмов управления для электропневматических систем с учетом новых конструкций тормозов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Моисеев, Е. А.** Повышение устойчивости движения седельного автопоезда путем совершенствования колесного тормоза полуприцепа / Е. А. Моисеев // Актуальные вопросы машиноведения. – 2019. – № 8. – С. 21–25.
2. **Моисеев, Е. А.** Дисковый тормоз для полуприцепа с развитой поверхностью трения, адаптивный к САБ магистральной АТС / Е. А. Моисеев // Актуальные вопросы машиноведения. – 2020. – № 9. – С. 84–88.

УДК 621.355.2

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ДЕСУЛЬФАТАЦИЯ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ИМПУЛЬСНЫМИ АСИММЕТРИЧНЫМИ ТОКАМИ

Е. А. МОИСЕЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Актуальность исследования обусловлена повсеместным использованием свинцово-кислотных аккумуляторов (АКБ) в качестве основных стартерных батарей для автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. Однако специфика использования стартерных аккумуляторов – частые недозаряды в городском цикле, глубокие разряды при длительных простоях, воздействие экстремальных температур – приводит к ускоренной деградации и, как следствие, к преждевременному выходу батареи из строя. Таким образом, разработка эффективных методов восстановления ресурса данных АКБ представляет собой важную практическую задачу для автосервисной отрасли. Основным лимитирующим фактором их срока службы является необратимая сульфатация – процесс образования на поверхности электродов крупнокристаллического, плохорастворимого сульфата свинца (PbSO_4). Этот слой снижает активную площадь пластин, увеличивает внутреннее сопротивление и приводит к потере полезной ёмкости. Традиционные методы зарядки неспособны обратить глубокую сульфатацию, что создаёт необходимость в разработке специализированных восстановительных технологий. Среди них – метод электрохимической десульфатации импульсными асимметричными токами (ИАТ).

Теоретической основой процесса служит электрохимическая кинетика образования и растворения PbSO_4 . При нормальной эксплуатации разряд сопровождается образованием мелкодисперсного PbSO_4 , который при последующем заряде легко регенерируется в диоксид свинца и губчатый свинец. Однако при нарушении режимов эксплуатации происходит рекристаллизация: мелкие кристаллы растворяются и повторно осаждаются в виде крупных, термодинамически стабильных образований с низкой растворимостью и проводимостью. Метод ИАТ направлен на разрушение именно этой стабильной структуры. Принцип действия основан на подаче на АКБ последовательности импульсов сложной формы, включающей мощный зарядный импульс прямой полярности, короткий разрядный импульс обратной полярности и паузу. Такое воздействие создаёт нестационарные условия у поверхности электрода. Зарядный импульс обеспечивает основную электрохимическую реакцию преобразования PbSO_4 , в то время как разрядный импульс вызывает локальную деполяризацию, микрокипение электролита в порах активной массы и создаёт механические напряжения, способствующие разрушению крупных кристаллов. Пауза необходима для релаксации концентрационных градиентов и диффузии ионов серной кислоты к поверхности реакции.

Эффективность десульфатации находится в строгой зависимости от выбора параметров импульсного воздействия, которые образуют многомерное пространство оптимизации. Ключевыми из них являются частота следования импульсов, их амплитуда, скважность и коэффициент асимметрии – отношение амплитуды разрядного тока к зарядному. Важно подчеркнуть, что не существует универсального набора параметров. Их оптимальные значения зависят от типа АКБ, его состояния, степени сульфатации и температуры. Следовательно, наиболее перспективным является создание адаптивных систем, способных в реальном времени подстраивать параметры воздействия под реакцию конкретной АКБ.

Реализация такого адаптивного подхода стала технически и экономически оправданной с развитием микроконтроллеров. В качестве платформы для построения устройства управления был выбран микроконтроллер STM32F103C8T6. Его выбор обусловлен наличием таймеров, позволяющих генерировать сложные импульсные последовательности с аппаратно реализованной защитой от сквозных токов. Силовой каскад представляет собой полный H-мост, собранный на мощных MOSFET-транзисторах, что позволяет формировать импульсы как прямой, так и обратной полярности. Цепи измерения включают в себя прецизионный шунт для измерения тока, резистивный делитель для контроля напряжения на АКБ и датчик температуры.

Управляющий алгоритм, исполняемый микроконтроллером, реализует многофазную адаптивную логику. Процесс начинается с этапа диагностики: на АКБ подаётся короткий тестовый импульс, по отклику напряжения вычисляется его текущее внутреннее сопротивление, на основе которого оценивается степень сульфатации и выбираются начальные параметры работы. Затем начинается основной цикл десульфатации. В нём микроконтроллер, используя таймеры, формирует импульсы с заданными параметрами, а с помощью аналого-цифрового преобразователя непрерывно контролирует напряжение, ток и температуру. Эти данные поступают в алгоритм адаптивной коррекции. При достижении порогового напряжения или чрезмерном нагреве амплитуда зарядного тока автоматически снижается. Таким образом, система работает не по жёсткой программе, а гибко реагирует на состояние АКБ. Процесс продолжается до выполнения одного из критериев завершения.

В заключение можно констатировать, что электрохимическая десульфатация импульсными асимметричными токами представляет собой научно обоснованный и высокоэффективный метод восстановления свинцово-кислотных аккумуляторов. Ключевым фактором его успешной реализации является переход от устройств с фиксированными параметрами к интеллектуальным адаптивным системам.

УДК 621.8

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕДУКТОРОВ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

А. Е. НАУМЕНКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Согласно правилам по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов, для грузоподъемных кранов, эксплуатируемых в Республике Беларусь, предусмотрено техническое освидетельствование и техническое диагностирование с периодичностью (в основном) раз в три года.

В состав грузоподъемных кранов различных типов (мостовых, козловых, башенных, порталных и некоторых стреловых самоходных) входит механический привод, включающий в себя цилиндрические или червячные редукторы.

Оценка технического состояния редуктора производится по нескольким показателям, оценивающим его корпусные элементы, передачи и подшипники. В настоящее время основным методом технического диагностирования этих элементов является визуально-измерительный контроль, который позволяет определить величину измеряемых показателей и сравнить их затем с предельно-допустимыми значениями, установленными нормативной документацией.

Для оценки части контролируемых показателей (например, наличия обломов зубьев, износа зубьев по делительной окружности, дефектов в корпусных деталях, люфта подшипников и др.) достаточно открыть смотровую крышку редуктора. Для оценки других показателей (например, поломки сепараторов подшипников, состояния соединений «вал – ступица», выкрашивания на беговых дорожках и телах качения подшипников, износа отверстий под подшипники в корпусных деталях и др.) необходимо производить частичную разборку редуктора.

Опыт технического диагностирования грузоподъемных кранов показывает, что условия, в которых они эксплуатируются, таковы, что производить разборку редукторов на кране нежелательно, а в некоторых случаях невозможно (например, при работе крана в литейных цехах слой пыли на кране может достигать до нескольких сантиметров), т. к. попадание внешних загрязнителей внутрь корпуса приводит к интенсивному износу элементов передач и подшипников.

Одним из способов, возможных для применения в таких условиях, является вибродиагностика, которая заключается в оценке состояния виброакустической активности редуктора с использованием виброанализаторов. Так как на грузоподъемных кранах используются в основном специальные крановые редукторы, определение параметров вибрации для редукторов, не имеющих дефектов, возможно при введении новых кранов в эксплуатацию или после проведения ремонтов. Таким образом, для крановых редукторов, работающих в сложных условиях окружающей среды, данный метод можно использовать при техническом диагностировании и техническом освидетельствовании без проведения разборки редуктора.

УДК 629.113

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ДВУХКОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

М. Л. ПЕТРЕНКО, В. Д. ФЕДОСОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Повышение безопасности движения на дорогах общего пользования является важнейшим вопросом и над его решением трудятся различные службы и специалисты. В Республике Беларусь ежегодно отмечается снижение общего количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП). На этом фоне остро выделяется рост количества ДТП с участием двухколесных транспортных средств (далее – ДТС) [1].

Увеличение количества ДТП с участием ДТС обусловлено ростом на дорогах общего пользования ДТС категории *L1*, к которым относятся также мопеды, скутера, мотовелосипеды, мокики, электроскутера, электромотоциклы с номинальной максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки, не превышающей 4 кВт.

К основным причинам ДТП с участием ДТС относятся опрокидывание и столкновение с другими транспортными средствами. Для повышения безопасности движения двухколесные транспортные средства должны оснащаться системами активной безопасности (антиблокировочные системы) или комбинированной тормозной системой [2, 3]. Из-за невысокой стоимости большинства скутеров, электровелосипедов и других ДТС они практически не оснащаются системами активной безопасности. Некоторые модели скутеров могут быть оснащены комбинированными тормозными системами.

Тормозные системы двухколесных транспортных средств [3] представлены на рис. 1.

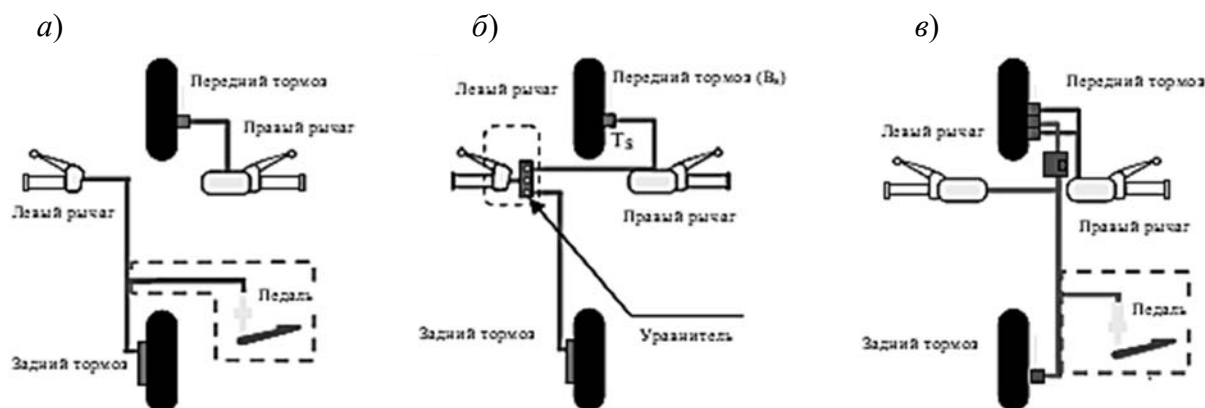


Рис. 1. Тормозные системы двухколесных транспортных средств: *а* – обычная тормозная система; *б* – комбинированная тормозная система с одним общим контуром; *в* – комбинированная тормозная система с одним общим контуром и отдельным контуром на переднее колесо

Комбинированная тормозная система не позволяет предотвратить опрокидывание и потерю управляемости в процессе торможения. Также одним из недостатков существующих конструкций комбинированных тормозных систем является необходимость обеспечения работы тормозной системы при потере герметичности одного из контуров.

В процессе торможения ДТС с комбинированной тормозной системой происходит перераспределение давления в рабочих контурах тормозной системы с учетом изменения нормальных сил в пятне контакта колеса с опорной поверхностью [4]. При экстренном торможении блокировка переднего колеса способна приводить к опрокидыванию и падению водителя через руль.

Для предотвращения опрокидывания и повышения эффективности работы комбинированной тормозной системы без существенного повышения стоимости конструкции тормозной системы и транспортного средства в целом предлагается внедрить в конструкцию клапана пропорционального давления функцию изменения давления в рабочем контуре переднего тормозного механизма в зависимости от величины перераспределения нормальных сил в пятне контакта колеса с опорной поверхностью.

В момент начала опрокидывания ДТС происходят снижение и потеря сцепления заднего колеса с опорной поверхностью, что приводит к снижению до нуля нормальной нагрузки в пятне контакта колеса с дорогой и перемещению маятника задней подвески.

Рассмотрев существующие конструкции клапана пропорционального давления и подвеску ДТС, было предложено установить в клапан механизм, обеспечивающий перераспределение давления в контурах в зависимости от нормальной нагрузки, приходящейся на колеса ДТС, и выполняющий кратковременный сброс давления в тормозном контуре переднего колеса в момент отрыва заднего колеса от дороги для предотвращения опрокидывания. Кратковременный сброс давления позволит предотвратить опрокидывание и восстановить управляемость транспортного средства.

Восстановление сцепления заднего колеса с опорной поверхностью и увеличение нормальных сил создаст перемещение маятника подвески, что создаст усилие на механизм клапана для восстановления давления в тормозном контуре переднего колеса без дополнительного воздействия на органы управления тормозной системой со стороны водителя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Итоги I квартала : рост числа погибших. – URL : <https://tbgazeta.by/strong-svedeniya-o-kolichestve-dtp-pogibshih-i-ranennyh-v-nih-lyudej-v-regionah-respublikiv-yanvare-marte-2024-i-2025-gg-strong-br/> (дата обращения: 11.01.2026).
2. О принятии технического регламента Таможенного союза о безопасности колесных транспортных средств : решение Комис. Тамож. союза от 9 дек. 2011 г. № 877: в ред. от 28 мая 2015 г.
3. Тормозные системы мотоциклов : ГТК № 3 ООН.
4. **Петренко, М. Л.** Теоретические основы создания системы следящего торможения велосипеда «Аист» / М. Л. Петренко, В. А. Ким // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. – 2019. – Вып. 8. – С. 26–29.

УДК 629.113

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АМОРТИЗАТОРОВ
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА КАТЕГОРИИ М1

О. А. ПОНОМАРЕВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь.

Современные тенденции развития средств диагностики требуют перехода от планово-предупредительного к предиктивному техническому обслуживанию, основанному на фактическом состоянии механизмов и систем транспортных средств. Для амортизаторов, как элементов безопасности, это особенно актуально, т. к. их отказ может привести к потере управляемости и аварийным ситуациям.

Для прогнозирования долговечности амортизаторов на основе статистических данных, с учетом возможности их последующего пополнения, предлагается двухэтапная методология, интегрирующая моделирование траекторий деградации параметра состояния (КПД) и анализ выживаемости с использованием оценённых параметров деградации в качестве ковариат. Такой подход позволяет учесть индивидуальные особенности износа каждого агрегата и количественно оценить влияние скорости деградации на вероятность отказа.

В основе прогнозирования лежит принцип моделирования траектории деградации параметра технического состояния – в данном случае КПД амортизаторов – как функции наработки (пробега). Для каждого однородного участка деградации оценивается параметрическая модель. В случае, если динамика деградации явно нелинейна (КПД амортизаторов, зачастую, вначале падает медленно, а затем ускоряется), необходимо использовать нелинейную полиномиальную модель

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \varepsilon_i, \quad (1)$$

где y_i – значение КПД в i -й момент наблюдения; x_i – соответствующий пробег; β_0 – неизвестный индивидуальный параметр, интерпретируемый как оценка начального уровня КПД (условно при пробеге, равном нулю); β_1 – неизвестный параметр, отражающий индивидуальную скорость деградации (наклон траектории). Отрицательное значение параметра отражает снижение КПД с ростом пробега. Чем больше абсолютное значение $|\beta_1|$, тем быстрее происходит износ; β_2 – неизвестный индивидуальный параметр, отражающий ускорение деградации. Отрицательное значение параметра указывает на ускоряющуюся траекторию деградации; ε_i – случайная ошибка, включающая в себя погрешность измерения и стохастические колебания процесса; обычно предполагается, что ошибки независимы нормально распределенные с нулевым средним и постоянной дисперсией σ^2 .

Параметры оцениваются методом наименьших квадратов в матричной форме

$$\beta_i = (X_i^T X_i)^{-1} X_i^T Y_i, \quad (2)$$

где X_i – матрица плана, $X_i = [1, x_i, x_i^2]$.

Параметры индивидуальных моделей деградации, оцененные по формуле (2), используются как ковариаты в модели пропорциональных рисков Кокса

$$h_i(x) = h_0(x) e^{(\beta_{1i}\gamma_1 + \beta_{2i}\gamma_2 + Z_i\gamma_c^T)}, \quad (3)$$

где $h_i(x)$ – функция отказа для i -го объекта; $h_0(x)$ – базовая функция отказа; Z_i – вектор дополнительных ковариат (модель амортизатора (автомобиля), годовой пробег); $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_c$ – коэффициенты модели.

Оценка параметров модели Кокса производится методом максимального частичного правдоподобия. Функция правдоподобия имеет вид

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n \left[\frac{e^{\beta^T Z_i}}{\sum_{j=R(x_i)} e^{\beta^T Z_j}} \right]^{\delta_i}, \quad (4)$$

где $R(x_i)$ – множество риска в момент; δ_i – индикатор события (1 – отказ; 0 – цензурирование).

Множество риска $R(x_i)$ в момент пробега определяется как множество всех амортизаторов, которые еще не были заменены и продолжали эксплуатироваться, по крайней мере, до пробега x_i .

Прогноз остаточного ресурса для амортизатора с параметрами Z при текущем пробеге x_0 вычисляется как

$$R(x_0) = \int_{x_0}^{\infty} S(x|Z) dt = \int_{x_0}^{\infty} e^{\left(-\int_0^x h(u|Z) du \right)} dt. \quad (5)$$

Прогнозирование долговечности (остаточного срока службы) амортизаторов, основанное на адаптации методов анализа выживаемости к инженерным задачам, обеспечивает точность прогнозирования 85 %...90 %, что на 25 %...35 % превышает точность традиционных методов, основанных на нормативных сроках замены. Предложенный подход позволяет перейти от качественных оценок («амортизатор изношен») к количественным прогнозам («амортизатор проработает еще 18 500 км с вероятностью 90 %»), что является основой для предиктивных систем технического обслуживания.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки систем предиктивного технического обслуживания транспортных средств, что позволит оптимизировать затраты на эксплуатацию и повысить безопасность дорожного движения.

УДК 629.114: 62-592-52

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОРМОЗОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

С. А. РЫНКЕВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Электромобили представляют собой значительный этап в эволюции автомобилестроения, объединяя в себе инновационные технологические решения и приверженность принципам устойчивого развития.

Для повышения безопасности электромобилей на кафедре автомобильного транспорта ПГУ совместно с учеными ОИМ НАН РБ был спроектирован прототип интеллектуальной системы регулирования тормозов (ИСРТ).

Предусмотрено три основных режима.

1. Стандартное движение. Система начинает работу в режиме движения электромобиля, непрерывно мониторя ключевые параметры электродвигателя: напряжение, ток и скорость вращения.

2. Автоматическая рекуперация. При активации торможения (отпускание водителем педали акселератора) происходит автоматический переход в режим рекуперативного торможения. Электродвигатель трансформируется в генератор, направляя выработанную энергию на зарядку суперконденсаторной батареи (СКБ) с обязательным контролем напряжения и ограничением тока для защиты компонентов.

3. Максимальное замедление. Интенсивное нажатие на педаль тормоза инициирует этот режим. Он активируется автоматически, причем плавность переходов между всеми режимами гарантирует комфорт для водителя и пассажиров.

Для повышения эффективности и безопасности торможения в современных электромобилях ИСРТ обеспечивают ряд дополнительных функций:

- дублирование критически важных управляющих каналов;
- автономное питание для обеспечения бесперебойной работы систем защиты;
- использование резервных датчиков, создающих избыточность данных для более точных измерений;
- интегрированные камеры и радары способствуют предупреждению о потенциальных столкновениях;
- синхронизация с СКБ обеспечивает согласование работы ИСРТ и электродвигателя.

Интеллектуальная система управления тормозами обеспечивает до 22 % экономии энергии за счет оптимизированной рекуперации в городском режиме движения. При этом СКБ выполняет функцию накопителя, снижая пиковые нагрузки на основную батарею и тем самым продлевая ее ресурс.

УДК 621.8

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛЕИ ПОДКРАНОВОГО ПУТИ КОЗЛОВЫХ КРАНОВ

В. И. СЁМЧЕН

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Измерение расстояния между подкрановыми рельсами чаще всего выполняется непосредственным способом, основанным на использовании лазерного дальномера и мишени, не требующим расчетов и позволяющим получать информацию о колее подкранового пути «здесь и сейчас» без математической обработки результатов.

Измерение параметров подкранового пути козловых кранов, эксплуатируемых на открытых складах металлов, осложняется наличием в пролете крана штабелей и стеллажей складываемых материалов, насыпей для железнодорожных путей и эстакад. Наличие указанных препятствий не позволяет размещать базу дальномера и мишень непосредственно на головке или на шейке рельса.

Для обеспечения возможности измерений необходимо разместить базу дальномера и мишени на некоторой высоте относительно головок рельсов. При этом для достижения допускаемой погрешности измерений необходимо расположить базы лазерного дальномера и мишени в плоскостях, проходящих через оси соответствующих рельсов. Указанные плоскости должны быть вертикальны и параллельны друг другу, а ось луча дальномера должна быть перпендикулярна им.

Для решения указанной задачи предлагается пара устройств, содержащих штатив и закрепленную шарнирно на его головке вертикальную штангу. Применяется штативная головка с гасителем колебаний. Нижняя часть штанги относительно шарнира имеет большую длину, чем верхняя. На её конце размещаются контргруз и соосный штанге лазерный излучатель. На верхней части штанги крепят лазерный дальномер или мишень, база которых лежит в одной плоскости с осью луча лазерного излучателя.

При измерении разбивают путь на участки равной длины. Устанавливают в одном сечении подкранового пути на противоположащих рельсах предложенные устройства и выставляют необходимую высоту. На головке рельса монтируют специальные центрирующие устройства для определения оси рельса. Позиционируют штативы или штанги таким образом, чтобы луч лазерных излучателей на штангах совпал с осями рельсов после затухания колебаний штанги. После установки оборудования производят измерения. Указанный алгоритм повторяют во всех сечениях.

Использование описанного способа и оборудования позволит обеспечить возможность непосредственных измерений колеи козловых кранов в сложных условиях.

УДК 621.92

ВОЛНОВОЙ АППАРАТ С ДИНАМИЧЕСКИМ УРАВНОВЕШИВАНИЕМ КОЛЕБАНИЙ

Ю. М. ХАРИТОНОВ, С. Ф. ШАШЕНКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Волновые аппараты относятся к оборудованию с ярко выраженным динамическим характером рабочего процесса. Одним из наиболее перспективных вариантов выполнения являются аппараты с качательным движением рабочей камеры. Однако при их работе возникают значительные по величине инерционные силы, которые требуют уравнивания. Рассмотрим один из вариантов решения этой проблемы, представленный на рис. 1.

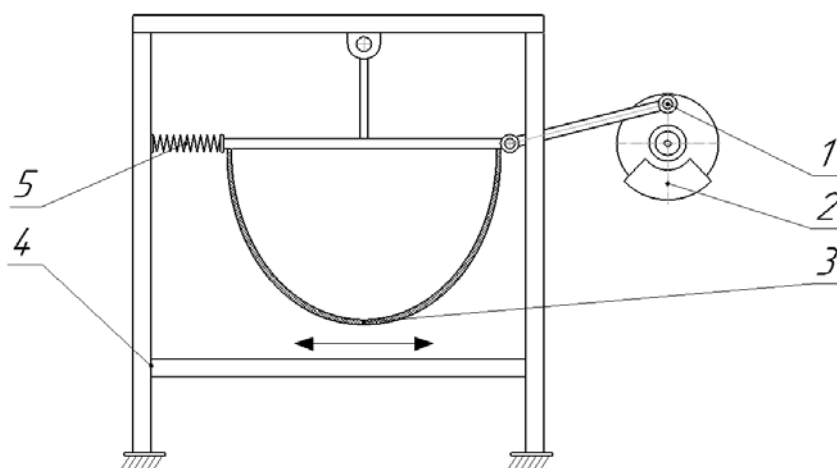


Рис. 1. Волновой аппарат с динамическим уравниванием колебаний

Данное технологическое решение характеризуется наличием в одноволновом аппарате динамического уравнивания колебаний, при котором на кривошипе устанавливается балансирующий груз 2, расположенный противофазно по направлению движения рабочей камеры 3. Со стороны, противоположной установке кривошипно-шатунного механизма 1, на раме 4 смонтирован выполненный в виде цилиндрической пружины амортизатор 5.

Выполнение привода в виде кривошипно-шатунного механизма является наиболее простым и эффективным решением с точки зрения передачи требуемого вида движения волнообразной рабочей камере, а оснащение его балансирующим грузом, установленным противофазно его эксцентриковой оси, и пружинным амортизатором позволяет уравнивать силы, возникающие при возвратно-поступательных перемещениях всей колебательной системы предлагаемой конструкции аппарата. Массу балансирующего груза следует выбирать исходя из частоты и амплитуды колебаний волнообразной рабочей камеры, а также с учётом находящегося в ней количества обрабатываемого продукта. В качестве пружинного амортизатора используется пружина, работающая на сжатие.

УДК 629.113.07

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОРТАТИВНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЯ

А. В. ЮШКЕВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Развитие и расширение функций электронных блоков управления (ЭБУ), появление сложных систем управления двигателем, управления трансмиссией, наряду с увеличением количества блоков ЭБУ, требуют от инструментов диагностики не только считывания кодов ошибок, но и мониторинга динамических параметров в реальном времени. Таким образом, ключевой задачей является разработка компактного, автономного, экономичного и недорогого устройства, которое способно предоставлять подробную информацию о двигателе и бортовых системах автомобиля в целом.

Для решения данной проблемы разработано портативное устройство, состоящее из общедоступных компонентов, способное выполнять мониторинг параметров работы двигателя и электронных систем через шину данных Controller Area Network (CAN).

Конструкция устройства состоит из модуля CAN с интерфейсом Serial Peripheral Interface (SPI) на базе MCP2515, вычислительного модуля на основе микроконтроллера ESP32, модуля TFT-дисплея диагональю 2,8 дюйма и разрешением 320×240 пикселей.

Программное обеспечение устройства состоит из взаимосвязанных между собой модулей. Для автоматического определения скорости CAN-шины и поддержки протоколов UDS и OBD-II разработан модуль сетевого взаимодействия, который способен автоматически определить скорость CAN в диапазоне от 125 до 1000 кбит/с. Для реализации алгоритма интерпретации параметрических идентификаторов, кэширования информации и обнаружения аномалий разработан модуль обработки данных, способный обрабатывать до 150 сообщений/с. Данные модули реализованы и выполняются первым ядром процессора ESP32. Последующий модуль пользовательского интерфейса, необходимый для отображения меню, параметров в графическом и цифровом виде, настройки режимов работы, реализован на втором ядре ESP32. Программная часть устройства корректно расшифровывает и рассчитывает динамические параметры в реальном времени, интерфейс отображает информацию в реальном времени.

Результаты проектирования устройства подтверждают возможность создания портативного диагностического устройства с использованием доступных компонентов и модулей.

УДК 629.113

РАЗРАБОТКА ПРОТИВОБУКСОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ ДВУХКОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА
НА ОСНОВЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

А. В. ЮШКЕВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Повышение устойчивости и безопасности движения двухколесных транспортных средств является актуальной задачей при проектировании систем активной безопасности. Известно, что в процессе разгона мотоцикла, когда крутящий момент превышает силу сцепления с опорной поверхностью, происходят потеря поперечной устойчивости и занос. Для решения данной проблемы мотоциклы оснащаются противобуксовочными системами (ПБС). Существующие алгоритмы ПБС в качестве первичных источников информации используют кинематические параметры, а именно в алгоритмах происходит косвенная оценка дорожной ситуации путем анализа скорости вращения колес. На основании этого формируется управляющий сигнал на снижение мощности двигателя либо подтормаживание колеса. Однако использование в качестве первичной информации кинематических параметров имеет ряд таких недостатков, как запаздывание работы системы, ступенчатое управление, высокая стоимость системы в целом.

Для решения данной проблемы была разработана ПБС на основе механического осциллятора, принцип работы которой основан на возбуждении управляемых автоколебаний. Система обеспечивает при разгоне стабилизацию сцепления непосредственно в пятне контакта колеса с опорной поверхностью за счет динамической модуляции нормальной нагрузки на колесо и детерминированной параметризации скольжения (режим управляемого микроскольжения).

Механический осциллятор, встроенный в узел крепления заднего колеса и маятника, конструктивно представляющий из себя упругий элемент с подобранной нелинейной характеристикой, позволяет постоянно удерживать коэффициент продольного сцепления вблизи его максимального значения из диаграммы «скольжение – сцепление», избегая при этом резкого падения поперечного сцепления, за счет возбуждения управляемых автоколебаний ограниченной амплитуды.

Макетный образец ПБС адаптирован и установлен на мотоцикл «Минск СХ200». В ходе стендовых испытаний были получены результаты, которые подтвердили снижение амплитуды неконтролируемой пробуксовки и повышение устойчивости при разгоне.

УДК 502.51(1/9)

О ПРОБЛЕМАХ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИЗ РАЗНЫХ
ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИТ. Н. АГЕЕВА, В. М. ПУСКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В результате антропогенного загрязнения окружающей среды постоянно ухудшается состояние поверхностных и подземных вод, которые используются в хозяйственной деятельности. От качества употребляемой питьевой воды во многом зависит здоровье человека. Проблема обеспечения населения качественной питьевой водой существует и на территории Могилевской области. Ежегодно регистрируется значительное количество проб воды (более 50 %) из источников централизованного и нецентрализованного водоснабжения, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям [1]. Особенно остро проявляется проблема повышенного содержания нитратов и железа в питьевой воде.

Появление нитратов в водных источниках связано с интенсивным внесением в почвы минеральных и органических удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур, попаданием в грунтовые воды поверхностных стоков животноводческих ферм и личных подсобных хозяйств, а также промышленных и канализационных стоков. Согласно нормативу, предельно допустимая концентрация (ПДК) нитратов в питьевой воде составляет 45 мг/л [2].

В сельской местности в основном используются источники нецентрализованного водоснабжения, к которым относятся колодцы, колонки, а иногда и родники. Антисанитарное состояние территории, прилегающей к источнику водоснабжения, незащищенность грунтовых вод от поверхностного загрязнения (песчаные почвы), нарушение технологии строительства колодцев и отсутствие своевременного ремонта, близкое расположение к ним хозяйственных построек могут стать основными причинами загрязнения воды. Как показали результаты исследований, наиболее высокое содержание нитрат-ионов отмечалось в пробах воды из колодцев. В некоторых случаях их содержание в 10 раз и более превышало ПДК. Большая половина исследованных проб не соответствовала нормативным требованиям. Отмечалась сезонная зависимость в концентрации нитратов в воде из колодцев. В весенний и осенний периоды она была выше, чем в летний и зимний. Усиленное потребление минеральных веществ из почв растительным покровом в летний период и замерзший грунт в зимний могут создавать естественный барьер на пути миграции соединений азота.

Питьевая вода из колонок и источников централизованного водоснабжения (из глубоководных подземных источников) содержала значительно меньше нитрат-ионов. Их максимальная концентрация в исследованных пробах составила 78 и 64 мг/л, соответственно, а доля проб, превышавших ПДК, – 5,2 % и 3,3 %. Образцы с повышенным содержанием нитратов были также из сельской местности (агрогородков). Хочется отметить, что в самом г. Могилеве случаи превыше-

ния ПДК не регистрировались. Система централизованного водоснабжения в городе ведет водозабор только из глубоководных подземных источников.

Потребление питьевой воды с высоким содержанием нитратов в сельской местности может оказывать негативное влияние на здоровье населения, особенно детей и беременных женщин. Поэтому должны приводиться профилактические мероприятия, такие как бурение колонок для использования более глубокого водоносного слоя, благоустройство источников водоснабжения и своевременный ремонт колодцев, лабораторный контроль питьевой воды и разъяснительная работа с населением.

Если основная проблема воды из источников нецентрализованного водоснабжения – это нитраты, то воды из централизованной системы водоснабжения – повышенное содержание железа. Большая половина отбираемых образцов питьевой воды не соответствует нормативным требованиям (не более 0,3 мг/л). Содержание железа в подземных водах нашей республики иногда достигает 5,0...10,0 мг/л, что многократно выше ПДК, установленной для питьевой воды. Повышенное содержание железа влияет на вкус, цвет и прозрачность воды, ухудшает ее потребительские свойства, отрицательно сказывается на бытовой технике и может привести к проблемам со здоровьем. Высокое содержание железа в подземных водах обусловлено, с одной стороны, характерной геохимической особенностью почвообразующих пород на территории области, а с другой – влиянием антропогенного загрязнения [3]. Сопутствующий вклад в ухудшение качества питьевой воды вносят водопроводные сети (коррозионные процессы в стальных трубопроводах). Для решения проблемы строятся станции обезжелезивания различного уровня, хотя их работа не всегда бывает достаточно эффективной. Своевременный ремонт, замена и промывка водопроводных сетей также позволяют частично снизить содержание железа в питьевой воде. Постоянный анализ качества подземных вод может влиять на выбор оптимальных мест размещения водозаборов и применяемые технологии водоподготовки.

Таким образом, на территории Могилевской области сохраняется проблема обеспечения населения качественной питьевой водой. Она требует постоянного внимания и разработки более эффективных мер профилактики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Здоровье населения и окружающая среда на территории Могилевской области в 2022 году / сост.: С. В. Нечай, А. А. Булай, Е. Ф. Каминская [и др.] // Информационно-аналитический бюллетень. – Могилев : Могилев. обл. ЦГЭ и ОЗ, 2023. – 144 с.
2. Санитарные нормы и правила «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам», Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов»: постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 21 июня 2013 г. № 52. – Мн., 2013. – 228 с.
3. Кудельский, А. В. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич. – Мн. : Бел. наука, 2014. – 271 с.

УДК 629.7.038

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЭРОПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА БИОТОПЛИВО

А. С. БОЛЬТ, П. С. БОЛЬТ, А. В. ВЛАСОВА

Московский государственный технический университет гражданской авиации
Москва, Россия

В современных реалиях авиационная отрасль сталкивается с рядом вызовов. Одним из них является снижение выбросов CO₂. Главным условием при переходе к декарбонизации является обеспечение безопасности авиационного альтернативного топлива. На долю авиационных перевозок приходится около 2 %...3 % выбросов CO₂. Согласно прогнозам, по увеличению пассажиропотока данный показатель будет стремительно расти [3].

Биотопливо – топливо растительного или животного сырья, производимое из продуктов жизнедеятельности. SAF – экологически чистое авиационное топливо, конкретный вид экологического авиатоплива [2].

Актуальность темы по вопросам декарбонизации обусловлена введением стратегии ИКАО CORSIA. Задача мониторинга выбросов сопряжена со значительными сложностями, включая характер авиаперевозок, разнородность парка воздушных судов, необходимость учета различных метеорологических и эксплуатационных факторов.

Для соблюдения требований, установленных ИКАО, по выбросам CO₂ гражданской авиации предстоит решение двух сценариев. Первый – удержание выбросов в пределах базового уровня. Второй – компенсация превышения выбросов финансовыми отчислениями. Ключевыми инструментами для решения этой задачи являются техническое обновление парка за счет более топливоэффективных воздушных судов и постепенное внедрение устойчивого авиационного топлива (SAF).

Целью CORSIA является достижение углеродной нейтральности с помощью программ компенсации.

Задачами CORSIA являются снижение выбросов CO₂ при выполнении международных рейсов, ограничение воздействия авиации на изменение климата, стимулирование разработки новых технологий.

С 2027 г. программа стратегии CORSIA становится обязательной, т. к. является неотъемлемой частью Конвенции о международной гражданской авиации.

29 октября 2021 г. Правительством РФ была утверждена стратегия по «Социально-экономическому развитию Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». Согласно стратегии, к 2030 г. в гражданской авиации должно быть обеспечено сокращение выбросов CO₂ до 70 %.

Рассматривая переход на альтернативное авиационное топливо, первой в РФ совершила полет авиакомпания S7. Это достижение стало важным шагом к декарбонизации для авиакомпании совместно с альянсом Oneworld к 2050 г.

При полете из Тулузы в Москву был выбран самолет Airbus A320neo. Воздушные суда этого типа составляют около 40 % парка авиакомпании и

потребляют на 15 %...16 % меньше топлива. Однако в настоящее время эксплуатация данных ВС невозможна из-за сложностей с поставками деталей для двигателей. По данным S7, заправка SAF производилась в пропорциях 10 %...90 % по отношению к авиационному керосину, что позволило сократить выброс CO₂ на 7 % (1,7 т).

Для реализации CORSIA и стратегии Правительства РФ к 2027 г. необходимо наладить полномасштабное производство альтернативного топлива. Производство SAF в РФ в настоящее время не запущено в полном масштабе. Начиная с 2023 г. компания «Газпром нефть» заявила о стремлении начать разработку технологии по выпуску биотоплива. Так, в сентябре 2025 г. специалисты компании выпустили первую партию SAF. В настоящее время полный переход на биотопливо невозможен в связи с отсутствием сертификации и масштабного производства биотоплива. Также стоит отметить, что стоимость SAF относительно обычного авиационного керосина значительно дороже [1].

При полном переходе на альтернативное топливо необходимо построение новых или модернизация уже имеющихся нефтеперерабатывающих заводов, а также расширение топливозаправочных комплексов, что требует больших капитальных вложений. Хранить SAF нужно отдельно от обычного авиационного керосина, что требует построения отдельных резервуаров, трубопроводов, закупки новых топливозаправщиков.

Обработка биотоплива – это сложный, многоступенчатый процесс, обусловленный высокими требованиями к безопасности и качеству. Фильтрация альтернативного топлива в аэропорту требует иной инфраструктуры и более сложного контроля, т. к. полученное топливо из растительного сырья имеет другие химические свойства в отличие от авиационного керосина. Биотопливо может растворять отложения в старых трубопроводах и резервуарах, что создает дополнительный риск загрязнения.

Переход к полной декарбонизации для гражданской авиации связан с масштабными вызовами развития аэропортовой инфраструктуры. Стоит отметить, что главным вызовом выступают финансовые затраты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грядунов, К. И. Химмотология авиационных горюче-смазочных материалов в гражданской авиации: учебник / К. И. Грядунов. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 432 с.
2. Охапкин, А. А. Оценка потерь российской авиационной отрасли в связи с внедрением Схемы возмещения и сокращения эмиссии углерода для международной авиации (CORSIA) / А. А. Охапкин // Экономическая безопасность. – 2022. – Т. 5, № 4. – С. 1615–1632.
3. Саммит COP26. – URL: <https://tekface.ru/2021/12/29/sammit-cop26-razocharovanie-goda/> (дата обращения: 19.11.2025).

УДК 628.316

ПРИМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРУДОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

А. М. БРАНОВИЦКИЙ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Обширная сеть автомобильных дорог и постоянно увеличивающаяся численность автомобильного транспорта оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Одним из многих факторов этого воздействия является сток воды с поверхности дорог и автомобильных стоянок, который содержит значительное количество вредных веществ, тем самым загрязняет прилегающие к автомобильным дорогам территории и в большей степени грунтовые воды и воды открытых водоемов.

Преобладающими загрязнениями являются взвешенные вещества (975 мг/л). Следующими по степени загрязнения являются нефтепродукты (24 мг/л), которые при попадании в водоемы образуют поверхностную пленку, препятствующую проникновению кислорода и вызывая гибель аэробных микроорганизмов. Углеводородные соединения в составе нефтепродуктов, такие как бензол, стирол, ксилол, толуол, бензапирен, обладают самостоятельными токсичными эффектами мутагенного и канцерогенного характера. Особенно токсичным среди загрязнений следует назвать наличие свинца (0,03 мг/л). Несмотря на незначительное его количество, он является губительным канцерогеном для всего живого.

Линейное расположение автомобильных дорог вызывает определенную трудность в устройстве очистных сооружений. В отличие от городов и населенных пунктов, они должны располагаться вдоль дорог и носить рассредоточенный характер. В связи с этим будут иметь незначительные размеры. Удаление минеральных взвешенных частиц из сточных вод не представляет особого труда. Это успешно достигается путем отстаивания и фильтрования. Сложнее обстоит вопрос с удалением нефтепродуктов и тяжелых металлов.

В природе существуют локальные очистные сооружения в виде биологических прудов. И, что особенно важно, высшие водные растения этих прудов успешно очищают воду не только от нефтепродуктов, но и от тяжелых металлов.

Биологические пруды (биопруды) – это искусственные водные объекты, которые благодаря наличию высших водных растений обеспечивают самоочищение водоемов. Биологические пруды представляют собой заселенные живыми организмами и растениями водоемы глубиной от 0,5 до 3 м, которые успешно используются для очистки сточных вод. Они применяются как самостоятельные сооружения, что особенно важно для автомобильных дорог, так и в составе многоступенчатого комплекса по очистке сточных вод.

Биопруды имеют преимущества перед другими очистными сооружениями, такие как естественная очистка сточных вод, экологическая безопасность, создание природного баланса, улучшение ландшафта, эконо-

мическая эффективность [1–3]. Это делает их привлекательными для использования в очистке сточных вод автомобильных дорог.

Одним из важнейших условий существования биопрудов является гидроизоляция их дна с помощью специальной пленки, которая обеспечивает сохранение воды путем исключения ее проникновения в подстилающие грунты. Наличие воды обеспечивает существование высших водных растений. Кроме этого, пленка не дает растениям получать лишнее питание из грунта. Для сохранения целостности пленки под нее укладывается геотекстиль. Для этого он должен обладать достаточной плотностью (не менее 300 г/м²).

Основным этапом создания биопрудов является наполнение их высшими водными растениями. К таким растениям, которые характерны для нашей географической зоны, относятся тростник, камыш, осока, рогоз, рдест, сусаки, элодея канадская, мхи и др. В присутствии высших водных растений в 3–5 раз быстрее разлагается нефть.

Размеры биопрудов в каждом конкретном условии определяются объемом сточных вод с поверхности автомобильной дороги и прилегающей территории. Этого объема должно быть достаточно для существования высших водных растений в течение вегетативного периода времени. Кроме этого, необходимо обеспечить достаточную глубину биопруда (не менее 0,5 м). Основными потерями воды будут ее испарение с поверхности биопруда и определенное ее количество на питание высших водных растений.

Таким образом, биопруды являются перспективным решением для очистки сточных вод автомобильных дорог. Создание их приведет к улучшению экологии окружающей среды и созданию эстетических природных зон вдоль автомобильных дорог.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Евстигнеева, Ю. В.** К вопросу применения дождевых садов на автомагистралях / Ю. В. Евстигнеева Ю. В. Трофименко, Н. А. Евстигнеева // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 62 (3). – С. 48–52.
2. **Евстигнеева, Ю. В.** Биоремедиационные технологии очистки поверхностного стока с улично-дорожной сети населенных пунктов / Ю. В. Евстигнеева, Ю. В. Трофименко, Н. А. Евстигнеева // European journal of natural history. – 2020. – № 1. – С. 81–87.
3. **Касаткин, А. В.** Разработка метода очистки поверхностного стока с проезжей части автомобильных дорог: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11; 05.23.04 / Касаткин Андрей Валерьевич; МАДИ (ГТУ). – М., 2007. – 150 с.

УДК 624.21

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В МОСТОСТРОЕНИИ

А. М. БРАНОВИЦКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Мосты работают в специфических условиях – при изменяющихся внешних климатических факторах, длительном сроке эксплуатации под воздействием циклических динамических нагрузок, что определяет ряд специфических требований к применяемым материалам при строительстве мостов.

Исторически сложилось, что в XVIII в. для строительства мостов использовался в основном чугун, который имел низкое сопротивление при растяжении и динамическим нагрузкам. На смену чугуну пришло сварочное железо, которое изготавливалось из чугуна-сырца в пудлинговой печи и не проходило жидкой фазы. Углерод сгорал под воздействием горячих газов, при этом получалась губчатая масса – крица, которую впоследствии для удаления шлаков проковывали. Однако такая технология приводила к существенной анизотропии механических свойств в продольном и поперечном направлениях проката (согласно нормам 1875 г., предел прочности в продольном направлении составлял 340 МПа, в поперечном – 280 МПа, относительное удлинение – 12 %...2,5 %).

Сварочное железо сменила малоуглеродистая сталь, которая имела однородные механические свойства (по техническим условиям предел прочности – не менее 350...450 МПа, относительное удлинение в продольном направлении проката – 27 %).

В 1935 г. была разработана низкоуглеродистая сталь для мостов (Ст3 мостовая). Ранее при изготовлении мостов использовали заклепки. Переход на сварочные соединения выявил такой недостаток данного типа сталей, как повышенная склонность к старению (повышению прочности, твердости и снижению пластичности). Е. О. Патон определил периоды использования материала металлических мостов: 1780–1850 гг. – чугун; 1850–1900 гг. – сварочное железо; с 1890 г. – стали. Институтом электросварки имени Е. О. Патона (Украина) была разработана сталь марки Ст3, использовавшаяся при изготовлении сварных мостов, которая содержала углерод – не более 0,2 %, медь – 0,3 %, кремний – не более 0,25 %.

В последующие годы в пролетных строениях использовали в основном такие стали, как 15ХСНД, 10ХСНД, 14Г2АФД [1]. Так, сталь марки 15ХСНД может использоваться в диапазоне температур от –60 °С до +40 °С, обладает хорошими свариваемостью и хладноломкостью и имеет высокие механические свойства. В мостостроении используются стали марок 14Г2АФД и 15Г2АФДпс по ГОСТ 19281–89, имеющие предел текучести не ниже 390 МПа. Начиная с 1993 г. в мостостроении получили применение стали марок 15ХСНДА и 10ХСНДА повышенного качества с уменьшенным содержанием углерода, хрома, никеля, марганца, фосфора и серы. Для мостостроения применяется сталь марки 09Г2С.

НИИ мостов были исследованы показатели сопротивления усталости сварных соединений проката стали марки 09Г2С, режимов сварки и установлено соответствие данной стали требованиям, предъявляемым к мостовым сталям. По прочности сталь 09Г2С немного уступает сталям 15ХСНД и 15ХСНДА, при этом стоимость ее ниже примерно на 30 %.

В настоящее время в мире при строительстве мостов используют высокопрочные стали. Так, в Германии производятся стали марок Fe360B, S235J2G3, Швеции – Strenx™ 960, Strenx 1100, Японии – JFE-HiTen61U2-590, JFE-HiTen 980, Китае – Q235A, Q235B-Z.

Применение получили атмосферостойкие стали [2, 3], самым распространённым брендом которых является COR-TEN – зарегистрированная торговая марка United States Steel Corporation (USS). На поверхности стали образуется окисная пленка, которая защищает сталь от коррозии и уменьшает потребность в применении защитных покрытий. Механические свойства данных сталей соответствуют обычным конструкционным сталям.

АО «Уральская Сталь» совместно с ЦНИИчермет им. И. П. Бардина разработали низколегированную марку стали 14ХГНДЦ, коррозионностойкие свойства которой позволяют эксплуатировать металлоконструкции без лакокрасочного покрытия, что сокращает затраты на эксплуатацию примерно на 30 %.

Перспективы при изготовлении мостов и пешеходных переходов имеют алюминиевые сплавы, которые не требуют антикоррозийного покрытия, обладают малым весом и высокой технологичностью при монтаже. Сравнительные исследования мостов из различных материалов показали, что алюминиевый мост в 4 раза более экономичный, чем сталежелезобетонный аналог. Также, в плане экологичности, после завершения срока эксплуатации его можно утилизировать.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Макаров, А. В.** Применение современных сталей в мостостроении / А. В. Макаров, М. А. Павлова // Инновационная наука. – 2018. – № 9. – С. 14–15.
2. **Morcillo, M.** Atmospheric corrosion of weathering steels / M. Morcillo // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 22. – P. 750–765.
3. **Шестаков, Н. И.** Перспективы применения атмосферостойкой стали в мостовых сооружениях / Н. И. Шестаков // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2023. – № 3 (90). – С. 91–101.

УДК 624.072.14

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАТИВНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ

О. В. ГОЛУШКОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Для определения нормативной продолжительности строительства ранее существовали строительные нормы и правила (СНиПы). С получением независимости Республика Беларусь ввела технические кодексы установившейся практики (ТКП), позволявшие определять продолжительность согласно назначению строящегося объекта. В настоящее время ТКП отменены и методики расчета продолжительности строительства зданий изменены и изложены в строительных правилах (СП). Проанализируем изменения и то, как они повлияют на расчет оптимальной продолжительности строительства.

Из анализа определений «продолжительности строительства», согласно [1, 2], следует, что в ТКП [2] эта категория включала период сдачи объекта в эксплуатацию, который может длиться от двух недель до двух месяцев. Согласно СП [1], сдача объекта в эксплуатацию не входит в оптимальную продолжительность строительства объекта, что приведет к сокращению сроков строительства.

В новых нормах предусмотрено введение повышающего коэффициента $k = 1,3$ при выполнении строительно-монтажных работ только в дневное время в сложившейся застройке жилых и гражданских зданий для обеспечения в ней нормальных параметров акустической среды. Таким образом, согласно [1], продолжительность в целом должна увеличиться при наличии данных условий труда, однако удовлетворяются социальные аспекты и отслеживается удобство жителей близлежащих домов.

Согласно [1], производится дополнительный учет времени на производство отдельных работ с дифференциацией по объемам: свайных фундаментов, устройство буронабивных свай и фундаментной монолитной плиты, тогда как в ТКП на эти работы отводилось 0,5 месяца при длине свай более 6 м. Однако было введено ограничение. При этом продолжительность не может быть увеличена более чем на половину расчетного времени по их устройству. В новых нормах детализированы подходы к определению продолжительности выполнения фундаментов из монолитных плит в зависимости от их площадей. Они ведут к увеличению данной категории, но это исключает формальный подход.

Новой нормой учитываются особенности объектов, строящихся за счет негосударственных средств, которые предусматривают сдачу без определенных видов отделки, тогда как в ТКП это не учитывалось, лишь оговаривалось в проекте организации строительства (ПОС). Данное изменение будет способствовать оптимизации продолжительности строительства.

При подсчете окончательного результата оптимальной продолжительности выполнения СМР результат округляют до 0,5 месяца или до полного значения в зависимости от чисел после запятой, используя правила математического округления, тогда как по ТКП [2] нормативная продолжительность строительства округлялась до любых десятых чисел.

Подтвердим эти размышления примерами согласно табл. 1.

Табл. 1. Примеры

Наименование объекта, характеристика объекта	Норма	Нормативная продолжительность, мес.	Увеличение продолжительности за счет сложных фундаментов	Общая продолжительность
18-этажный 102-квартирный жилой дом со встроенными торговыми помещениями по ул. Крупской в г. Могилеве: фундамент свайный сборный; стены подвала монолитные; несущие конструкции монолитные; перекрытия железобетонные монолитные; стены – из стеновых кладочных материалов; общая площадь здания – 8 481 м ²	ТКП	13,3	0,5	13,8
	СП	13,33	0,5	14,0
Инфекционный корпус на 180 коек: здание каркасное со стеновым заполнением из стеновых кладочных изделий; фундамент представлен монолитной плитой; строительный объем здания – 76988,85 м ³	ТКП	27,47	0,3	27,77
	СП	30,71	0,85	31,5

Таким образом, в новых нормах представлен более детальный подход к возведению сложных конструктивных элементов здания, что приводит к увеличению продолжительности СМР.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Продолжительность строительства. Оптимальная продолжительность выполнения строительно-монтажных работ на объектах строительства. Порядок определения : СП 1.03.11–2023. – Мн. : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2023. – 73 с.

2. Нормы продолжительности строительства зданий, сооружений и их комплексов. Основные положения : ТКП 45-1.03-122–2008. Мн. : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2009. – 11 с.

О. В. ГОЛУШКОВА, М. Л. ГОЛУШКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

На протяжении последних 100 лет по мере изменения исторических эпох в государстве менялись облик, проекты и конструктивное исполнение жилых и общественных зданий. По настоящее время в нашей стране успешно эксплуатируются «сталинки», «хрущевки», «брежневки» и «ленинградки» – наследие эпохи Советского Союза.

Квартиры сталинского периода постройки, так называемые «сталинки», возводились в период с 1930 г. по 1960 г. Массовая застройка ими происходила до 1950 г. и характеризуется надежностью, качеством. Их делят на серии в зависимости от конструктивного исполнения перекрытий и этажности. Для них характерны этажность до 6 этажей, 2–3 квартиры на этаже, высокие потолки от 2,9 до 4,5 м, толстые кирпичные стены от 50 см до 1 м, большие, почти квадратные комнаты нетиповой планировки, часто выходящие на обе стороны дома, отдельные санузлы, кухни площадью от 8 до 10 м², большие оконные и дверные проемы, балконы, которые чаще были нужны для придания характерного внешнего облика и архитектурной выразительности, чем для их большого функционального использования.

Центральные улицы городов застроены «сталинками», которые зачастую образуют центральные архитектурные ансамбли. Месторасположение у таких зданий самое выгодное: с зеленой и просторной придомовой территорией, с развитой транспортной развязкой и отличной инфраструктурой. Несмотря на плюсы зданий сталинской постройки, есть у них и серьезные проблемы, которые связаны с конструктивным исполнением перекрытия. Инженерные сети, как правило, изношены, электропроводка выполнена из алюминиевых проводов, которые в настоящее время не выдерживают мощности современных электроприборов, многие балконы находятся в аварийном состоянии и не всегда возможно их остекление ввиду необходимости сохранения архитектурной идентичности здания.

Перекрытия могут быть деревянными, смешанными или железобетонными. Самые большие вопросы вызывают деревянные и смешанные перекрытия по обеспечению требований пожарной безопасности.

Конструкция деревянных перекрытий включает: несущие деревянные балки сечением 300 × 300 мм, опирающиеся на стены с шагом от 800 до 1100 мм, обработанные антипиренами, поверх балок лежат лаги – деревянные брусья высотой до 100 мм с жестким креплением к балкам гвоздями, со стороны нижележащего этажа между балками жестко закреплены доски наката, расположенные в два слоя и образующие основу перекрытия, на них уложен шлак, заполняющий пространство между несущими балками (рис. 1).

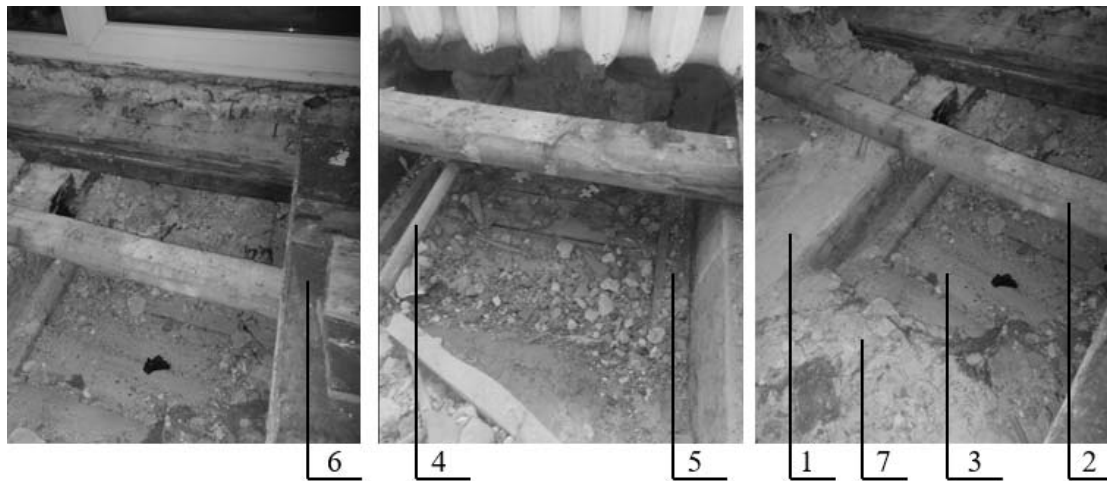


Рис. 1. Вскрытое междуэтажное перекрытие по деревянным балкам: 1 – несущие деревянные балки; 2 – лаги; 3 – доски наката; 4 – металлический тяж, соединяющий противоположные наружные стены; 5 – черепные бруски; 6 – доски пола; 7 – засыпной шлак

Использование в качестве засыпки в таком междуэтажном перекрытии гранулированного шлака мелкой фракции в 1930–1960 гг. было обусловлено отсутствием соответствующих тепло- и звукоизоляционных материалов. Шлак обладает рядом минусов: он гигроскопичен, что может привести к накоплению влаги и вызвать гниение деревянных конструкций перекрытия, может иметь повышенный уровень естественной радиации, тогда как в настоящее время для жилых помещений допускается использовать только материалы I класса – удельная эффективная активность $A_{эфф}$ составляет до 370 Бк/кг.

Актуальным вопросом при проведении ремонта внутренней отделки квартир является замена напольного, чаще дощатого, покрытия междуэтажного перекрытия без выполнения капитального ремонта, предусматривающего замену всего перекрытия с использованием современных материалов. При вскрытии покрытия пола возникает необходимость в осмотре несущих элементов перекрытия и частичной замене или их усилении. В случае хорошего состояния несущих балок и лаг требуется только дополнительная их обработка современными антисептическими и противопожарными составами, а также с целью разгрузки несущих балок необходимы полное или частичное удаление шлака, восстановление сплошной пароизоляции и звукоизоляции из керамзитового гравия или минераловатных плит, восстановление чернового напольного покрытия из досок или сплошного настила из OSB-плиты с устройством чистового покрытия из паркета, паркетной доски или ламината.

Таким образом, поскольку дома сталинской эпохи в настоящее время продолжают эксплуатироваться и пользуются популярностью и спросом у жильцов, то при надлежащем и своевременном ремонте с использованием современных, облегченных материалов, изделий и специально разработанных узлов, и методов восстановления прослужат еще долгое время. Однако в каждом конкретном случае ремонт требует индивидуального подхода с учетом всех особенностей устройства и фактического состояния конструкций.

УДК 69.059

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СТЕНОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ ВОЗДУХОЗАБОРНОЙ КАМЕРЫ

С. В. ДАНИЛОВ, Ю. Г. МОСКАЛЬКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Воздухозаборные камеры служат для установки вентиляционного оборудования и являются важным элементом производственных сооружений. Их размещают вблизи наружных стен, что позволяет оптимизировать расположение инженерных систем и коммуникаций, а также обеспечивает удобный доступ для забора или выброса воздуха.

В результате стихийного бедствия – урагана, сопровождавшегося шквалистым ветром и ливнями, – на одном из предприятий г. Могилева внутреннее стеновое ограждение воздухозаборной камеры получило сильные повреждения, что потребовало проведения оценки технического состояния (обследования) строительных конструкций и разработки обоснованного технического решения по восстановлению безопасного функционирования помещений.

Предварительный технический осмотр строительных конструкций воздухозаборной камеры засвидетельствовал незначительный физический износ, работоспособное (удовлетворительное) состояние железобетонных колонн, стропильных ферм, стального профилированного настила, наружных стен из стеновых сэндвич-панелей, элементов связей. Для внутреннего стенового ограждения воздухозаборной камеры, выполненного из газосиликатных блоков, были отмечены следующие дефекты (рис. 1): наклоны и выпучивания величиной до 200 мм ($f = 200 \text{ мм} > 1/3t = 1/3 \cdot 200 \approx 67 \text{ мм}$); вертикальные трещины, пересекающие более двух рядов каменной кладки.



Рис. 1. Виды на поврежденное в результате урагана внутреннее стеновое ограждение воздухозаборной камеры

Согласно действующим ТНПА, имеющиеся дефекты были классифицированы как критические и имеющие массовое распространение, на основании чего техническое состояние внутреннего стенового ограждения воздухозаборной камеры из газосиликатных блоков было оценено как предельное (предаварийное) состояние. В связи с опасностью обрушения внутреннее стеновое ограждение воздухозаборной камеры было демонтировано в кратчайшие сроки.

Для восстановления функционирования воздухозаборной камеры было предложено внутреннее стеновое ограждение выполнить по каркасно-обшивочной схеме: изготовить элементы металлического каркаса из профиля гнутого замкнутого сварного квадратного Гн. $\square 120 \times 4$, выполнить ограждение из стеновых сэндвич-панелей толщиной 80 мм (рис. 2). При этом, в соответствии с технологическими требованиями, стеновые сэндвич-панели должны соответствовать пределу огнестойкости EI15 и группе горючести НГ.

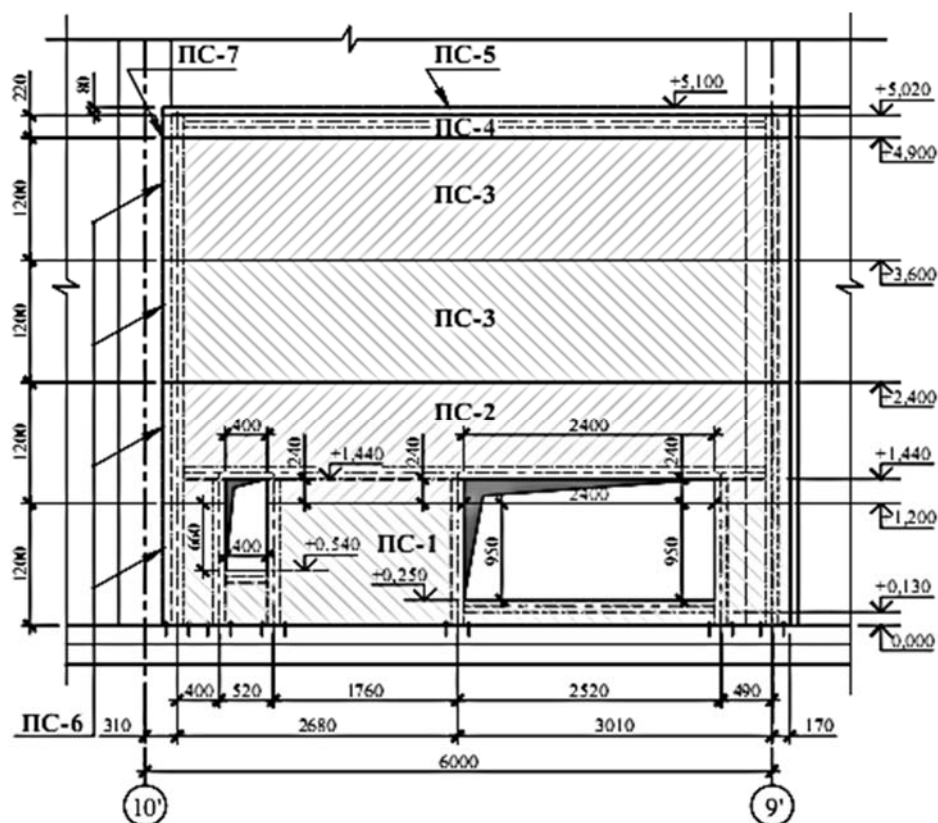


Рис. 2. Схема расположения элементов металлического каркаса и стеновых сэндвич-панелей внутреннего ограждения воздухозаборной камеры

Экономический эффект от внедрения разработанного технического решения составил 34 % по сравнению с возведением аналогичной конструкции из газосиликатных блоков (первоначальное проектное решение). Кроме того, реализация предложенного решения способствовала сокращению времени на производство ремонтно-восстановительных работ, что позволило в кратчайшие сроки ввести в эксплуатацию воздухозаборную камеру и возобновить выпуск продукции на предприятии в прежнем объеме.

УДК 624.072.21.7

К РАСЧЕТУ ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В СЛОЖНЫХ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
РЕСПУБЛИКИ КАМЕРУН

О. В. КОЗУНОВА. Б. С. ТЧОНАНГ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В предлагаемой работе усовершенствуются методы инженерных расчетов ленточных фундаментов, предназначенных для эксплуатации в условиях неоднородных грунтов Республики Камерун, в нелинейной постановке [1]. В ней сформулирована базовая задача моделирования системы «фундаментная плита – неоднородное основание» с учётом сложных геотехнических характеристик грунтов, их пространственной неоднородности и особенностей механических свойств под различные нагрузки. Особое внимание уделено разработке подходов к нелинейному анализу напряжённо-деформированного состояния фундаментов с учётом упругопластических свойств грунтов, а также влияния слабых слоёв на распределение напряжений и деформаций.

Геологическое строение грунтов Республики Камерун, расположенной в Центральной Африке, неоднородно, многослойно и характеризуется ярко выраженными зонами сыпучих, уплотненных и пластичных слоев. По результатам инженерно-геологических исследований, проведенных в г. Аконолинга в центральном регионе Камеруна, выделены инженерно-геологические элементы грунтов (ИГЭ): ИГЭ1 – растительный (почвенный) слой; ИГЭ2 – насыпной грунт; ИГЭ3 – желтые ферраллитные почвы, образовавшиеся из метаморфических пород (аналог в РБ: песок мелкозернистый, прочный); ИГЭ4 – бурые почвы вулканических массивов запада (аналог в РБ: моренная супесь средней прочности); ИГЭ5 – красные ферраллитные почвы, образовавшиеся из базальтовых пород (аналог в РБ: песок мелкозернистый, прочный); ИГЭ6 – красные ферраллитные почвы, образовавшиеся из метаморфических пород (аналог в РБ: моренная супесь прочная).

При расчете неоднородное (многослойное) основание заменяется прямоугольной расчетной областью, размеры которой: по оси X – ширина $2R_0 = 10l$; по оси Y – глубина $H_0 = 4l$, где $H_0 = \sum H_{0k}$; k – номер упругого слоя. Слабый слой расположен между двумя несущими слоями (верхним и средним) и имеет размеры $2R_s = 10l$ и $H_s = 2/3l$. Основание аппроксимируется симметричной разбивочной сеткой с постоянным шагом по осям (рис. 1).

Постановка контактной задачи замыкается следующими граничными условиями: на контакте плиты с упругим основанием возникают только нормальные реактивные давления; для плиты справедливы гипотезы теории изгиба; на границах принятой расчетной области перемещения равны нулю; в контактной зоне справедливо равенство осадок основания прогибам плиты.

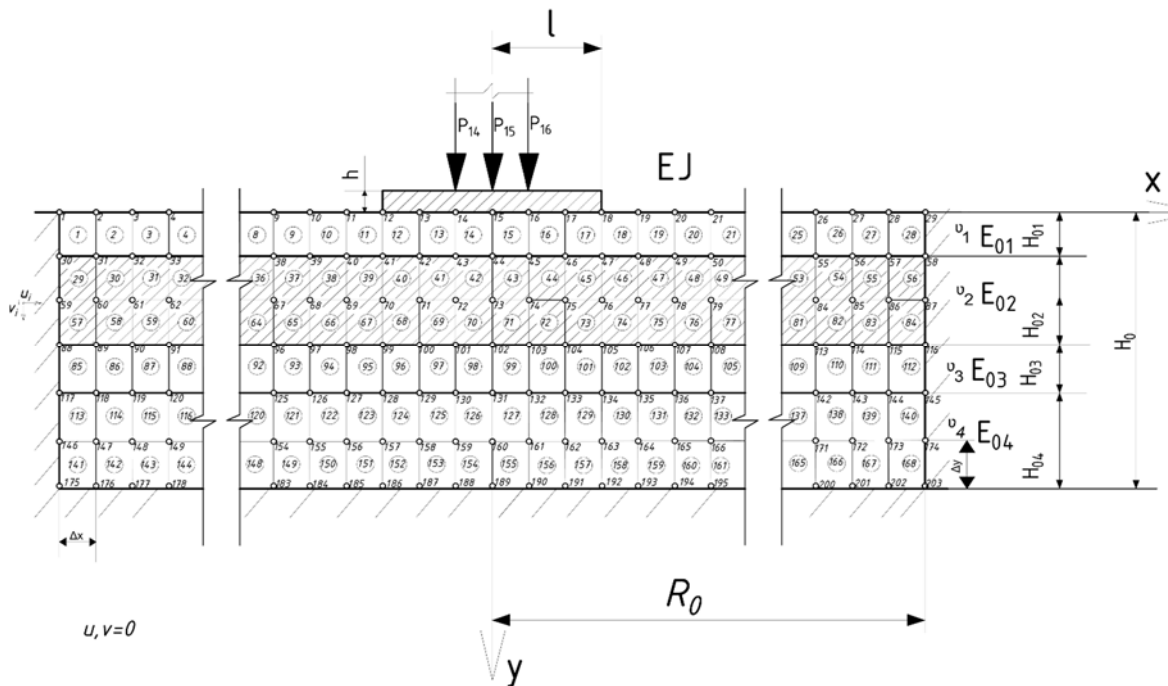


Рис. 1. Разбивочная сетка расчетной области

Нелинейный расчет системы «фундаментная плита – неоднородное основание» выполняется вариационно-разностным методом [1], в котором используется итерационный алгоритм метода упругих решений. Энергия деформации подсчитывается для каждой ячейки метода конечных разностей, а затем суммируется по объему упругого основания. При этом система дифференциальных уравнений после замены интегро-дифференциальных выражений функционалов энергий конечно-разностными аппроксимациями преобразуется в систему линейных алгебраических уравнений, решение которой позволяет найти неизвестные компоненты вектора перемещений.

Авторами разработана постановка контактной задачи статического расчета ленточного фундамента на слоистом основании в грунтовых условиях Республики Камерун с учетом физической нелинейности грунтов и при наличии слабого слоя. Алгоритм нелинейного расчета реализуется с помощью компьютерной программы Mathematica 13.0.

Результаты проводимых исследований способствуют повышению надёжности и безопасности конструкций, а также позволяют оптимизировать инженерные решения в условиях региона, характеризующегося сложными инженерно-геологическими условиями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Босаков, С. В. Вариационно-разностный подход в решении контактной задачи для нелинейно упругого неоднородного основания. Плоская деформация. Теория расчета (Часть 1) / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Вестник БНТУ. – 2009. – № 1. – С. 5–13.

УДК 624.01.007

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАФ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ

Л. В. КУРНОСЕНКО, Д. Д. ЦЫГАНКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Небольшие архитектурные сооружения, или малые архитектурные формы (МАФ), способствуют повышению эстетической привлекательности внешнего облика городов и поселков, одновременно стимулируя социальное развитие граждан путем их взаимодействия с окружающей средой.

Анализ рынка МАФ показывает, что существенным минусом являются высокая стоимость при изготовлении нетиповых уникальных изделий и ограниченность ассортимента в ценовом сегменте, доступном основной массе потребителей. В условиях роста объемов образования отходов строительного производства и твердых коммунальных отходов, а также повышения требований к экологичности и эстетике городской среды актуальным становится поиск технологий, совмещающих задачи утилизации отходов и создания высококачественной, востребованной продукции.

Для эффективного решения данных проблем предлагается технология изготовления МАФ из композитного материала на основе вторичных ресурсов, в которой за основу взяты достоинства традиционных техник и приемов изготовления декоративных элементов: каркасная методика (создание каркаса и нанесение основного материала слоями) и формовочное литье (использование формы для заливки материала).

Ее ключевые особенности:

- изготовление каркаса из доступных вторичных материалов (обрезки труб, арматуры, проволоки, деревянные бруски, старые ёмкости);
- для создания сложных скульптурных форм применяется техника формообразования с помощью пропитанной раствором составом старой ветоши, которая служит одновременно армирующим слоем и несъемной опалубкой.

Это позволяет обеспечить высокую реалистичную степень детализации всех элементов изделия при производстве без необходимости использования специальных форм, характерных для литья в формы, исключает потребность в навыках скульптора, свойственных каркасной технике, а также дает возможность интегрировать дополнительные компоненты даже в полностью законченное изделие.

Особенностью данной технологии является то, что она не требует дорогостоящих пресс-форм или сложного оборудования, обеспечивает создание нестандартных, уникальных изделий и обладает низким порогом входа для персонала.

Предлагаемая технология решает две ключевые задачи:

- 1) эффективная утилизация различных видов отходов;
- 2) снижение затрат на производство МАФ.

УДК 624.01.007

ПРЕИМУЩЕСТВА МАФ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

Л. В. КУРНОСЕНКО, В. А. ШАКИРОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Проведенные исследования показали, что главными преимуществами изготовления малых архитектурных форм (МАФ) из композитного материала на основе отходов производства, быта и строительства являются:

1) неограниченные возможности формообразования. Благодаря высокой пластичности материала можно создавать элементы любой сложности;

2) простота изготовления и установки. Для получения изделий, отличающихся оригинальностью дизайна и индивидуальностью, не требуются узкоспециализированные навыки, такие как моделирование или формовка. Скульптуры можно создавать самостоятельно из строительных остатков, не обладая особыми навыками. Возможность изготовления пустотелой конструкции МАФ позволяет минимизировать сложности, связанные с транспортировкой и монтажом, а также использовать основания для установки изделия с меньшей несущей способностью для декоративных целей;

3) высокая прочность. Композитный материал отличается достаточной стойкостью к нагрузкам на сжатие и хорошей ударопрочностью;

4) хорошая устойчивость к воздействиям внешних факторов и длительный срок службы. Материал изделий устойчив к колебаниям температуры, прямому солнечному свету, атмосферным явлениям, повышенной влажности, хлоридам, абразивному воздействию и механическим колебаниям. Поэтому изделия подходят для применений как в интерьере, так и для наружного оформления. Специфика технологии изготовления служит основанием для их длительного срока службы;

5) низкое влагопоглощение. Благодаря своей низкой пористости в сочетании с водоотталкивающими покрытиями композитный материал практически не впитывает влагу;

6) богатая палитра цветов, текстур и фактур. Особенности технологии формовки и окраски позволяют получить готовое изделие любой желаемой фактуры и цветовой гаммы;

7) экономическая привлекательность. Стоимость изделий существенно ниже аналогов из других материалов, при этом внешне они практически неотличимы;

8) экологичность. Компоненты композита имеют природное происхождение и безопасны для здоровья;

9) простота ухода. Поверхности просты в уходе – их можно эффективно чистить обычной водой, сохраняя идеальный внешний вид и эстетические качества на протяжении длительного периода времени. Изделия обладают хорошей ремонтопригодностью. Особенности процесса изготовления позволяют добавлять элементы даже на уже полностью готовое изделие.

УДК 666.9-4

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ИЗ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Т. С. ЛАТУН, И. В. БЕЛЯСОВ, Н. С. ВЛАДЫКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В Республике Беларусь, как в любом современном государстве, огромное значение уделяется оптимизации энергоресурсов и утилизации отходов. Для оптимизации энергоресурсов все чаще проектируют и возводят здания, отвечающие данным требованиям. Такие здания сохраняют тепло зимой и прохладу летом. При этом предъявляются требования и к планировке новых зданий. Поэтому растет спрос на строительство из монолитного железобетона. Зачастую в зданиях с монолитными несущими конструкциями наружные стены и перегородки выполняют из блоков ячеистого бетона. Технология кладки стен не обходится без подрезки и боя материала. В результате появляются куски блоков, которые необходимо утилизировать.

Для исследования возможности применения отходов подрезки и боя из блоков ячеистого бетона необходимо:

- изучить современные композиционные материалы, полученные с применением таких отходов;
- выполнить анализ преимуществ от применения отходов для получения стеновых изделий;
- изучить недостатки в использовании кусков блоков из ячеистого бетона для получения новых составов;
- обосновать экономическую целесообразность применения данного типа отходов для изготовления новых стеновых материалов.

Изучение возможности и эффективности использования кусков блоков из ячеистого бетона позволит решить задачу с их утилизацией. Авторы считают, что применение измельченных кусков боя для получения новых композиционных материалов позволит снизить их себестоимость. При использовании отходов разной крупности можно существенно экономить на дорогостоящих вяжущих веществах, т. к. применение крошки, полученной из отходов ячеистых блоков крупностью до 10 мм аналогично заполнителям в бетонах, позволит частично заменить более дорогостоящие компоненты.

Согласно классификации отходов, крошка из боя ячеистого бетона относится к 4-му классу опасности (неопасные), а значит, возможно её применение для стеновых изделий, используемых в жилищном и гражданском строительстве. Известны факты использования крошки, полученной при измельчении кусков ячеистого бетона, как заполнителя для легких цементных бетонов. Авторами предлагается изучить применение такой крошки в изделиях, полученных на основе других минеральных вяжущих веществ, например извести или гипса.

УДК 666.9-4

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРА НАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ БОЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА НА ПРОЧНОСТЬ КОНГЛОМЕРАТОВ

Т. С. ЛАТУН, Н. С. ВЛАДЫКО, А. Н. МЕЗЕН

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При возведении зданий с применением ячеистого бетона для устройства внутренних и наружных стен возникает вопрос: куда применить бой и отходы строительства. Складирование строительного мусора запрещено законом, а за его утилизацию придется платить. В результате все затраты отразятся на стоимости готовой продукции, т. е. стоимости за 1 м². Можно ли найти достойное применение бою из ячеистого бетона? Авторами данной работы предлагается вводить крошку, полученную из боя ячеистых бетонов, в состав для изготовления стеновых изделий из гипса.

Форма боя из ячеистого бетона имеет острые углы, выступы и грани, от этого сцепление частиц в конгломерате достаточно прочное. Благодаря пористой структуре ячеистого бетона увеличивается шероховатость поверхности. Это также дает лучшее «зацепление».

Ранее проводились исследования по введению в гипсовые конгломераты отходов боя керамического кирпича. В [1] показана экономия от введения отходов и частичного замещения дорогостоящего гипса. Поэтому была предпринята попытка замены отходов боя керамического кирпича на бой из блоков ячеистого бетона.

Для определения влияния размера крошки на прочность была изготовлена серия образцов. В составы для изготовления образцов была внесена крошка боя из ячеистого бетона, разделенная на фракции, в количестве 5 % от массы вяжущего вещества. Предварительно проводился рассев крошки через стандартный набор сит диаметром 1,25; 2,5 и 5 мм. Оценка прочности эталонных образцов, выполненных без добавления боя ячеистого бетона, и образцов, в которых был введен бой, показала увеличение прочности последних. Показатель прочности при сжатии увеличился: для крошки диаметром более 5 мм – на 22,8 %, для кусков боя диаметром от 2,5 до 5 мм – на 31,5 %, а для частиц диаметром от 1,25 до 2,5 мм – на 30,3 %. Изменение прочности в сторону увеличения является предпосылкой для дальнейшего исследования и установления зависимости прочности конгломератов от крупности вводимых отходов из боя ячеистого бетона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латун, Т. С. Изготовление стеновых изделий из гипса с применением строительных отходов / Т. С. Латун, А. С. Сивуха, А. С. Марченко // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2024. – 507 с.

УДК 69.009

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАФ НА ОСНОВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ: SWOT-АНАЛИЗ

О. М. ЛОБИКОВА, В. А. ШАКИРОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Основная ценность производимой в рамках проекта продукции, позволяющая ей стать достойным элементом современного садового искусства, заключается в соединении экологичной философии, художественной выразительности и тактильной «живой» фактуры. Бетон, пластик, металл и керамика получают вторую жизнь посредством превращения их в произведения, которые не просто украшают пространство, но и несут глубокий смысл устойчивого развития. Каждая деталь обладает уникальным характером, текстурой и историей, рожденной из отходов.

В рамках проекта планируется выпускать линейку садово-паркового декора, изготовленного из композиционного материала «Неолайт» на основе вторичных строительных и промышленных материалов и архитектурного бетона:

- садовые скульптуры и фигуры;
- декоративные арт-объекты и абстрактные формы;
- модульные вазоны и цветочницы;
- декоративные шары, кубы и обелиски для ландшафтного дизайна.

Производство МАФ из «Неолайт» имеет ряд преимуществ перед конкурентами: высокое качество продукции, включая повышенную устойчивость к механическим и агрессивным воздействиям, температурным перепадам, широкий спектр изделий, уникальная авторская технология производства, возможность индивидуального изготовления и уникальность каждого изделия. За счет сокращения расхода первичных ценных ресурсов и использования отходов производства достигается снижение цены изделий ниже рыночной. Монтаж не требует высококвалифицированных специалистов. Кроме этого, предусмотрены дополнительные опции: гарантийное обслуживание, возможность технического сопровождения в период эксплуатации, ремонтно-пригодность изделий после длительного периода эксплуатации по сравнению с конкурентами. Производство предусматривает создание пяти новых рабочих мест в сельской местности. Немаловажным фактором является снижение углеродного следа за счет использования отходов производства. Применение при работе ИИ для формирования уникального облика изделия и визуализации объекта в природной среде позволит привлечь заказчиков.

Для объективной оценки создаваемого производства проведем SWOT-анализ (рис. 1).

Strengths. Сильные стороны

- высокое качество продукции по сравнению с конкурентами;
- широкий спектр изделий;
- уникальность технологии;
- возможно индивидуальное изготовление, уникальность каждого изделия;
- цены ниже рыночных (снижение себестоимости за счет сокращения расхода первичных ценных ресурсов, использование отходов производства);
- ремонтпригодность изделий по сравнению с конкурентами;
- гарантийное обслуживание, возможно техническое сопровождение в период эксплуатации;
- создание новых рабочих мест в сельской местности

- возвращение моды на садово-парковые скульптуры, растущий спрос;
- тренд на снижение углеродного следа за счет использования отходов производства;
- тренд на экологически чистые товары;
- использование вторсырья снижает производственные затраты, поскольку материал часто доступен по более низкой цене, чем первичное сырье;
- можно претендовать на налоговые льготы за счет использования при производстве вторсырья;
- можно претендовать на налоговые льготы за счет создание новых рабочих мест в сельской местности;
- расширение рынков сбыта, включая экспорт в страны с более строгими экологическими нормами

Opportunities. Возможности

Weaknesses. Слабые стороны

- ограниченные мощности;
- предвзятое отношение потенциальных клиентов к изделиям из отходов производства;
- ограниченный бюджет на рекламу;
- высокая конкуренция в нише

- снижение доходов населения;
- риск повышения цен на вторичные ресурсы;
- появление сильных конкурентов на рынке;
- зависимость спроса от сезонности

Threats. Угрозы

Рис. 1. Матрица SWOT-анализа изготовления МАФ с использованием отходов строительного производства

На рынке производителей малых архитектурных форм в Беларуси наблюдается устойчивая конкурентная среда, где представлены компании различных специализаций и масштабов деятельности. Среди ключевых игроков можно выделить три основных предприятия, каждое из которых занимает свою рыночную нишу: ООО «КСИЛ Игроленд» (г. Минск, ул. Богдановича, 155 Б, оф. 608), ООО «БелСитиСтрой» (г. Заславль, ул. Кирова, 12), «Смолевичский завод металлоконструкций» (Смолевичский р-н, Плисский с/с, 20/1, к. 14).

С учетом проведенного SWOT-анализа на первоначальном этапе реализации проекта целесообразно сосредоточить усилия на сегменте частных заказчиков со средним и высоким уровнем дохода, осуществляющих строительство или благоустройство загородных домов и коттеджей. Данная стратегия обусловлена растущим спросом на качественные, современные и долговечные МАФ в частном секторе и возможностью занять уникальную рыночную нишу, предлагая инновационный продукт. Продвижение продукции, производимой в рамках проекта, будет осуществляться: посредством сайта, размещенного в сети Интернет; на специализированных выставках, посвященных строительству и дизайну; через контакты с дизайнерами, компаниями, осуществляющими проектирование и дизайн участков. В последующем, по мере расширения ассортимента, возможна работа с корпоративным сектором.

УДК 69.009

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАФ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРОИТЕЛЬНЫХ
ОТХОДОВ: АНАЛИЗ РЫНКА

О. М. ЛОБИКОВА, Д. Д. ЦЫГАНКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Целью рассматриваемого проекта является производство малых архитектурных форм, таких как садово-парковые скульптуры, абстрактные фигуры, цветочницы, по авторской технологии с использованием композиционного материала «Неолайт». При производстве осуществляется переработка и утилизация производственных, бытовых и строительных отходов, что позволяет снизить производственные затраты.

Проанализируем возможности рынка для сбыта малых архитектурных форм, изготавливаемых с использованием композиционного материала «Неолайт» на основе архитектурного бетона и строительных отходов. Основными сегментами потребителей являются:

- коммунальные предприятия и государственные заказчики, которые осуществляют благоустройство и озеленение территорий в рамках государственных программ, проектов комплексного развития городов и районов, а также при создании и реконструкции парков, скверов, набережных и общественных пространств;

- частные девелоперские и строительные компании, которые комплектуют малыми архитектурными формами территории новостроек, жилых комплексов, коттеджных поселков и коммерческой недвижимости (торговые центры, бизнес-парки) для повышения привлекательности и комфорта объектов;

- корпоративные клиенты (юридические лица), которые заинтересованы в благоустройстве и оформлении прилегающих территорий к своим офисным зданиям, производственным комплексам и другим объектам для создания положительного имиджа и комфортной среды для сотрудников;

- владельцы частных домовладений и коттеджей (физические лица), которые приобретают малые архитектурные формы для оформления и функционального обустройства собственных приусадебных участков, садов и зон отдыха.

Рассмотрим состояние рынка малых архитектурных форм (садовых, парковых скульптур) в Беларуси. На рис. 1 представлена динамика запросов пользователей поисковой системы «Яндекс» по ключевой фразе «садовые скульптуры» [1]. Пользователи, планирующие осуществить благоустройство территорий, как правило, обращаются к дизайнерам, строительным компаниям, которые могут предложить использовать МАФ для украшения интерьеров.

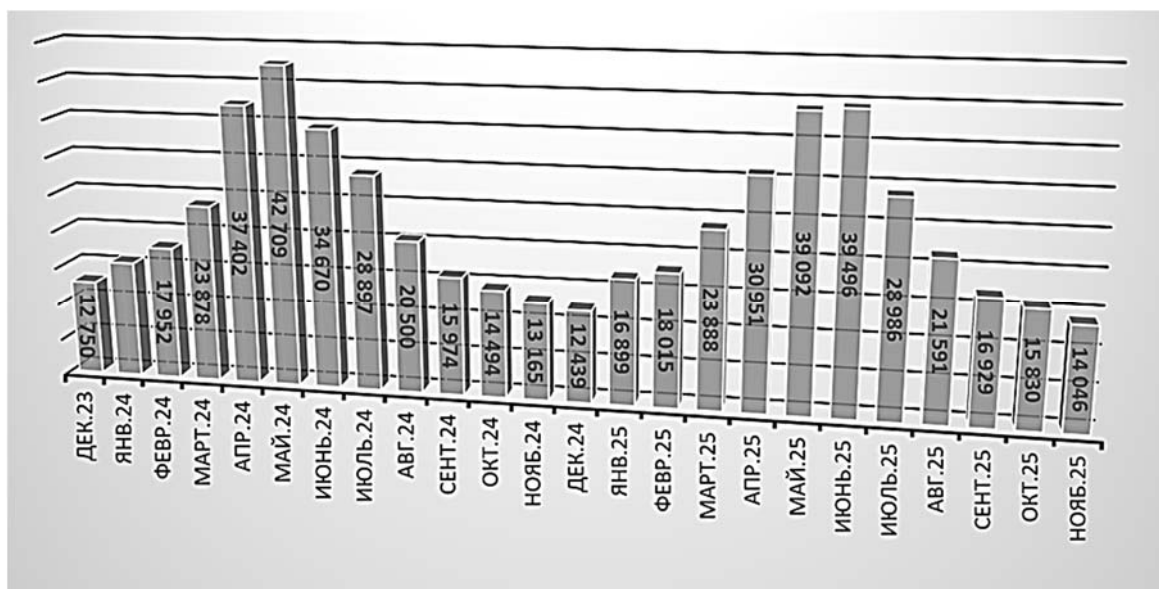


Рис. 1. Динамика запросов пользователей в поисковой системе «Яндекс» по ключевой фразе «садовые скульптуры»

Представленные на рисунке данные показывают, что имеется сезонная корреляция спроса. Пик спроса приходится на весну и начало лета. Так, в мае 2024 г. было зафиксировано 42 709 запросов. При этом в периоды сезонного снижения спроса на садовые скульптуры, МАФ (ноябрь, декабрь) востребованность составляет более 12 000 запросов. Анализ данных показывает, что, несмотря на сложную экономическую обстановку, запросы, связанные с обустройством территорий, растут начиная с января. Таким образом, услуги по изготовлению различных малых архитектурных форм пользуются спросом.

С учетом проведенного анализа рынка малых архитектурных форм на первоначальном этапе реализации проекта целесообразно сосредоточить усилия на сегменте частных заказчиков со средним и высоким уровнем дохода, осуществляющих строительство или благоустройство загородных домов и коттеджей. Данная стратегия обусловлена растущим спросом на качественные, современные и долговечные МАФ в частном секторе и возможностью занять рыночную нишу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яндекс Вордстат. – URL : [https:// wordstat.yandex.ru/](https://wordstat.yandex.ru/) / region = all&view = table&words=садовые%20скульптуры (дата обращения: 05.12.2025).

УДК 691.5

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ ПРИ ВВЕДЕНИИ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК

И. И. МЕЛЬЯНЦОВА, В. С. МИХАЛЬКОВ, И. В. НЕМЧЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Активными минеральными добавками называются тонкодисперсные вещества, получаемые из естественного или техногенного сырья, обладающие пуццоланическими свойствами, т. е. способностью тонкоизмельченного материала в присутствии извести проявлять гидравлические свойства. Применение активных минеральных добавок в качестве компонента при получении композиционных вяжущих позволяет не только снизить расход цемента, но и улучшить качество бетонов и растворов на их основе. Исследованиями установлено, что введение различных минеральных добавок оказывает влияние на состав бетонной смеси, реологические свойства, прочность и проницаемость бетона. Механизм действия минеральных добавок зависит от их минералогического состава и количества в общем объеме бетона, что установлено целым рядом исследований.

Акцентируя свое внимание на увеличении предела прочности бетонов при использовании минеральных добавок, стоит отметить, что логическое объяснение этого явления связано с вероятным воздействием их на контактную зону цементного камня и крупного заполнителя. Наличие больших пор в самом цементном камне и микротрещин в зоне контакта заполнителя и цементного камня отрицательным образом влияет на прочность бетона. Следовательно, механизм улучшения структуры контактной зоны связан с низкой плотностью продукта, образующегося при гидратации пуццолана в портландцементном вяжущем, и эффектом заполнения им больших пор. Процесс уменьшения пор увеличивает плотность и, соответственно, прочность бетона.

Контактная зона «заполнитель – цементный камень» играет важную роль при формировании механических характеристик бетона. В бездобавочных бетонах она является наиболее слабой фазой, т. к. включает в себя кристаллы гидроксидов кальция, ось которых перпендикулярна поверхности крупного заполнителя в бетоне и при изменении температурно-влажностных условий вызывает появление растягивающих усилий, которые предопределяют появление в структуре контактной зоны микротрещин. Активные минеральные добавки, меняя водопотребность и сроки схватывания цементного теста, формируют более плотную структуру и, как следствие, прочность контактной зоны. Уменьшение размера пор и микротрещин в зоне контакта при введении активных минеральных добавок благоприятным образом сказывается также и на долговечности бетона.

При современном производстве бетонов и растворов активные минеральные добавки могут стать неотъемлемым компонентом, позволяющим управлять комплексом как физико-механических, так и эксплуатационных характеристик.

УДК 691.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ АКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ

В. С. МИХАЛЬКОВ, И. И. МЕЛЬЯНЦОВА, И. В. НЕМЧЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Сверхтонкий помол активных минеральных добавок является основным способом их подготовки, повышающим химическую активность, перед введением в бетон или раствор. Запас внутренней энергии, увеличивающийся в процессе измельчения, положительным образом влияет на эффективность технологических процессов, а увеличение удельной поверхности частиц ускоряет химические реакции и процессы кристаллизации при гидратации вяжущего в растворе или бетоне.

Подготовительным этапом экспериментальных исследований по введению активной минеральной добавки трепела Хотимского месторождения «Стальное» в цементно-песчаный раствор стал сверхтонкий помол в вертикальной вибрационной мельнице с предварительной сушкой добавки в сушильной камере до постоянной массы при температуре 105 °С. Конструкция применяемой мельницы описана в патенте на изобретение ВУ 24315 С1, 2024.

В помольные камеры загружался трепел со стальными шариками, а качество измельченного материала оценивалось по количеству добавки в процентах, проходящей на каждом этапе времени через сито с ячейкой 40 мкм. Измельчение осуществлялось при эксцентриках 4, 6 и 8 мм.

Итогом проведенных экспериментальных исследований стала построенная гистограмма (рис. 1), позволяющая оценивать тонкость помола активной минеральной добавки для дальнейшего введения ее в цементно-песчаный раствор.

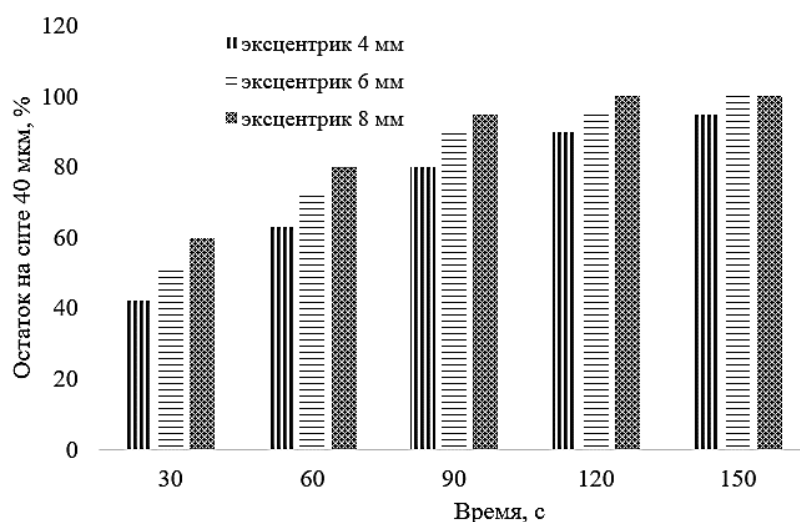


Рис. 1. Количество измельченной активной минеральной добавки трепела, проходящей через сито с размером ячейки 40 мкм, %

УДК 697.978:621.577.64

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ УСТАНОВКИ СО ВСТРОЕННЫМ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

М. М. ПЕТРОВ

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет
Санкт-Петербург, Россия

Для обеспечения санитарных норм и комфортного, безопасного микроклимата в помещениях современных объектов капитального строительства воздух подвергается тепловлажностной обработке. Одновременно с этим теплота, которая могла расходоваться на нагрев уличного воздуха, просто выбрасывается в окружающую среду вместе с удаляемым воздухом. Сегодня задача повышения энергоэффективности систем вентиляции является одним из основных направлений в области утилизации теплоты. В качестве перспективных для широкого применения рассматриваются утилизаторы теплоты на основе воздушных тепловых насосов (ВТН), встроенных в приточно-вытяжную установку. Эффективность применения ВТН в системах вентиляции доказывается расчетами. Внедрение ВТН в приточно-вытяжную установку позволяет снизить энергозатраты на 25 %...60 % [1].

Несмотря на высокую эффективность, применение ВТН в системах вентиляции все еще не получило популярность в России. Во многом это связано с отсутствием методик расчета и рекомендаций по проектированию такого оборудования. Для решения данной проблемы был разработан метод совместного расчета приточно-вытяжной установки с утилизатором «воздух – воздух» и встроенной холодильной машиной. Разработанная методика расчета реализована на базе программного комплекса HeatPumpАН, написанного на алгоритмическом языке Phyton [2]. Он позволяет проводить анализ и моделирование приточно-вытяжных установок различной компоновки со встраиваемым воздушным ТН, работающим на азеотропных хладагентах R134a, R152a, R22, R32 и слабыеотропных R404a, R410a.

В ходе исследований были получены зависимости, описывающие работу встраиваемых воздушных ВТН и эксплуатационные характеристики приточно-вытяжных установок с такими агрегатами. Для оценки эффективности утилизации теплоты и определения наиболее благоприятного режима работы установки предлагается ввести такое понятие, как коэффициент утилизации (КУ), определяемый по уравнению

$$k_{yt} = \frac{Q_{yt}}{N_{th} + N_{pi} + N_a}, \quad (1)$$

где Q_{yt} – количество утилизированной теплоты, кВт; N_{th} – электрическая мощность, затрачиваемая приводом компрессора ТН, кВт; N_{pi} – электрическая мощ-

ность, затрачиваемая резервным источником теплоты, кВт; N_a – электрическая мощность, необходимая для преодоления аэродинамического сопротивления.

На рис. 1 представлена область распределения КУ приточно-вытяжной установки со встраиваемым ВТН.

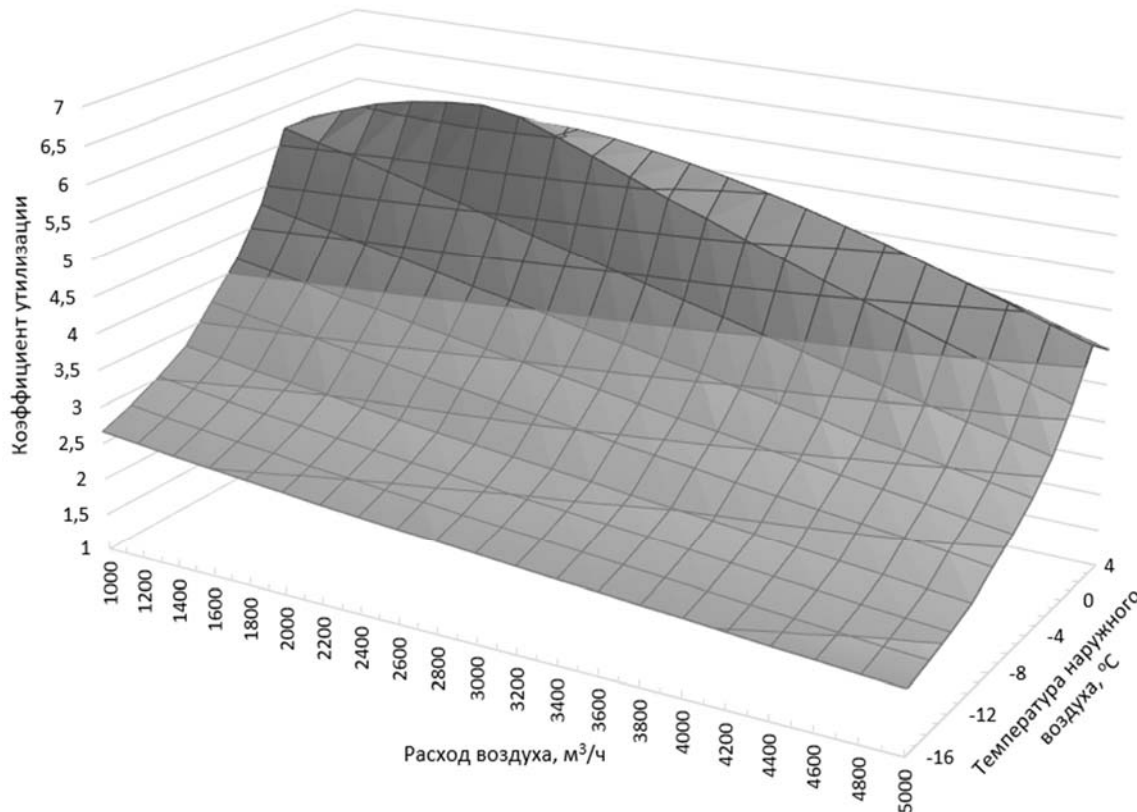


Рис. 1. Область изменения КУ приточно-вытяжной установки со встраиваемым тепловым насосом, работающим на хладагенте R134a

На рис. 1 видно характерную вершину, которой соответствуют конкретные значения расхода воздуха. Можно сделать вывод, что для каждой компоновки приточно-вытяжной установки есть определенные температура наружного воздуха и расход воздуха, при котором КУ будет максимальным. Область вокруг такой вершины можно считать наиболее подходящей для применения конкретного типоразмера приточно-вытяжной установки с холодильной машиной для достижения высоких показателей энергоэффективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров, М. М. Комплексное моделирование приточно-вытяжной установки со встраиваемым тепловым насосом / М. М. Петров // Вестник гражданских инженеров. – 2025. – № 5 (112). – С. 77–89.
2. Свидетельство о государственной регистрации для ЭВМ. HeatPumpАН : № 2025689712 : заявлено 28.08.2025 : зарегистр. 30.10.2025 : опубл. 30.10.2025 / Петров М. М., Пухкал В. А.; правообладатель С.-Петерб. гос. архитектурно-строит. ун-т. – 1 с.

УДК 694.1

ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ НЕСУЩИХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Е. С. ХМЕЛЬНИЦКИЙ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Повреждения основных несущих конструкций – это явления, представляющие собой ухудшение их технических свойств, снижающие их ценность или пригодность по сравнению с исправным состоянием. Могут привести как к невыполнению условий эксплуатационной пригодности, так и к потере несущей способности и устойчивости. Все участники строительного процесса обязаны предоставить конечному заказчику продукцию без дефектов и повреждений, которая соответствует общепринятым инженерным стандартам и нормативной документации. При этом здания, сооружения и другие технологические объекты, а также их составные части должны быть спроектированы, возведены и эксплуатироваться таким образом, чтобы не подвергать опасности жизнь, здоровье и имущество граждан и состояние окружающей среды.

Статистические данные показывают, что большая часть всех ошибок происходит на этапах проектирования и выполнения работ. Проектирование в данном случае включает определение основной концепции, размеров и проведение конструктивных расчетов. Такие ошибки не в последнюю очередь связаны с большим количеством проектов и высоким уровнем загрузки, приходящимся на отдельного специалиста, а также сотрудников экспертизы. Ошибки на этапе строительства в основном происходят из-за некачественного выполнения работ, отсутствия кадров с высокой квалификацией, несоответствия стандартам используемых строительных материалов.

При проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений с несущими конструкциями из древесины и древесных материалов существует ряд неочевидных особенностей, которые требуется учитывать. В первую очередь это температурно-влажностные условия, в том числе в рамках изменяющегося климата в нашей стране. Так, согласно действующим техническим нормативным правовым актам [1], данный аспект учитывается только посредством трех классов эксплуатации, учитывающих параметры влажности самой древесины, относительной влажности воздуха и температуры окружающей среды. Однако известны случаи повреждения клееных деревянных стропильных балок вследствие размещения труб системы отопления в пространстве между конструкциями и потолком. Такое размещение привело к образованию тонких продольных поверхностных трещин и трещин вдоль клеевых швов отдельных ламелей (шириной до 4 мм и глубиной от 20 до 60 мм) и, как следствие, существенному снижению несущей способности конструкции, особенно в области конька.

Примером несоблюдения требований к условиям окружающей среды в процессе возведения конструкций может быть строительство промышленного помещения по производству калийных удобрений в г. Солигорске. Так, при

установке каркаса из большепролетных клееных деревянных ферм была произведена остановка процесса с размещением их на уровне земли на достаточно длинный промежуток времени в рамках погодных условий зимне-весеннего периода года. При возобновлении процесса после перерыва было обнаружено расслоение клеевых в различных частях стропильных арок глубиной до 300 мм и шириной до 5 мм. Данная ситуация потребовала проведения дополнительных обследований, проектных изысканий и проведения работ по усилению несущих конструкций.

Ошибки и неточности при проектировании деревянных конструкций в нашем государстве на данный момент в немалой степени связаны с несоответствием действующих нормативных актов и реальных производственных процессов. Так, используемые при расчетах классы прочности древесины не соответствуют выпускаемой деревообрабатывающими предприятиями продукции, которая зачастую до сих пор опирается на разделение на сорта. Это приводит к замене древесины для конкретных объектов через дополнительные акты или использованию сходных материалов, которые зачастую несопоставимы по прочностным и деформативным показателям. В лучшем случае это приводит к созданию чрезмерных запасов прочности еще на этапе конструирования и, как следствие, удорожанию всего объекта.

Таким образом, строительство из дерева и древесных материалов, а также эксплуатация таких техносферных объектов требует внимания к специфическим свойствам сырья и строительного материала. При этом благодаря низкому энергопотреблению при обработке и возобновляемой сырьевой базе деревянные конструкции значительно дешевле, чем сопоставимые стальные конструкции. Однако главным критерием при использовании древесины должно быть достижение долговечности реализованных строительных решений. Этого можно достичь только путем выбора правильной древесины, конструированием и проектированием в соответствии с особенностями этого строительного материала и проведением своевременных мероприятий по защите и надзору за состоянием. Также следует уделить пристальное внимание доработке существующей нормативной документации в данной сфере.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деревянные конструкции : СП 5.05.01–2021. – Мн. : Госстандарт : Бел. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2021.

УДК 616-001.26

АНАЛИЗ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ИЗОТОПНОЙ ЛАБОРАТОРИИ НА УРОВНЕ РУК

И. В. ШИЛОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В изотопной лаборатории осуществляется радионуклидная диагностика таких органов человека, как почки, легкие, сердце, кости, слюнные железы, паращитовидная железа и т. д. Эта диагностика состоит во введении человеку специальных радионуклидов, имеющих небольшой период полураспада. Чаще всего используется радионуклид технеций-99 метастабильный с периодом полураспада 6,02 ч. В составе двух учреждений здравоохранения г. Могилева имеются изотопные лаборатории. В одном из них были проведены исследования доз ионизирующего излучения персонала на уровне рук, т. к. руки получают наибольшую дозу у таких работников.

Несколько лет назад все изотопные лаборатории нашей страны обязали снабдить медсестер, работающих с открытыми источниками, перстневыми термолюминесцентными дозиметрами для регистрации индивидуального эквивалента дозы в коже пальцев рук $H_p(0,07)$. Эти дозиметры не являются прямопоказывающими, а считыватели были только в некоторых центрах гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья. Результаты измерений раз в квартал вписывались в карточку учета индивидуальных доз внешнего облучения лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений. Эти измерения показали, что средняя доза на руки у персонала выбранного для исследования учреждения здравоохранения составляет в год 1,58 мЗв при колебаниях у некоторых сотрудников от 0,31 до 3,45 мЗв. Предел эквивалентной дозы облучения в кистях и стопах для персонала, т. е. людей, работающих с источниками ионизирующего излучения, составляет 500 мЗв в год, т. к. в конечностях у человека нет органов риска, т. е. клеток с повышенной чувствительностью к радиации. Необходимо отметить, что в изотопной лаборатории защита есть только в виде медицинских перчаток и вольфрамовой защиты для шприцов, используемой при введении радиофармпрепарата. При этом доза на уровне груди под защитным фартуком из просвинцованной резины в среднем у медсестры изотопной лаборатории этой же больницы составляет 1,96 мЗв в год. Поэтому доза на уровне руки 1,58 и даже 3,45 мЗв представляется некорректной.

Так как персонал учреждений здравоохранения также высказал недоверие к показаниям термолюминесцентных дозиметров, то была поставлена задача оценить такие дозы другим прибором. Измерения проводились прямопоказывающим дозиметром МКС АТ6130, который работает на основе счетчика Гейгера – Мюллера, на различных этапах работы медсестры. Дозы на уровне рук составили в среднем 23 мЗв в год, что сильно различается с данными термолюминесцентных дозиметров, но тем не менее находятся в пределах нормы.

УДК 616-001.26

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ МЕДСЕСТЕР ИЗОТОПНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ УЧРЕЖДЕНИЙ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ Г. МОГИЛЕВА

И. В. ШИЛОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Среди медицинского персонала Республики Беларусь и других стран наибольшие дозы получают медсестры изотопной лаборатории, поэтому оценка доз облучения персонала в таких учреждениях здравоохранения (УЗ) является важной задачей обеспечения радиационной безопасности. Это связано с тем, что они работают с открытыми радиоактивными источниками. Для оценки доз облучения персонала используются, как правило, термолюминесцентные дозиметры, которые не являются прямопоказывающими. У медсестер изотопных лабораторий обоих учреждений здравоохранения г. Могилева несколько лет, с 2013 г. по 2023 г., измерялись дозы облучения на уровне головы, груди, низа живота и рук. Результаты сведены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты измерений доз облучения медсестер термолюминесцентными дозиметрами

Место расположения дозиметра	Учреждение здравоохранения 1	Учреждение здравоохранения 2
Голова	1,9	2,07
Грудь	1,96	3,59
Низ живота	1,8	2,71
Рука	1,58	6,18

Также для сравнения были проведены измерения доз облучения медсестер изотопных лабораторий прямопоказывающими дозиметрами ДКГ-АТ2503 на основе счетчиков Гейгера с фильтром, обеспечивающими измерение индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$. Доза на уровне груди у медсестер учреждения здравоохранения 1 составила 24,1 мкЗв в неделю, т. е. 1,1 мЗв в год, у медсестер учреждения здравоохранения 2 – 39,1 мкЗв в неделю, т. е. 1,78 мЗв в год.

Необходимо отметить, что пределы доз для хрусталика глаза (облучение на уровне головы) и доз на уровне груди составляют 20 мЗв в год (граничная доза – 8 мЗв в год), на уровне низа живота – 12 мЗв в год, на уровне конечностей – 500 мЗв в год. Таким образом, все данные в пределах нормы, но у медсестер учреждения здравоохранения 2 дозы выше и в отдельные годы у некоторых сотрудников дозы на уровне груди доходили до 7,67 мЗв в год, на уровне рук – до 24,62 мЗв в год. В учреждении здравоохранения 1 таких значительных доз ни у кого не наблюдалось.

694.141.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФРАГМЕНТОВ СТЕН ИЗ ГАЗОБЕТОНА И СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

М. А. ШКИЛЬНЮК

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Проведено сравнительное исследование теплотехнических характеристик фрагментов ограждающих конструкций из автоклавного газобетона и сэндвич-панелей на основе комплекса натуральных измерений и верификационного численного моделирования теплопереноса. Измерения проводились прибором ИТП-МГ4.03/10 «Поток» в отопительный период.

В соответствии с принятой методикой [1], наряду с оценкой сопротивления теплопередаче, для всех исследуемых конструкций была проверена величина нормируемого температурного перепада между внутренним воздухом и поверхностью ограждения. Для фрагментов стен из газобетона и сэндвич-панелей расчетные и экспериментальные значения не превысили установленного для стен предела в 4 °С, что удовлетворяет требованиям к тепловому комфорту и санитарно-гигиеническим нормам.

Сравнение теплотехнических характеристик представлено в табл. 1.

Табл. 1. Сравнение теплотехнических характеристик

Материал конструкции	$t_{\min}$ на внутренней поверхности стены, °С	$t_{\max}$ на внутренней поверхности стены, °С	Средняя температура поверхности фрагмента стены: t_{cp} в теплой зоне, °С	Средняя температура поверхности фрагмента стены: t_{cp} в холодной зоне, °С	Колебание температуры на поверхности, °С	Термическое сопротивление, $\text{м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$
Для газобетона	12,31	16,77	14,07	4,67	3,17	3,33
Для сэндвич-панелей	13,57	17,17	13,17	15,97	1,87	2,47

Результаты мониторинга и моделирования выявили значимое различие в динамических характеристиках материалов. Амплитуда суточных колебаний температуры на внутренней поверхности ограждения из сэндвич-панелей оказалась в 2,5–3 раза ниже, чем у конструкции из газобетона. Это свидетельствует о более высокой теплоинерционности многослойной панели, что на практике приводит к большей стабильности теплового режима помещений при переменных наружных воздействиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Малявина, Е. Г.** Теплотери здания: справ. пособие / Е. Г. Малявина. – М. : АВОКПРЕСС, 2007. – 144 с.

УДК 621.3

ПЕРЕНОСНОЙ ТУРБИДИМЕТР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАРКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

А. А. АФАНАСЬЕВ, Е. Н. ПРОКОПЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В двигателях внутреннего сгорания, используемых в грузовых и легковых автомобилях, тепловозах, военной и сельскохозяйственной технике, электрогенераторах и других установках, широко используется дизельное топливо, характеристики которого существенно зависят от температуры окружающей среды и оказывают влияние на работу технических средств, эксплуатируемых в различных климатических условиях. В зависимости от условий применения дизельное топливо делится на летнее (Л), зимнее (З) и арктическое (А). Основное их отличие заключается в изменении структуры топлива при понижении температуры – увеличивается его вязкость, ухудшается прохождение через топливные фильтры и при определенных значениях температуры поступление топлива в двигатель полностью прекращается, что приводит к его остановке. Изменение структуры дизельного топлива при понижении температуры сопровождается его помутнением, что позволяет путем измерения мутности определить его предельную фильтруемость и марку.

Контроль мутности жидких сред осуществляют с помощью фотометрических приборов – турбидиметров. В ранее разработанном устройстве, в основу работы которого положен турбидиметрический метод измерения, используется эталонный оптический элемент определенной толщины и формы, вытесняющий в процессе измерения контролируемую жидкость на пути прохождения через нее потока излучения [1]. Анализ функции преобразования этого устройства показал, что коэффициент пропускания проходящего через эталон излучения, а также коэффициенты пропускания его поверхностей, контактирующих с контролируемой жидкостью, могут значительно снизить точность измерений при количественной оценке мутности среды.

Для повышения точности измерений была разработана конструкция первичного измерительного преобразователя турбидиметра с изменяющейся оптической базой. Измерение преобразованного в электрический сигнал прошедшего через контролируемую среду потока излучения в таком преобразователе осуществляется в два этапа. Вначале измеряют величину $U_{\Phi\Pi1}$, когда толщина просвечиваемого слоя равна L_1 :

$$U_{\Phi\Pi1} = \Phi_0 \cdot \tau_{\text{ПерОС}} \cdot \tau_1 \cdot \tau_{\text{КЖ1}} \cdot \tau_2 \cdot \tau_{\text{ПрОС}} \cdot S_{\Phi\Pi}, \quad (1)$$

где $U_{\Phi\Pi1}$ – выходной электрический сигнал фотоприемника; Φ_0 – поток, генерируемый источником излучения; $\tau_{\text{ПерОС}}$ – коэффициент пропускания

передающей оптической системы; $\tau_{ПрОС}$ – коэффициент пропускания приемной оптической системы; τ_1, τ_2 – коэффициенты пропускания оптических поверхностей передающей и приемной оптических систем, контактирующих с контролируемой жидкостью; $\tau_{КЖ1}$ – коэффициент пропускания контролируемой жидкости с толщиной просвечиваемого слоя L_1 ; $S_{ФП}$ – спектральная чувствительность фотоприемника.

Затем измеряют $U_{ФП2}$, когда толщина просвечиваемого слоя равна L_2 :

$$U_{ФП2} = \Phi_0 \cdot \tau_{ПерОС} \cdot \tau_1 \cdot \tau_{КЖ2} \cdot \tau_2 \cdot \tau_{ПрОС} \cdot S_{ФП}, \quad (2)$$

где $\tau_{КЖ2}$ – коэффициент пропускания контролируемой жидкости с толщиной просвечиваемого слоя L_2 .

Отношение двух полученных сигналов

$$\frac{U_{ФП2}}{U_{ФП1}} = \frac{\Phi_0 \cdot \tau_{ПерОС} \cdot \tau_1 \cdot \tau_{КЖ2} \cdot \tau_2 \cdot \tau_{ПрОС} \cdot S_{ФП}}{\Phi_0 \cdot \tau_{ПерОС} \cdot \tau_1 \cdot \tau_{КЖ1} \cdot \tau_2 \cdot \tau_{ПрОС} \cdot S_{ФП}} = \frac{\tau_{КЖ2}}{\tau_{КЖ1}} = \tau_{КЖ}, \quad (3)$$

где $\tau_{КЖ}$ – коэффициент пропускания контролируемой жидкости с толщиной просвечиваемого слоя $(L_2 - L_1)$.

Из выражения (3) следует, что параметр $\tau_{КЖ}$ функционально зависит от светопропускания контролируемой среды и не зависит от параметров элементов измерительного преобразователя и оптического эталона.

Электронный блок турбидиметра реализован на микроконтроллере со встроенными аналого-цифровым преобразователем и флэш-памятью для хранения программ и результатов измерений. Цветной дисплей и клавиатура обеспечивают гибкое управление работой прибора: выбор режима, автоматическое изменение оптической базы первичного измерительного преобразователя, запись результатов наблюдений, их статистическую обработку, отображение результатов измерений и их хранение, индивидуальную градуировку с использованием образцового средства измерения или по известным концентрациям дисперсной фазы, подключение к персональному компьютеру через USB-порт.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство SU 1533482. Устройство для определения концентрации взвесей в жидкости: опубл. 01.09.1989 / Афанасьев А. А., Усик В. Н., Мисник И. В., Марков А. П., Гапеев А. П. – 3 с.

УДК 535.3

ФОРМИРОВАНИЕ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ С КВАЗИСТАЦИОНАРНЫМ
ОСЕВЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ИНТЕНСИВНОСТИИ. В. БАЛЫКИН¹, А. А. РЫЖЕВИЧ^{1,2}, Т. А. ЖЕЛЕЗНЯКОВА²¹ Институт физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси² Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

Бесселевы световые пучки (БСП) характеризуются узким и протяженным максимумом интенсивности, который не изменяет своего диаметра во всей зоне их существования. Для формирования БСП наиболее удобным и распространенным методом является преобразование входного светового пучка конической линзой – аксиконом. В оптическом диапазоне длин волн и при диаметре входного гауссова светового пучка, падающего на аксикон, менее 10 мм возможно получить БСП с диаметром максимума до 10 мкм длиной несколько десятков сантиметров. Однако при этом осевое распределение интенсивности в БСП будет иметь вид несимметричной функции Гаусса [1]. Между тем для целей оптической диагностики и лазерной обработки неплоских поверхностей весьма желательно, чтобы интенсивность осевого максимума БСП была постоянной в как можно большем диапазоне продольной координаты.

Поскольку осевое распределение интенсивности БСП зависит от поперечного распределения интенсивности падающего на аксикон светового поля, актуальной задачей является найти такой профиль этого поля, который бы позволял получить БСП с осевым распределением интенсивности, стационарным на максимально протяженном диапазоне продольной координаты. Для данных целей нами предлагается метод, состоящий в подборе амплитудной маски, обеспечивающей линейную зависимость амплитуды от радиальной координаты в пучке, падающем на аксикон, поскольку аксикон собирает свет в каждой точке на оси формируемого БСП из соответствующего положению z этой точки кольца радиусом r , линейно зависящим от z . Поскольку при падении на аксикон плоской волны, когда интенсивность света не зависит от радиальной координаты, осевая интенсивность БСП линейно растет, мы предположили, что распределение амплитуды поля в падающем на аксикон пучке должно иметь вдоль диаметра форму треугольника. Однако такая форма поля не позволяет получить квазистационарное распределение осевой интенсивности. Лучших результатов получается достичь в случае, если на оси падающего на аксикон поля есть минимум интенсивности. В связи с этим нами предложена «комбинированная» маска, состоящая из трех частей (основной части, обеспечивающей линейную зависимость амплитуды поля от радиальной координаты, одной «сглаживающей» части в приосевой области и диафрагмы за пределами линейного участка), снижающих влияние дифракционных эффектов. Такая маска задается набором параметров, задающих ее внешний и внутренний радиусы, крутизну наклона линейной части и степень сглаживания в приосевой части. Путем численных экспериментов, основанных на методе

распространения углового спектра, нами произведен поиск оптимальных параметров падающего на аксикон поля при длине волны излучения 633 нм, полуширине w гауссова пучка по уровню интенсивности $1/e^2 - 1$ мм, угле при основании конуса аксикона $2,5^\circ$, показателе преломления аксикона 1,5. В расчетах нами было зафиксировано $A_1 = 1,2866 A_0$, где A_0 – осевое значение модуля поля в исходном пучке; A_1 – максимальное значение модуля поля в пучке после маски в отсутствие приосевого сглаживания до нуля; $R_{sm} = 0,3 w$ – длина участка сглаживания между линейным участком поля и осевым минимумом; $R_{max} = 1,5000 w$ – внешний радиус маски. Интерес представлял вопрос о том, что будет происходить с распределением интенсивности при варьировании внутреннего радиуса маски R_{min} , для чего был введен параметр $\theta = R_{min} / R_{max}$, т. е. отношение внутреннего радиуса маски к внешнему. Варьируя этот параметр, мы осуществляли поиск такого значения, которое обеспечило бы наибольшее постоянство осевой интенсивности в формируемом аксиконом БСП. На рис. 1, а приводится форма рассчитанной оптимальной маски поглощения, а на рис. 1, б – вид распределения модуля амплитуды поля в пучке, падающем на аксикон, и поля после маски.

На рис. 1, в показаны осевые распределения для различных значений параметра θ .

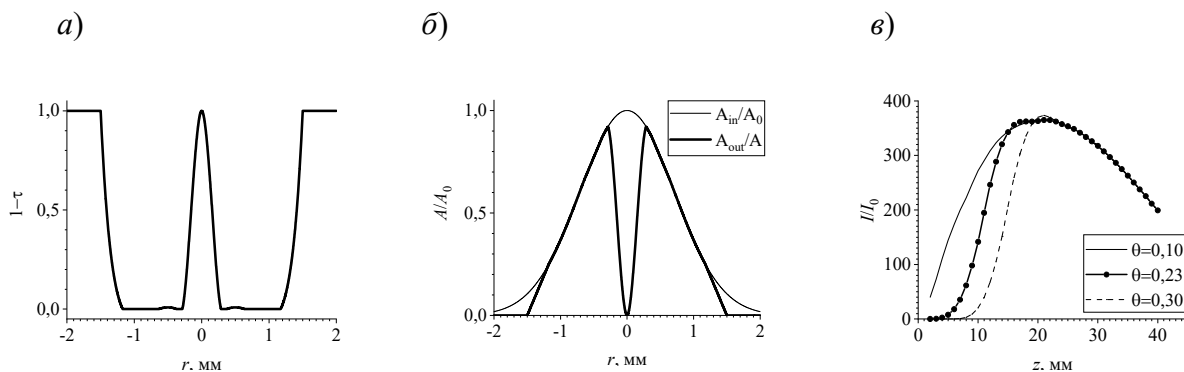


Рис. 1. Профиль поглощения 1-т маски (а), диаметрально распределение поля гауссова пучка A_{in} и поле после маски A_{out} при $\theta = 0,30$ (б); осевые распределения интенсивности, полученные для масок с различным значением параметра θ (в)

Видно, что θ , близкий к 0,23, обеспечивает формирование участка с квазистационарным распределением осевой интенсивности БСП длиной ≈ 5 мм, что позволяет применять подобный БСП для диагностики поверхностей с неровностями высотой до 5 мм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brzobohatý, O. High quality quasi-Bessel beam generated by round-tip axicon / O. Brzobohatý, T. Čížmár, P. Zemánek // Optics Express. – 2008. – Vol. 16, № 17. – P. 12688– 12700.

УДК 620.179.14

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОЦЕНКИ АНИЗОТРОПИИ
МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА СТАЛЕЙ
ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ

В. А. БУРАК^{1,2}, Д. Ю. БОГДАН², А. А. ОСИПОВ¹

¹Институт прикладной физики НАН Беларуси

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Повышение точности, чувствительности и надежности любого вида контроля является актуальной задачей. Импульсный магнитный контроль, в частности контроль анизотропии магнитных свойств листового проката различных марок сталей, не является исключением. В [1] предложен способ контроля несимметрии свойств углеродистой конструкционной стали на основе исследования распределения магнитного поля остаточной намагниченности при точечном намагничивании импульсным магнитным полем накладного датчика. Одним из хорошо зарекомендовавших способов решения актуальных задач повышения конкурентоспособности импульсного магнитного контроля является использование предварительного намагничивания, которое упорядочивает доменную структуру и создает оптимальные условия для дальнейшего процесса измерения магнитных характеристик.

Исследования проводились на образце холоднокатанной стали 35 без термообработки. Намагничивание и измерение градиента нормальной составляющей напряженности остаточного магнитного поля производилось прибором ИМА-6 [2]. Намагничивание осуществлялось импульсным полем с амплитудой 250 кА/м. Величина остаточного поля определялась вдоль и поперек направления прокатки образца листового проката.

Ранее было установлено [1], что наибольшая разница между величинами градиента остаточной намагниченности, снятыми на одинаковом расстоянии от центра пятна намагничивания, наблюдается на расстоянии, близком по величине к половине диаметра намагничивающей катушки, что определяется формированием импульсного магнитного поля. Поэтому для обеспечения наложения магнитных полей от двух намагничиваний в месте наибольшей разницы предварительное намагничивание осуществлялось на расстоянии диаметра датчика намагничивающей системы датчика прибора ИМА-6 от центра образца, а намагничивание, для которого измерялось распределение остаточной намагниченности по разным направлениям относительно направления прокатки, – в центре образца. Предварительное намагничивание обеспечивалось при отступе как по направлению прокатки, так и поперек. Сравнение и анализ результатов проводилось по двум кривым, снятым в одинаковых условиях, т. е. на этих направлениях отсутствовало предварительное намагничивание (рис. 1, а), или, наоборот, пятно намагничивания было на направлении (рис. 1, б), с которого снимается распределение величины градиента нормальной составляющей напряженности остаточного поля.

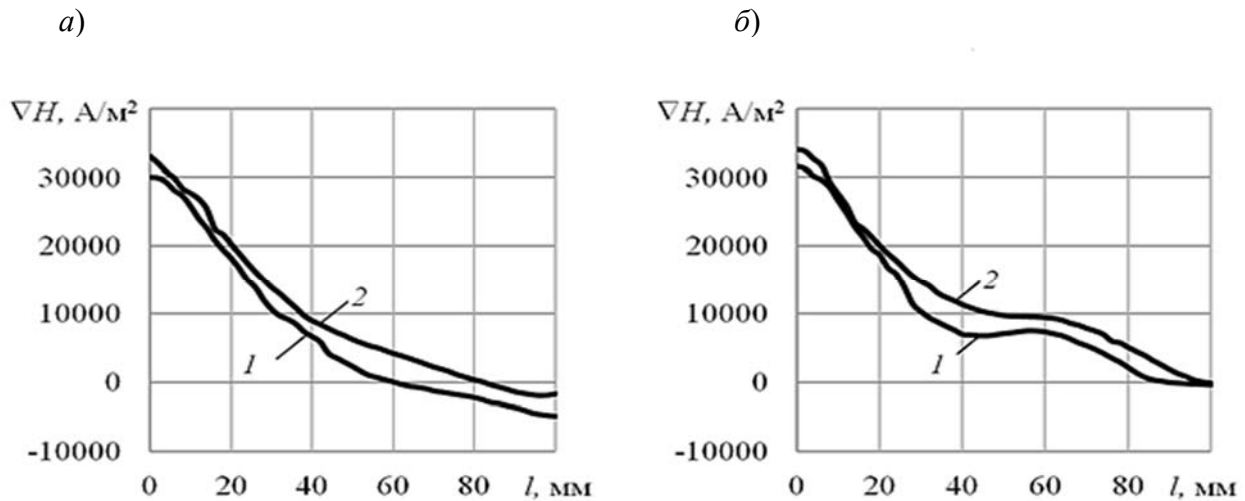


Рис. 1. Распределение градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности вдоль (1) и поперек (2) направления прокатки по поверхности листового проката стали после предварительного намагничивания

Из анализа кривых, описывающих изменение величины градиента остаточной намагниченности при удалении от центра намагничивания, видно, что чувствительность к направлению прокатки становится заметной для каждого из рассматриваемых сочетаний расположения предварительного и информативного намагничивания. Однако для случая, показанного на рис. 1, б, различие между ходом распределения градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности чувствительность к направлению прокатки становится более заметной и устойчиво наблюдается на протяжении некоторого расстояния.

На основе представленных зависимостей можно сделать вывод, что использование предварительного намагничивания на обоснованно физически выбранном расстоянии позволяет повысить чувствительность контроля анизотропии магнитных свойств листового проката сталей, однако необходимы дальнейшие исследования по определению оптимальных параметров поля для предварительного намагничивания и для последующего намагничивания для целей измерения распределения величины градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, а также геометрического места расположения пятна предварительной намагниченности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурак, В. А. Анизотропия магнитных свойств листового проката из стали 35 / В. А. Бурак, В. Ф. Матюк, А. С. Счастный // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2019. – № 3. – С. 17–31.
2. Импульсный магнитный анализатор ИМА-6 / В. Ф. Матюк, В. А. Бурак, А. А. Осипов, Д. А. Пинчуков // Дефектоскопия. – 2009. – № 7. – С. 62–74.

UDC 004.932:620.179.152

DIGITAL RADIOGRAPHIC IMAGES PRELIMINARY PROCESSING FOR
GENERATING TRAINING SAMPLESE. E. KOVSHOV¹, V. S. KUVSHINNIKOV¹, A. V. SUDAREV^{1,2}¹Joint-stock company «Research and Development Institute of Construction
Technology – Atomstroy»²Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia
Moscow, Russia

For any modern industrial facility or technological machines and equipment, regardless of its industry affiliation, safety and reliability are critical factors. Various types and methods of non-destructive testing (NDT) are used to prevent structural failure, especially in the field of welded joints. Among the existing NDT methods, special attention is paid to main three: visual and measuring, ultrasonic, and radiographic. The latter, representing the radiation type of NDT, is the most accurate and objective, allowing not only to localize the defect but also to accurately determine its size and type.

However, the complexity, high cost and high volume of data requiring processing and analysis, together, actualize the problem of digitalization of the process of obtaining, processing and decoding radiographic images. A significant breakthrough has been made by ASTM, which in 1999 developed the specialized DICONDE (Digital Imaging and Communication in Non-Destructive Evaluation) format, allowed solving the tasks of digitalization related to obtaining, storing and transmitting the results of NDT. In turn, the active development and integration of artificial neural networks (ANN) into various industries creates a foundation for solving the remaining tasks for automating the processing and interpretation of radiographic NDT results.

It should be noted that the use of ANN in the field of radiation-based NDT is currently hindered by a severe lack of relevant and high-quality training data. Additionally, most scientific research in this area doesn't explore the emerging correlations between the test results and the conditions under which the radiographic images were acquired and reflected in the metadata attached to the images in the form of tags in the DICONDE file structure. Performing radiographic image quality assessment, checking the integrity and completeness of tags, and labeling images are necessary preprocessing steps before full-fledged neural network training. Using the PACS (Picture Archiving and Communication System) and its integrated database allows the automation for generating training samples of high-quality and relevant data.

Based on the results researches, quantitative mathematical models, algorithms, and application software for an automated radiographic image quality assessment system have been developed, as well as a structure for storing their metadata. The developed and verified mathematical model strictly formalizes the algorithms' requirements for assessing the quality of digital radiographic images in accordance with national and international standards, ensuring the accuracy and reproducibility of the results obtained.

Considering the DICONDE file structure, the relational database entities are the DICONDE hierarchical units: Component, Study, Series, and Instance. This database structure allows for the inclusion of attributes that are not searchable in PACS. After generating a selection of records that meet the query criteria, the database generates a path to each record in PACS using unique identification numbers (UID). The effectiveness of the developed data structure has been confirmed by a number of computational experiments, but it is worth noting the need for testing on large data sets or in real industrial settings.

The main four stages of automatic preliminary processing of radiographic DICONDE images and formation of training samples based on them have been determined: 1 – Data generation; 2 – Validation of images and metadata; 3 – Storage in the database; 4 – Formation of the training sample.

Training sample is formed based on the specified parameters using semantic search. This allows ANN model to be trained using not only radiographic images, but also factual information that characterizes both the test object and the conditions of radiographic technics itself.

The proposed approach ensures that ANN is invariant to the material of the test object, the exposure parameters, and the radiographic technics, which helps to reduce the dimensionality of the parameter space and improve the generalization ability of the model.

Quality assessment of a radiographic image requires the localization and analysis of key elements such as the groove, wire, and step sensitivity indicators, the two-wire sensitivity standard, and other auxiliary elements. The task of segmenting key image objects has been solved, and the information about their location is stored in the corresponding DICONDE tags and markup file for subsequent training of the ANN. Software implementation of the automated system involves its application for collecting, processing, and storing data from radiation NDT in the industrial sector in order to generate representative datasets necessary for the effective training of neural networks.

The key feature of this system is the integration of automated image quality assessment and metadata completeness verification, which allows for the creation of high-quality and reliable training datasets suitable for the effective training of machine learning models and reduces the risk of artifacts in the datasets.

Proposed automated approach to the formation of training samples based on synthetic data in the DICONDE format, generated using the industrial radiography simulator, allows to effectively solve the problems of the limited and unbalanced nature of real data of radiation NDT. The creation of representative samples with specified characteristics opens the way to the training of neural network models with greater generalization ability. An algorithmic approach to object segmentation in an image (without considering defects) and its quality assessment eliminates the probabilistic factor of results inherent in ANN and returns a strictly deterministic result.

The conducted research confirms the scientific validity and practical significance of the proposed approach to automatic preliminary preprocessing of digital radiographic DICONDE images, which creates a solid foundation for the further development of machine learning technologies in the field of NDT.

УДК 620.179

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЯ СЛОЕВ В БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛАДЫШАХ ПОДШИПНИКОВ

Г. В. КОНЦЕВИЧ, И. Д. ПОПЕЛЕВ, С. С. СЕРГЕЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Основным рабочим элементом подшипников скольжения, которые широко используются в различных отраслях промышленности, являются вкладыши, выполненные из биметаллического проката. При этом качество биметаллического проката определяется прочностью соединения слоев в биметалле, точным соотношением толщин слоев, теплофизическими свойствами. Наличие несплошностей в соединении слоев биметалла способствует быстрому усталостному разрушению слоя антифрикционного сплава при работе и выходу подшипника из строя. Поэтому важнейшими показателями качества двухслойных изделий, определяющими его технологичность при изготовлении оборудования и эксплуатационные свойства изделия, являются сплошность и прочность соединения слоев, структура и свойства плакирующего слоя и переходной зоны. Используемые сегодня методы и средства выборочного контроля основных характеристик качества не гарантируют высокое качество производимых вкладышей. Обеспечить улучшение качества возможно применением непрерывного неразрушающего контроля тех характеристик, из-за которых случается большой объем дефектов.

Данная работа посвящена исследованию возможности неразрушающего контроля качества соединения (наличие расслоения) антифрикционного бронзового слоя со стальной основой в тонкостенных вкладышах подшипников скольжения. Предварительные исследования показали, что нарушения сцепления по краям антифрикционного слоя могут быть обнаружены визуально или при использовании капиллярного метода контроля. Однако при этом невозможно оценить глубину проникновения выявленных несплошностей.

В настоящее время достаточно высокую информативность неразрушающего контроля различных соединений элементов промышленных объектов обеспечивают современные ультразвуковые технологии, которые постоянно совершенствуются по различным направлениям. По различным рекомендациям для контроля расслоений целесообразно применять ультразвуковые продольные волны и волны интерференционного типа с частотами колебаний 2,5...5,0 МГц. При этом контроль можно производить как зеркально-теневым, так и эхометодом. При контроле продольными ультразвуковыми волнами наибольшей чувствительностью обладает эхометод. Этим методом выявляются расслоения с минимальной площадью 8 мм², а зеркально-теневым – 60 мм², при этом толщина обнаруживаемых расслоений равна 5...10 и 2...5 мкм соответственно.

Для проведения экспериментов было выбрано оборудование: ультразвуковой дефектоскоп Кропус UCD46, пьезопреобразователи (ПЭП) на различные рабочие частоты П112 2.5-12, П112 5-12, SIUI 7.5Z6FG-HL00. В качестве объекта контроля выбрали производственный образец вкладыша «сталь – бронза» толщиной 6 мм и диаметром 100 мм (рис. 1).



Рис. 1. Оборудование для проведения эксперимента

Выявление несплошностей соединения тонких слоев ультразвуковым эхометодом представляет непростую задачу, т. к. граница «мертвой зоны» для определенных частот может находиться как раз в зоне соединения слоев. В эксперименте использовали две схемы прозвучивания: прямыми совмещенными преобразователями и прямыми раздельно-совмещенными ПЭП.

При прозвучивании вкладыша на частоте 2,5 МГц оказалось невозможно селективировать полезные сигналы от границы соединения слоев на фоне донного сигнала. На частотах 5 и 7,5 МГц сигналы от границы слоев фиксировались на фоне шумов для раздельно-совмещенных ПЭП. Однако нормирование сигналов по амплитуде для оценки размеров несплошностей на границе слоев оказалось невозможным.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что, в принципе, ультразвуковой контроль качества соединения слоев биметаллических вкладышей возможен, но при этом требуются существенные трудозатраты на исследование каждого образца, что неприемлемо при серийном производстве.

На наш взгляд, наиболее приемлемым для выявления несплошностей соединения слоев вкладышей в производственных условиях является радиографический или радиоскопический контроль, который может обеспечить требуемую чувствительность и производительность.

В докладе рассмотрены возможные вариации неразрушающего контроля качества вкладышей.

УДК 620.178.7:621.9.048

ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

А. П. КРЕНЬ¹, О. В. МАЦУЛЕВИЧ¹, Т. А. ПРОТАСЕНЯ¹, Г. А. ЛАНЦМАН,¹
К. В. ПАНТЕЛЕЕВ², Р. И. ВОРОБЕЙ², В. А. МИКИТЕВИЧ²,
А. В. НИКИФОРОВ³

¹Институт прикладной физики НАН Беларуси

²Белорусский национальный технический университет

³Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

Обеспечение безопасности и оценка остаточного ресурса эксплуатируемых конструкций требуют методов контроля, не нарушающих их целостность. Традиционные разрушающие испытания неприменимы для таких объектов, как магистральные трубопроводы или элементы энергетических установок. Метод инструментального индентирования, позволяющий локально определять механические свойства материала непосредственно на объекте, является эффективным решением этой задачи [1, 2].

Метод основан на регистрации кривой «нагрузка – глубина внедрения» при вдавливании индентора известной геометрии (сфера, конус, пирамида) в поверхность материала. Анализ этой диаграммы по стандартным алгоритмам (например, ISO 14577) позволяет рассчитать ключевые механические свойства. На основе получаемых данных могут быть определены значения твердости, модуля упругости, пределов текучести и прочности, а также оценены параметры деформационного упрочнения, ползучести и релаксации (табл. 1). Метод является неразрушающим (глубина отпечатка ≤ 150 мкм) и позволяет проводить работы в полевых условиях.

Табл. 1. Технические характеристики измерительного комплекса

Параметр	Значение / Характеристика
Параметры установки	
Максимальная нагрузка	До 2000 Н
Максимальная глубина внедрения индентора	До 1 мм
Набор сменных инденторов	Сферические (Ø1; 2,5; 5 мм), конические, пирамидальные
Точность измерения нагрузки	Относительная погрешность $\leq \pm 1$ %
Точность измерения перемещения	Абсолютная погрешность $\leq \pm 1$ мкм
Скорость нагружения	Регулировка в диапазоне 1...100 мкм/с
Диапазоны определяемых характеристик	
Твердость по Бринеллю (НВ)	100...450 НВ
Твердость по Роквеллу (HRC)	20...68 HRC
Модуль упругости (модуль Юнга)	70...200 ГПа
Предел прочности сталей перлитного класса*	380...1700 МПа
<i>Примечание</i> – Определяется пересчетом по эмпирическим зависимостям на основании измеренной твердости (в соответствии с СТБ 2495–2017)	

Разработанный комплекс (рис. 1) представляет собой интегрированное решение, включающее прецизионную механическую часть, электронный блок управления и специализированное программное обеспечение. Программное обеспечение обеспечивает управление процессом испытания, отображение диаграммы в реальном времени и автоматизированный анализ данных.

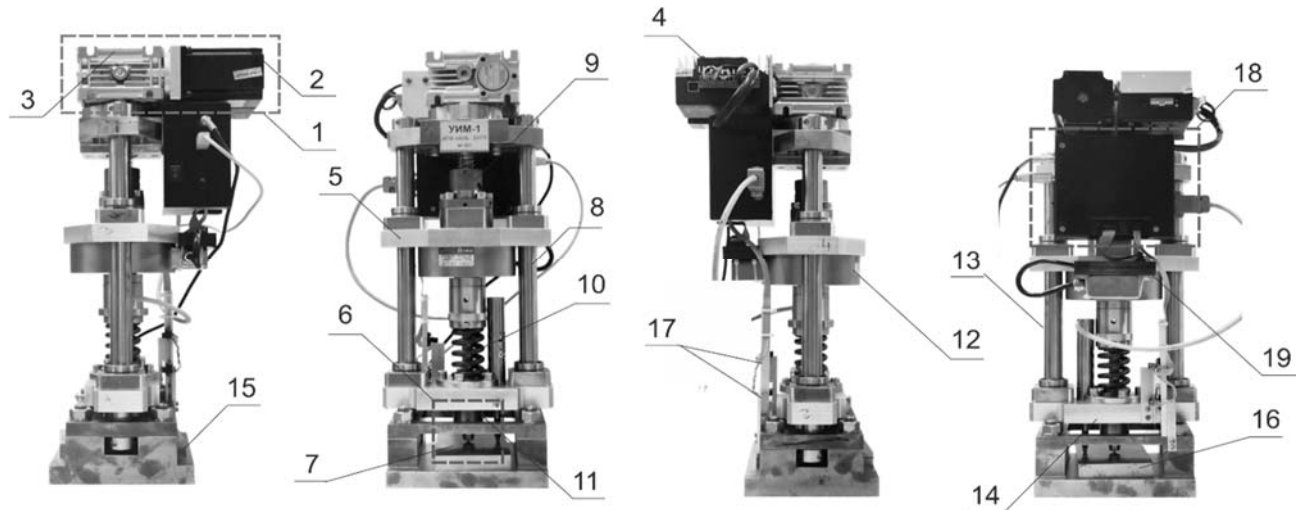


Рис. 1. Общий вид установки инструментального индентирования УИМ-01: 1 – силовой привод; 2 – шаговый двигатель; 3 – редуктор шагового двигателя; 4 – драйвер шагового двигателя силового привода; 5 – каретка; 6 – узел крепления индентора; 7 – индентор; 8 – направляющие; 9 – шариковинтовая передача; 10 – пружина; 11 – установочный винт; 12 – тензометрический датчик нагрузки; 13 – фотоэлектрический датчик перемещения; 14 – станина; 15 – основание; 16 – образец; 17 – концевые выключатели верхнего и нижнего положения каретки; 18 – электронный блок обработки сигналов и управления; 19 – АЦП датчика нагрузки

Инструментальное индентирование является перспективным направлением для неразрушающей диагностики состояния материалов. Разработанный комплекс обеспечивает точное определение широкого набора механических характеристик. Перспективы развития связаны с расширением функциональности: внедрением модулей для динамического и циклического нагружения, а также интеграцией с другими методами неразрушающего контроля (акустическая эмиссия) для комплексной оценки остаточного ресурса конструкций. Комплекс может быть эффективно использован для решения задач промышленной диагностики и научно-исследовательских работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крень, А. П. Оценка погрешности определения физико-механических характеристик материалов при их контроле методом индентирования / А. П. Крень // Приборы и методы измерений. – 2018. – Т. 9, № 3. – С. 263–271.
2. Крень, А. П. Применение метода дифракции рентгеновских лучей для изучения напряженного состояния поверхности металла при статическом и ударном деформировании / А. П. Крень // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 2. – С. 27–37.

УДК 620.17

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО
УПРОЧНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВА. П. КРЕНЬ¹, Т. А. ПРОТАСЕНЯ¹, О. В. МАЦУЛЕВИЧ¹, Г. А. ЛАНЦМАН¹,
Z. MIN², М. Н. ДЕЛЕНДИК³, А. В. НИКИФОРОВ⁴¹Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь²Институт материаловедения и инженерных наук Цзилиньского университета
Чанчунь, Китай³Филиал Белорусского национального технического университета
«Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки
кадров по менеджменту и развитию персонала»⁴Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

Оценка показателя деформационного упрочнения n для алюминия критически важна, т. к. этот параметр определяет способность металла упрочняться на стадии равномерной деформации. Особое значение этот показатель имеет для материалов, полученных по технологии Strip Casting. Данный способ получения уникальных алюминиевых сплавов предполагает высокую скорость охлаждения ($10^2 \dots 10^3$ °C/c), что вызывает образование большого числа центров кристаллизации, приводящих к формированию мелкозернистой структуры, и предотвращает развитие ликвации (неоднородности состава), обеспечивая более равномерное распределение выделений упрочняющих фаз по сравнению с обычным литьем. Значение коэффициента деформационного упрочнения n напрямую зависит от этих микроструктурных параметров (размера зерен, междендритного расстояния) и служит индикатором качества литой заготовки. Для определения этой важной механической характеристики были использованы положения, изложенные в [1], где обобщен закон Мейера на случай вдавливания острого конуса. Сила вдавливания P и диаметр отпечатка d связаны формулой $P = bd^2$ (где b – коэффициент), верной для любых конусов и металлов, которая является выражением закона подобия. Аналогичная формула применима и при вдавливании сферических наконечников диаметром D , если предположить, что они внедряются в металлы до получения одинаковых значений относительно диаметра отпечатка d/D .

Это становится очевидным, если закон Мейера записать в следующем виде:

$$P = A \left(\frac{d}{D} \right)^{n-2} d^2, \quad (1)$$

где A – постоянный коэффициент, зависящий от геометрии индентора; n – показатель деформационного упрочнения.

При постоянном значении относительного диаметра отпечатка будем иметь $P = cd^2$. Коэффициенты b и c содержат в себе параметры условий измерения: константы пластичности A и n , угол α при вершине конуса – в первом случае;

угол вдавливания $\varphi = \arcsin(d/D)$ – в случае вдавливания сферы. Как известно [2], числа твердости, полученные при вдавливании пирамиды с углом между гранями $\alpha = 136^\circ$, почти совпадают с числами твердости по Бринеллю, полученными при относительном диаметре отпечатка 0,375, что отвечает углу вдавливания $\varphi = 44$ (рис. 1). Поскольку между наконечниками пирамидальной и конической форм нет принципиального различия, то на основании приведенного факта можно получить формулу для вдавливания конического наконечника.

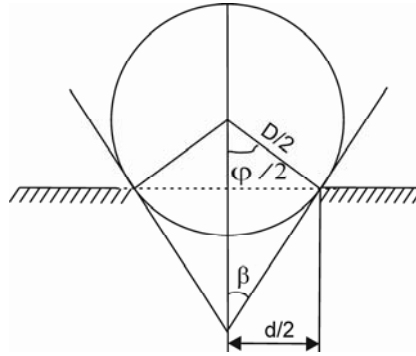


Рис. 1. Расчетная схема контакта индентора

Из рис. 1 видно, что угол $\beta = 90 - \frac{\varphi}{2}$, следовательно,

$$P = Ad^2 \left(\frac{d}{D} \right)^{n-2} = Ad^2 \left(\sin \left(\frac{\varphi}{2} \right) \right)^{n-2} = Ad^2 (\cos(\beta))^{n-2}. \quad (2)$$

Данная формула, по-видимому, будет верна, пока угол конуса достаточно большой и не возникает скольжения металла по поверхности вдавливаемого конуса. В этом случае около отпечатка должен наблюдаться прогиб первоначальной поверхности. При остром угле конуса металл с низким коэффициентом внутреннего трения будет скользить по поверхности наконечника и около отпечатка появится высокий, резко очерченный, вспученный, контур. В этом случае формула (2) не применима.

Основываясь на формуле (2), для определения коэффициента деформационного упрочнения необходимо провести эксперименты по вдавливанию инденторов на различные глубины и с использованием соответствующей аппроксимации данных определить значение n .

Исследования выполнены в рамках гранта ГКНТ – Китай T24КИТГ-006.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Moteff, J.** Correlation of the hot-hardness with the tensile strength of 304 stainless steel to temperatures of 1200C / J. Moteff, R. K. Bhargava, W. L. McCullough // Metall. Trans. – 1975. – № 6. – P. 1101–1104.
2. **Джонсон, К. Л.** Механика контактного взаимодействия / К. Л. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.

УДК 625.7

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Н. В. КУРОЧКИН

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В соответствии с требованиями СН 1.04.01–2020 *Техническое состояние зданий и сооружений* общий технический осмотр зданий должен производиться 2 раза в год – весной и осенью, а в случае стихийных бедствий, аварий или пожаров производят внеплановый осмотр. В настоящее время диагностика эксплуатационного состояния конструкций зданий, как правило, осуществляется путем фактического осмотра людьми, ответственными за техническое состояние основных фондов. Учитывая, что за каждой эксплуатирующей организацией закреплено значительное количество зданий, а обследование одного здания может занимать до нескольких дней, для выполнения периодического обследования требуются значительные финансовые затраты.

Технологии на базе компьютерного зрения широко применяются в различных сферах деятельности человека, в том числе и в строительстве: мониторинг безопасности рабочих, отслеживание местоположения техники на строительной площадке, контроль качества строительных материалов, мониторинг процесса строительства и т. д. Технология работы таких устройств и программ на основе компьютерного зрения заключается в том, что идет анализ контролируемых объектов на фотоизображениях или в видеопотоке. Алгоритмы с основой элементов компьютерного зрения совместно с нейронными сетями и искусственным интеллектом анализируют изображения и видеопоток, определяя и классифицируя необходимые объекты. Распознаваемые объекты устанавливаются заранее путем обучения программ, используя технологии машинного обучения на базе подготовленных библиотек изображений дефектов транспортной инфраструктуры.

Подобные системы возможно использовать также для проведения визуального мониторинга технического состояния ограждающих конструкций зданий. Используемые методы обработки фото- и видеоинформации и технологии искусственного интеллекта позволяют выполнять автоматизацию процессов распознавания основных дефектов поврежденных участков фасадов, колонн, балок, консольных и других элементов зданий и сооружений с высокой точностью, низкой трудоемкостью процесса, а также с минимальными затратами на выполнение работ.

С целью реализации предлагаемого метода был собран датасет из 800 фотографий дефектов элементов зданий и сооружений, который в последующем будет загружен в нейронную сеть на архитектуре YOLOv5 для создания алгоритма автоматической детекции наиболее часто встречающихся дефектов.

Автоматизация периодического обследования зданий и сооружений посредством технологии компьютерного зрения позволит не только снизить финансовые затраты на выполнение работ, но и освободить квалифицированных инженеров для более важных инженерных задач.

УДК 620.179.1:621.315.592

**БЕСКОНТАКТНЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ
В ДИАГНОСТИКЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

К. В. ПАНТЕЛЕЕВ, А. Л. ЖАРИН, Р. И. ВОРОБЕЙ, В. А. МИКИТЕВИЧ,
О. К. ГУСЕВ, А. И. СВИСТУН, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Современная микроэлектроника, в условиях технологической трансформации, требует внедрения передовых методов неразрушающего контроля. К их числу относятся методы сканирующей зондовой электрометрии, которые служат важным инструментом для прецизионной диагностики материалов и структур, обеспечивая решение задач контроля качества. Эти методы бесконтактны и позволяют с высокой точностью картировать фундаментальные электрофизические свойства полупроводников, от контроля исходных пластин до диагностики готовых приборных структур. В основе методов лежит анализ чувствительности поверхностного электрического потенциала к ключевым параметрам материала, таким как работа выхода электрона, удельное сопротивление, время жизни неосновных носителей заряда и концентрация глубоких примесей. Непосредственно измеряемыми физическими величинами выступают контактная разность потенциалов и поверхностная фотоЭДС, возникающая при локальном оптическом возбуждении. Существующая корреляция между величиной фотоЭДС и параметрами, включая время жизни носителей, удельное сопротивление и концентрацию дефектов, открывает широкие возможности для комплексной диагностики полупроводников.

В данной работе обобщены результаты разработки и внедрения трех подходов, созданных в Белорусском национальном техническом университете по заказу ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга «Интеграл»:

- цифрового метода измерения работы выхода электрона;
- метода определения времени жизни неравновесных носителей и концентрации железа;
- фотостимулированной сканирующей электрометрии.

Цифровой метод измерения работы выхода электрона, реализующий некомпенсационную схему с косвенной аппроксимацией сигнала, позволил в 20–50 раз повысить быстродействие измерений при сохранении точности на уровне 0,1...1 мВ [1].

Метод определения концентрации железа в кремнии р-типа основан на измерении изменения диффузионной длины неосновных носителей до и после низкотемпературного отжига, вызывающего диссоциацию пар Fe–В [2].

Фотостимулированная сканирующая электрометрия анализирует пространственное распределение фотоЭДС для бесконтактного определения удельного поверхностного сопротивления легированных слоев [3].

Эти методики нашли аппаратную реализацию в виде семейства специализированных автоматизированных сканирующих систем серии «СКАН» для пластин диаметром до 200 мм. Системы СКАН-13, СКАН-15 и СКАН-19 оснащены прецизионными приводами сканирования и уникальными электрометрическими зондами. Например, в СКАН-15 [3] реализована двухкамерная архитектура, объединяющая измерительный модуль и камеру для низкотемпературного отжига, что позволяет выявлять примесь и проводить анализ концентрации железа.

Практическая значимость данных методов заключается в решении конкретных технологических задач. Картирование работы выхода электрона эффективно для выявления микродефектов, зон механических напряжений и химических неоднородностей в подложках и эпитаксиальных структурах.

Метод контроля железа является незаменимым инструментом для мониторинга чистоты технологических процессов производства кремния. Контроль однородности удельного поверхностного сопротивления критически важен для характеристики ионно-легированных и диффузионных слоев. Внедрение отечественных разработок в исследовательские центры и на производственные линии формирует основу для полного цикла контроля – от фундаментальных исследований новых материалов до высокопроизводительного тестирования компонентов для систем связи, силовой электроники и специального назначения.

Таким образом, сканирующая зондовая электрометрия представляет собой эффективную методологию неразрушающего контроля, объединяющую передовые физические принципы, цифровые алгоритмы обработки сигналов и прецизионное аппаратное обеспечение. Сочетание высокой пространственной разрешающей способности, быстродействия и возможности мультипараметрического анализа обуславливает определяющее значение этих методов как для фундаментальных исследований в области микроэлектроники, так и для решения задач обеспечения качества и конкурентоспособности серийного производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пантелеев, К. В.** Методы и средства измерения контактной разности потенциалов на основе анализа компенсационной зависимости зонда Кельвина : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.01 / Пантелеев Константин Владимирович; БНТУ. – Мн., 2016. – 23 с.
2. **Zharin, A.** Determining the lifetime of minority charge carriers and iron impurity concentration in semiconductor structures with submicron layers / A. Zharin // *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 2, № 4. – С. 3.
3. Универсальный цифровой зондовый электрометр для контроля полупроводниковых пластин / А. Л. Жарин, В. А. Микитевич, А. И. Свистун, К. В. Пантелеев // *Приборы и методы измерений*. – 2023. – Т. 14, № 3. – С. 161–172.

УДК 620.193.01

МОНИТОРИНГ РАННИХ СТАДИЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ МЕТОДОМ
СКАНИРУЮЩЕГО ЗОНДА КЕЛЬВИНАК. В. ПАНТЕЛЕЕВ, А. Л. СВИСТУН, Д. Н. СЁМИН
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Продление срока безопасной эксплуатации распределительных газопроводов является критически важной экономической и технической задачей. Значительная часть сетей эксплуатируется более 50 лет, а их полная замена требует высоких затрат. В связи с этим необходимы точные методы неразрушающего контроля, позволяющие оценить остаточный ресурс и локализовать зарождающиеся дефекты. Коррозия, инициируемая агрессивным грунтом, является ключевым фактором старения подземных трубопроводов. Традиционные методы оценки часто фиксируют изменения уже на развитой стадии. Для предиктивной диагностики требуются методы, чувствительные к ультраранним изменениям поверхности. Целью работы является исследование чувствительности метода сканирующего зонда Кельвина к ультраранним стадиям коррозии конструкционной стали с целью разработки подхода к предиктивной диагностике состояния материалов инженерной инфраструктуры.

Метод сканирующего зонда Кельвина является одним из наиболее перспективных методов исследования коррозионных процессов. Он позволяет бесконтактно картировать распределение контактной разности потенциалов (КРП) по поверхности, которое напрямую коррелирует с распределением работы выхода электрона (РВЭ) [1]. РВЭ представляет собой фундаментальную характеристику материала, чрезвычайно чувствительную к изменению химического состава поверхности, наличию оксидных плёнок, процессам адсорбции и зарождению коррозии [2]. Даже начальные стадии окисления, не обнаруживаемые оптическими методами, приводят к изменениям электронной структуры поверхности, что непосредственно отражается на величине РВЭ.

Исследования проведены на автоматизированной установке сканирующей электрометрии «СКАН». Ключевые характеристики установки:

- диапазон измеряемых потенциалов – от ± 2 до ± 2500 мВ;
- пространственное разрешение – 0,5 мм;
- максимальный размер сканируемой области – 200×200 мм.

Для испытаний использовали образец из низкоуглеродистой стали Ст3. Поверхность образца была механически отшлифована, обезжирена и стабилизирована на воздухе для формирования естественной оксидной пленки. Коррозионное воздействие моделировали с помощью 5-процентного водного раствора NaCl. Образец погружали в раствор наполовину, создавая зону дифференциальной аэрации, что инициирует интенсивную локальную коррозию. Сканирование поверхности выполняли до погружения и через фиксированные интервалы времени после него (15 мин, 1 ч, 8 ч, 14 ч) (рис. 1).

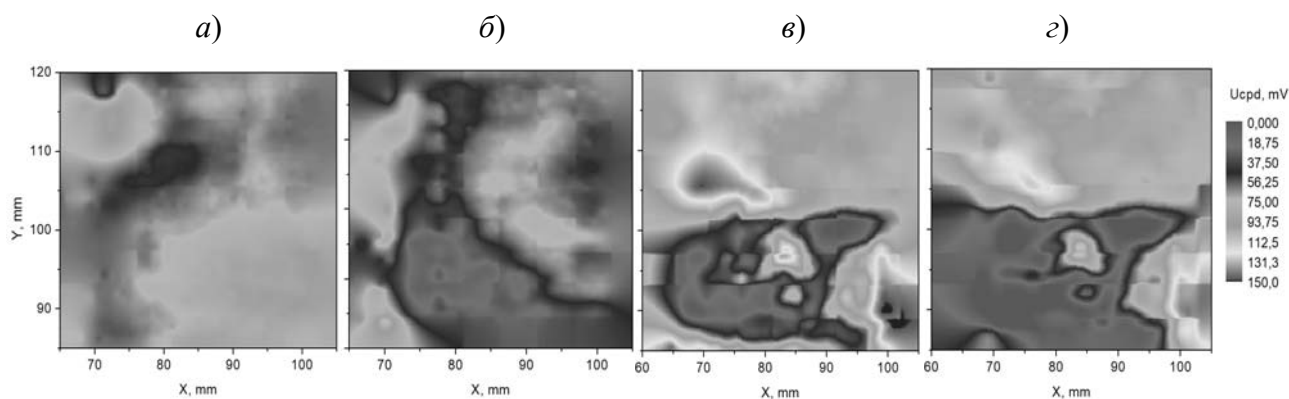


Рис. 1. Карты распределения контактной разности потенциалов образца низкоуглеродистой стали Ст3 при воздействии агрессивной среды (NaCl): *а* – в исходном состоянии; *б–г* – при времени экспозиции 1, 8 и 14 ч соответственно

В исходном состоянии (см. рис. 1, *а*) карта распределения КРП демонстрировала равномерное распределение потенциала (диапазон 45...90 мВ), что соответствует однородной пассивной оксидной пленке. Через 15 мин воздействия (рис. 1, *б*) зафиксировано появление локализованной зоны со сниженным потенциалом (10...30 мВ). Данная область соответствует активному анодному участку, где началось разрушение пассивного слоя. Через 1 ч (см. рис. 1, *в*) отмечено увеличение площади анодной зоны, что свидетельствует о прогрессировании анодного растворения металла и разрастании питтинга. Через 8 и 14 ч наблюдалось качественное изменение картины. Погруженная часть образца приобрела сложную мозаичную структуру с чередованием зон низкого (активные аноды) и высокого (зоны с продуктами коррозии) потенциалов. Это соответствует стадии генерализованной коррозии с формированием неоднородного слоя вторичных продуктов.

Таким образом, экспериментально подтверждена высокая чувствительность метода сканирующего зонда Кельвина к начальным стадиям коррозии стали в хлоридсодержащей среде. Метод позволяет не только детектировать зарождение коррозионного очага за минуты, но и визуализировать пространственную динамику развития процесса, идентифицируя анодные и катодные зоны. Полученные результаты демонстрируют перспективность использования метода для предиктивной оценки коррозионного состояния конструкционных материалов, в том числе элементов подземных газопроводов, с целью обоснования продления их срока службы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Универсальный цифровой зондовый электрометр для контроля полупроводниковых пластин / А. Л. Жарин, В. А. Микитевич, А. И. Свистун, К. В. Пантелеев // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 3. – С. 161–172
2. **Panteleyev, K. V.** Methods for work function measurements for the test of a surface in a during friction / K. V. Panteleyev, A. I. Svistun, A. L. Zharin // Devices and Methods of Measurements. – 2015. – № 2. – С. 107–113.

УДК 620.179.14

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ
МАГНИТОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТОВ

В. Г. ПАНТЮШИНА, В. А. НОВИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В связи с появлением высокоэффективных способов намагничивания, магнитного и магнитографического контроля возникла необходимость в разработке универсальной методики контроля, позволяющей значительно повысить возможности метода. Она должна учитывать как конструктивно-технологические особенности изделия, так и вид, тип, ориентацию дефектов в нем, а также различные ограничения, налагаемые на условия контроля, связанные со специфическими особенностями эксплуатации объекта. Рассмотрим некоторые случаи подробнее.

1. Контроль объектов на наличие поверхностных дефектов микроскопического раскрытия.

Проблема заключается в том, что при намагничивании ферромагнитного объекта с уложенной на его поверхности магнитной лентой в процессе контроля поле рассеяния поверхностной несплошности малого раскрытия создает на ленте узколокальные магнитные отпечатки. В процессе считывания записи с ленты поле рассеяния таких отпечатков не замыкается через сердечник индукционной магнитной головки дефектоскопа, т. е. в конечном итоге на экране дефектоскопа нет характерного сигнала о наличии дефекта.

Разработаны способы контроля, которые позволяют уверенно обнаруживать такие дефекты. Кроме того, они позволяют определять координаты их расположения независимо от глубины залегания [1].

2. Если контролируемая зона находится в труднодоступном месте, то возникают сложности, связанные с необходимостью использования для намагничивания объекта крупногабаритных тяжелых намагничивающих устройств, а при дефектоскопии объектов, находящихся на большой высоте, наряду с указанными трудностями, возникают вопросы, связанные с необходимостью применения соответствующих источников питания.

Разработаны устройства на основе постоянных магнитов, позволяющие решить эту проблему.

3. Контроль объектов на наличие поверхностных дефектов в особых условиях эксплуатации (коррозионная среда, длительное время эксплуатации, под водой, взрывоопасные помещения и т. д.).

При магнитографическом контроле таких объектов на сигналограмме, наряду с полезными сигналами, возникает большое количество помех. Выделить полезный сигнал на их фоне затруднительно.

Разработан способ магнитографического контроля, при котором для намагничивания объектов применяют малогабаритные постоянные магниты, а намагничивание объекта производят через уложенную на его поверхность

магнитную ленту. В этом случае можно обеспечить условия контроля, при которых от опасного дефекта (трещины, стянутого непровара) на экране наблюдается двуполярный сигнал, а от неопасного (риски, углубления от поверхностных неровностей) – несколько искаженный однополярный сигнал [2].

4. Раздельное обнаружение компактных и протяженных дефектов, ориентированных вдоль шва.

При намагничивании объекта дефекты округлой формы (поры, шлаковые включения) создают слабое возмущение магнитного потока, а потому они хуже обнаруживаются методами магнитного контроля по сравнению с плоскими несплошностями. Особенно трудно обнаружить такие дефекты в сварных соединениях.

Показано, что целесообразно производить раздельный контроль сварных соединений на наличие протяженных и компактных дефектов: в первом случае сварной шов следует намагничивать в поперечном направлении, используя при неблагоприятных размерах выпуклости шва (отношение ширины шва к высоте выпуклости меньше 7) концентраторы магнитной индукции, во втором – вдоль продольной оси, считывая запись с магнитной ленты вдоль направления ее остаточной намагниченности. Чувствительность контроля возрастает 4–5 раз по сравнению с традиционным методом [3].

5. Повышение разрешающей способности метода контроля.

При традиционном методе контроля весьма сложно отличить непровар переменной величины от цепочки пор.

Показано, что при режимах, характерных для магнитных методов контроля, поля компактных дефектов оказываются вытянутыми в направлении, перпендикулярном вектору напряженности намагничивающего поля. Поэтому если объект контроля намагнитить вдоль предполагаемого направления ориентации дефектов, то поля компактных дефектов будут ориентированы поперек цепочки несплошностей и станут перекрываться при меньшем расстоянии между дефектами, чем в случае намагничивания объекта поперек цепочки несплошностей. При этом разрешающая способность метода контроля возрастает от 10 до 40 раз в зависимости от глубины залегания дефекта [3]. Удастся распознать две поверхностные поры, покрытые краской, даже в том случае, если они перекрываются.

Существуют и другие проблемы магнитографической дефектоскопии ферромагнитных объектов, которые успешно преодолеваются разработанными способами и средствами контроля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство SU 242468. Способ магнитографического контроля изделий из ферромагнитных материалов: опубл. 25.04.69 / Фещенко Ю. Б. – 3 с.
2. Патент RU 2154818, МКИ⁷ G01N27/72. Способ магнитографического контроля ферромагнитных изделий: № 96111357/28: заявлено 03.06.1996: опубл. 20.08.2000 / Новиков В. А. – 8 с.
3. Авторское свидетельство SU 1677601. Способ магнитографического контроля: опубл. 15.09.91 / Новиков В. А. – 3 с.

УДК 502.174.3

ПРОБЛЕМАТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИЭ В ТРАНСПОРТНОМ СЕКТОРЕ

В. А. ПАСТУШКОВ

Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ)
Москва, Россия

Сегодня на транспортный сектор приходится около четверти мировых выбросов парниковых газов, связанных с зависимостью этого сектора от ископаемого топлива. Эффективное использование возобновляемых источников энергии является одним из наиболее действенных решений для противодействия энергетическим, экологическим и экономическим проблемам.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – это источники энергии, основанные на использовании природных ресурсов, способные преобразовывать энергию ветра, солнца и т. д. в электрическую энергию. В данной статье речь пойдет о ветрогенераторах и солнечных панелях как основных источниках электроэнергии.

Среди возобновляемых источников энергии использование ветрогенераторов быстро набирает популярность и привлекает значительное внимание научного сообщества. Их эксплуатация рекомендуется совместно с солнечными панелями. Совместная эксплуатация этих ВИЭ способствует нивелированию индивидуальных недостатков каждого из них.

Однако внедрение возобновляемых источников энергии сопряжено с рядом трудностей.

Основным недостатком при внедрении любого вида ВИЭ является их зависимость от климатических условий региона размещения. Солнечная и ветровая энергетика имеют переменный и труднопрогнозируемый характер, что создает дополнительные проблемы, связанные с отсутствием гарантированной мощности в пиковые нагрузки.

Одной из главных преград для широкого распространения ветрогенераторов в городской застройке является сложность оценки целесообразности их использования в зависимости от местного ветрового ресурса, который очень специфичен для такой среды и характеризуется отсутствием точных методов его оценки. Также движение ветрового потока затрудняется близлежащими деревьями и зданиями, что вызывает турбулентность в потоке и значительное падение средней скорости ветра, что непосредственно влияет на выработку электроэнергии.

Для солнечных панелей ограничения связаны в основном с вопросами безопасности. При размещении солнечных панелей вблизи транспортных потоков или на объектах транспортной инфраструктуры необходимо учитывать требования электробезопасности, пожарной безопасности и безопасности дорожного движения, включая риск повреждения оборудования и возникновения аварийных ситуаций. Существующая нормативная база часто ориентирована на

централизованные энергосистемы, не учитывает особенности автономных и гибридных решений, а также не содержит четких требований к ВИЭ на объектах транспортной инфраструктуры. При этом эксплуатация возобновляемых источников энергии требует ряда компетенций, таких как энергетический менеджмент и аудит, обслуживание накопителей энергии и цифровые системы мониторинга. Совокупность этих факторов и недостаток координации между ведомствами тормозит развитие ВИЭ.

Одним из факторов, ограничивающих применение возобновляемых источников энергии, является ограниченность технологий накопления энергии. Для компенсации неравномерности генерации ВИЭ используются системы накопления энергии, обладающие рядом недостатков: высокая стоимость оборудования, ограниченное количество циклов заряда-разряда и деградация аккумуляторов со временем. В условиях транспортной инфраструктуры, особенно на протяженных или удаленных участках, необходимы длительная автономная работа и возможность быстрого восстановления энергоснабжения.

Еще одной серьезной задачей является учет и полного жизненного цикла таких технологий, включающий в себя создание стандартов и нормативных актов, касающихся экологической устойчивости в отношении добычи материалов для производства возобновляемых источников энергии, а также последующей их утилизации.

На дорожной и улично-дорожной сети Краснодарского края эксплуатируется порядка трехсот объектов возобновляемой энергетики на основе солнечных панелей. Они обеспечивают работу автономных светофоров, автономных осветительных систем, автономных пунктов учета интенсивности дорожного движения (ПУИД), автономных метеостанций. На основе этого можно сделать вывод, что использование ВИЭ в Краснодарском крае уже доказало свою эффективность для обеспечения автономной работы важных инфраструктурных объектов, что позволило повысить энергоэффективность, надежность и экологическую устойчивость транспортной инфраструктуры.

Важным фактором повышения эффективности использования ВИЭ в транспортном секторе является внедрение интеллектуальных систем управления энергопотреблением, энергоэффективных аккумуляторных батарей и систем мониторинга, способных обеспечивать бесперебойную работу возобновляемых источников энергии как объектов дорожной инфраструктуры. Интеграция ВИЭ с умными цифровыми технологиями способствует оптимизации энергопотребления.

В конечном итоге для перехода на возобновляемые источники энергии требуются разработка и введение параметров оценки эффективности внедрения ВИЭ в транспортном секторе. При этом необходимы комплексный подход и системное взаимодействие с энергетической инфраструктурой, а также развитие нормативной базы для достижения необходимого энергетического, экологического и экономического эффекта.

УДК 535.41

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ПРОЦЕССА ИЗЛУЧЕНИЯ
В НЕСТАБИЛИЗИРОВАННОМ ЛАЗЕРЕ

В. Ф. ПОЗДНЯКОВ, Е. В. ПОЗДНЯКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Важной задачей при создании интерферометрических преобразователей является выбор источника оптического когерентного излучения. Это связано в основном с двумя проблемами: обеспечением требуемого диапазона и заданной точности измерений. Определяющими факторами в данном случае являются модовый состав излучения лазера, ширина линии излучения $\Delta\lambda$ и стабильность длины волны λ . Наилучшие результаты могут быть получены при использовании лазерных источников излучения со стабилизированной частотой, в которых обеспечивается генерация на одной аксиальной моде. Положение моды по профилю усиления активной среды фиксируется с помощью специальных схем синхронизации, введенных в резонатор лазера. При этом могут быть созданы источники излучения, у которых $\Delta\lambda$ близка к теоретическому пределу – ширине моды резонатора [1].

Однако стабилизированные лазеры обладают рядом недостатков, которые ограничивают их применение в интерферометрических преобразователях, используемых в качестве первичных в автоматизированных средствах контроля геометрических параметров изделий. Нестабилизированные лазеры имеют точность воспроизведения частоты $(0,5...1) \cdot 10^{-6}$, что обеспечивает относительную точность измерений $1,5 \cdot 10^{-5}$. При этом срок службы и надежность их значительно выше, чем стабилизированных лазеров, и практическое применение экономически выгодно. Однако в этом случае необходим ряд теоретических и экспериментальных исследований для изыскания возможности их применения и обеспечения требуемых метрологических характеристик преобразователя.

Модовый состав «пустого» пассивного резонатора определяется его конфигурацией и геометрическими параметрами. В лазере способны возбуждаться колебания только тех частот, для которых в пределах спектра люминесценции активной среды ее коэффициент усиления превышает уровень потерь. Таким образом, в идеальном лазере возбуждается дискретный ряд частот, расстояния между которыми постоянны и фиксированы [2].

Форма спектра люминесценции газовых лазеров определяется доплеровским взаимодействием движущихся частиц и имеет вид неоднородно уширенной линии, в которой вклад в частоты определяется различными излучающими центрами.

Ширина участка, в пределах которого происходит генерация, определяется значениями формы спектра излучения превышающими уровень суммарных потерь в резонаторе как за счет ввода излучения, так и обусловленных иными факторами (рассеяние, дифракционные явления и др.).

Однако в реальном лазере невозможно реализовать оптимальные условия, поскольку его параметры являются случайными функциями времени. В процессе

работы изменяется длина резонатора, расширяется станина резонатора вследствие измерения температуры, а показатель преломления среды является пространственно неоднородной и частотно-зависимой величиной.

Изменение длины резонатора приводит к непрерывному изменению частоты $\Delta\omega$ в пределах генерации активной среды, при этом число мод периодически изменяется на одну в ту или иную сторону.

Известно, что показатель преломления активной среды в резонаторе лазера является функцией частоты, что также влияет на стабильность излучения.

Таким образом, реальные моды в лазере сдвигаются относительно эквидистантной гребенки пустого резонатора в сторону центральной линии генерации активной среды.

Наиболее широко используемые в настоящее время лазеры, излучающие на длине волны $\lambda = 0,6328$ мкм, имеют ширину доплеровской, однородно уширенной линии ≈ 1500 МГц. Число излучаемых такими лазерами продольных мод существенно различается и может достигать до двадцати и более. В то же время разумным выбором длины резонатора и величины потерь можно добиться того, чтобы одновременно возбуждалось не более двух продольных мод. Теоретически можно обеспечить и одночастотную генерацию, однако при этом резко упадет мощность излучения, поскольку она пропорциональна длине активной среды и возможен срыв генерации. Двухмодовым составом излучения обладают многие «короткие», серийно выпускаемые гелий-неоновые лазеры.

Суммарный уровень потерь и усиление на длине перехода у этих лазеров таковы, что в пределы профиля генерации попадает одновременно не более двух аксиальных мод.

С момента выхода одной из частот за пределы режима генерации устанавливается одночастотный режим. При этом мода проходит определенный частотный интервал, а затем вновь воспроизводится двухмодовая структура при измененных значениях влияющих параметров.

Изменение модовой структуры естественным образом влияет на распределение светового поля вне резонатора. В интерферометрических преобразователях этот процесс выражается в пространственной и временной нестабильности интерференционной картины, в реальном измерительном устройстве к потере информации и ограничивает метрологические характеристики средств измерений.

Однако при небольших диапазонах измерений (до 300 мм), при использовании определенных схемных решений, возможно использование таких лазеров в интерферометрических преобразователях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Реди, Дж.** Промышленное применение лазеров / Дж. Реди. – М. : Мир, 1981. – 638 с.
2. **Тарасов, Л. В.** Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения / Л. В. Тарасов. – М. : Радио и связь, 1981. – 446 с.

УДК 620.178.1

АНАЛИЗ ДОСТИЖИМОЙ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ТОЛЩИНЫ ЦЕМЕНТИРОВАННОГО СЛОЯ СТАЛЕЙ

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

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Высоконагруженные детали бурового инструмента и нагруженных трансмиссий мобильных машин изготавливают из сталей, подвергаемых цементации и закалке. Параметром упрочненного слоя, обеспечивающим его работоспособность, является его эффективная толщина $h_{эф}$ – расстояние от поверхности изделия до зоны с твердостью 50 HRC (СТБ 2307–2013). Точность определения $h_{эф}$ снижают (рис. 1) полосчатость металла и неизбежная погрешность измерения твердости. Повышение количества измерений твердости в указанной зоне не приводит к повышению точности определения $h_{эф}$ (см. рис. 1).

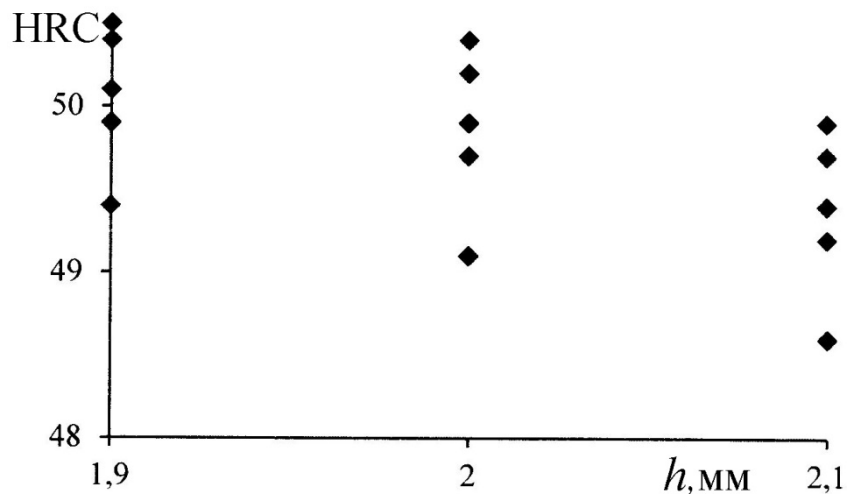


Рис. 1. Распределение твердости HRC по толщине h цементированного слоя экспериментального образца из стали 18ХГТ вблизи области $h_{эф}$

В докладе проведен анализ методов повышения точности определения $h_{эф}$ и сообщается о разработанном способе [1] повышения точности определения $h_{эф}$ металлического изделия. По способу на шлифе на образце-свидетеле, прошедшем обработку одновременно с изделием, перпендикулярно поверхности шлифа на разных расстояниях от его поверхности в окрестности оценочной области $h_{эф}$ делают от 7 до 10 отпечатков от индентора с интервалом около 0,1 мм при заданной постоянной испытательной нагрузке, измеряют диагонали указанных отпечатков и определяют значения твердости металла образца-свидетеля в местах отпечатков, строят зависимость полученных значений твердости от расстояния от поверхности образца-свидетеля, аппроксимируют полученную зависимость полиномом второй степени, после чего по полученной аппроксимации и заданному значению твердости в области толщины поверхностно упрочненного слоя изделия получают квадратное уравнение, из которого определяют искомую толщину $h_{эф}$.

Для решения задачи изобретения использовано положение, что увеличение d при постоянной δ приводит к увеличению достижимого коэффициента $R_{\max}$ корреляции между результатами измерения и истинными значениями физической величины [2]. Поэтому физически верная аппроксимация изменения значений твердости HRC от расстояния h от поверхности позволит получить более точную аппроксимацию зависимости $HRC(h)$ при измерениях в более широком интервале изменения h . На основе полученной аппроксимации будет получено более точное значение параметра $h = h_{\text{эф}}$, при котором HRC равна заданной.

Результаты пересчета измеренных значений микротвердости HV0,5 в значения твердости HRC [3] в практически важном для определения эффективной толщины $h_{\text{эф}}$ цементированного слоя диапазоне изменения значений твердости HRC исследованного образца приведены на рис. 2.

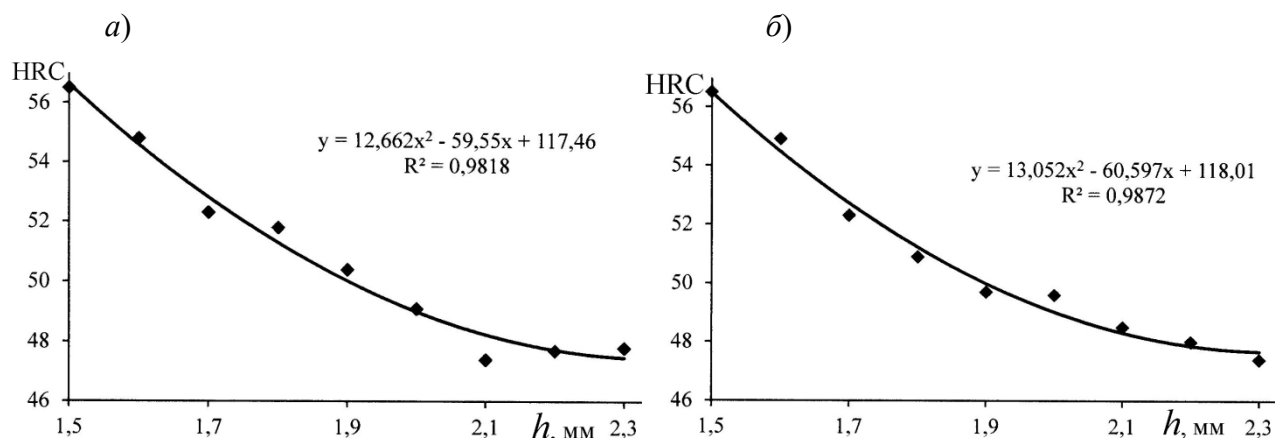


Рис. 2. Результаты независимых измерений (а, б) распределения твердости HRC по толщине h цементированного слоя образца из стали 18ХГТ после закалки (в ближайшей и удаленной окрестности области $h_{\text{эф}}$). Интерполирующие их аналитические зависимости со степенными уравнениями регрессии и коэффициентами R^2 достоверности аппроксимации

Результаты определения значений HRC исследованного образца при каждой величине h могут существенно отличаться для независимых измерений (см. рис. 2, а, б). Но результаты определения $h_{\text{эф}}$ (1,902 и 1,899 мм) (см. рис. 2) по разработанному способу отличаются друг от друга на 0,003 мм. Это на порядок меньше допустимой по СТБ 2307–2013 погрешности 0,02 мм определения $h_{\text{эф}}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 24292, МПК G01N 3/43. Способ определения толщины поверхностно-упрочненного слоя металлического изделия: № а 20230039: заявл. 07.02.2023: опубл. 20.05.2024 / Сандомирский С. Г., Валько А. Л., Руденко С. П.; заявитель Объед. ин-т машиностроения НАН Беларуси. – 5 с.
2. **Сандомирский, С. Г.** Влияние точности измерения и диапазона изменения физической величины на коэффициент корреляции / С. Г. Сандомирский // Измерительная техника. – 2014. – № 10. – С. 13–17.
3. **Сандомирский, С. Г.** Определение эффективной толщины цементированного слоя стали / С. Г. Сандомирский, А. Л. Валько, С. П. Руденко // Измерительная техника. – 2023. – № 7. – С. 68–72.

УДК 620.1

КВАЛИФИКАЦИЯ ПЕРСОНАЛА КАК КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В. С. САФРОНЕНКОВА, Е. А. ДАВЫДОВА
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В Республике Беларусь неразрушающий контроль является критически важным инструментом для оценки состояния материалов, изделий, конструкций без нарушения их целостности. При этом квалификация персонала является основой достоверности результатов неразрушающего контроля. Низкая квалификация специалиста ведет к пропуску критических дефектов и, как следствие, к повышению риска аварий и огромным экономическим потерям.

Несмотря на развитие методов контроля и появление современного оборудования, человеческий фактор остаётся главным звеном в цепочке получения достоверного результата контроля. Специалист выполняет настройку оборудования, проводит измерения и интерпретацию полученных данных. Ошибка на любом из этих этапов может привести к ложному заключению и иметь катастрофические последствия.

Нормативным документом, регламентирующим квалификацию специалистов неразрушающего контроля в Республике Беларусь, является национальный стандарт СТБ ISO 9712–2024 [1], идентичный международному стандарту ISO 9712:2021 и введенный в действие с 1 апреля 2025 г. Стандарт устанавливает требования к квалификации и сертификации персонала, осуществляющего промышленный неразрушающий контроль основными методами.

Стандарт определяет трехуровневую систему квалификации персонала, которая четко устанавливает объем ответственности и необходимые компетенции для каждого уровня.

Уровень 1: квалифицированный специалист, выполняющий операции контроля в соответствии с письменной инструкцией и под наблюдением специалиста 2-го или 3-го уровня.

Уровень 2: квалифицированный специалист, способный проводить контроль самостоятельно, оценивать результаты и составлять отчет по результатам в соответствии с утвержденными методиками.

Уровень 3: квалифицированный специалист, ответственный за разработку методик по контролю, интерпретацию сложных результатов, обучение специалистов 1-го и 2-го уровней.

В Республике Беларусь подтверждение квалификации и компетентности специалиста в выполнении определенных задач по конкретному методу неразрушающего контроля и производственному сектору или сектору продукции проводится аккредитованными органами по сертификации персонала. В области неразрушающего контроля проводится добровольная

сертификация в соответствии с Постановлением Госстандарта от 25 июля 2017 г. № 61 [2]. Специалисту, выполнившему все сертификационные требования, орган по сертификации выдает сертификат компетентности. Сертификат имеет срок действия 3 года, после чего специалист обязан пройти процедуру повторной сертификации, подтверждая актуальность своих знаний и навыков. Подготовку для целей сертификации проводят учебные центры, признанные органом по сертификации и оснащенные современным оборудованием.

Нельзя недооценивать влияние уровня квалификации на безопасность промышленных объектов. Высококвалифицированные специалисты обеспечивают не просто формальное соблюдение норм и регламентов, а глубокое понимание физики процессов, что критически важно для применения передовых методов неразрушающего контроля. Лаборатории некоторых организаций, чьи специалисты сертифицированы по СТБ ISO 9712, успешно применяют на проектах сложнейшие способы ультразвукового контроля (TOFD, PAUT) для контроля критических объектов, заменяя ими традиционный радиографический контроль. Это напрямую повышает безопасность, оперативность и качество диагностики.

Для обеспечения технологической безопасности и конкурентоспособности национальной промышленности требуется системное взаимодействие между образовательными учреждениями, органами по сертификации и промышленными предприятиями. Внедрение методов фазированных решеток (PAUT), дифракционно-временного метода (TOFD), цифровой радиографии и других современных технологий требует постоянного обновления учебных программ и переподготовки действующих специалистов.

Только комплексный подход, ставящий квалификацию специалиста в центр системы обеспечения качества и безопасности, позволит гарантировать надёжную и безаварийную эксплуатацию промышленных объектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля: СТБ ISO 9712–2024. – Введ. 01.04.2025. – Мн.: Госстандарт: Бел. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2024. – 40 с.
2. Об утверждении Правил подтверждения соответствия Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь: постановление Госстандарта от 25 июля 2017 г. № 61 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=W21732456> (дата обращения: 25.11.2025).

УДК 620.179

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОГО ПОСТРОЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ВИБРАЦИЙ

С. С. СЕРГЕЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Из общего числа измеряемых величин в машиностроении, судостроении, авиастроении существенная доля принадлежит параметрам механических колебаний и вибраций, которые представляют интерес при исследовании и анализе деформаций или относительных смещений объектов.

При совершенствовании методов и средств виброизмерительной техники требуется решить задачу по изысканию более эффективных явлений и процессов обработки и передачи первичной информации о параметрах вибраций. Информационные, метрологические и эксплуатационные характеристики таких средств определяются принципами их структурного построения, т. к. алгоритмы и программы обработки информации чаще всего являются типовыми.

В практике измерений линейных и угловых вибраций и перемещений широкое применение находит оптическая форма представления информации. Использование для восприятия, передачи и обработки измерительной информации элементов волоконной оптики позволяет создать быстродействующую и помехозащищенную технику. Огромный ассортимент волоконных элементов обеспечивает широкую вариацию структурного и конструктивного исполнения преобразователей информации.

В работе рассматриваются принципы построения различных измерительных устройств для контроля линейных перемещений и вибраций, в основе которых лежит пространственная модуляция оптического излучения при переходе потоков через стыки торцов сопряженных световодов со смещенными осями.

Структурно преобразователи перемещений представляют собой совокупность источника света с излучающим световодом и системы приемных и передающих регулярных световодов различной конфигурации. Применение системы передающих световодов позволяет увеличить оптический ход луча, что дает возможность увеличить воздействие измеряемого перемещения на траекторию движения луча. Построение преобразователей с чередующимися подвижными и неподвижными элементами позволяет накапливать смещение хода луча, образуемое при переходе его через стык торцов световодов.

В работе рассмотрены особенности структурного построения и метрологические характеристики преобразователей указанного типа, а также области их практического применения. Приведены математические модели и особенности конструкций преобразователей.

УДК 535.51

МНОГОУГЛОВАЯ МОНОХРОМАТИЧЕСКАЯ ЭЛЛИПСОМЕТРИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ДИОКСИДНЫХ СЛОЕВ НА КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИНАХ КДБ-12

Н. И. СТАСЬКОВ¹, С. О. ПАРАШКОВ², А. Н. ПЕТЛИЦКИЙ³,
В. А. ПИЛИПЕНКО³, С. А. МЕЛЬНИКОВ³, Д. В. ШЕСТОВСКИЙ³

¹Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова

²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

³ГЦ «Белмикроанализ», ОАО «Интеграл»

Минск, Беларусь

Ультратонкие ($d_f \approx 0,01\lambda$) диоксидные (SiO_2) пленки на кристаллическом кремнии КДБ-12 представляют интерес для современной микроэлектроники. Такие структуры, полученные при температуре выше 1000°C , по данным оптической спектроскопии, имеют переходный слой (d_2) на границе раздела «пленка – подложка», слой диоксида кремния (d_f) и очень тонкий поверхностный слой на границе раздела «пленка – воздух» ($d_1 \approx 0$) [1]. Рост пленки SiO_2 при термическом отжиге пластины происходит из-за окисления кремния. При этом происходит рекристаллизация кремния. Для определения характеристик пленок SiO_2 использовали монохроматическую многоугловую ($60^\circ \leq \theta \leq 76^\circ$) эллипсометрию (ЛЭФ-3М-1) на длине волны $\lambda = 632,8\text{ нм}$ и установку ВИМС TOF.SIMS-5. Ранее было показано [2], что толщины переходных слоев, которые окружают ультратонкие пленки SiO_2 , изменяются в небольших пределах. Известно, что численное решение обратных задач эллипсометрии упрощается, если заранее определены n_s и k_s подложки, найдены области определяемых параметров слоев и пленки и их начальные приближения. Для решения обратной задачи эллипсометрии используем двухслойную модель наложке КДБ-12 с известными характеристиками [3]. Переходный слой d_2 учтем с помощью модели эффективной среды Бруггемана

$$\sum (f_i (\varepsilon_i - \varepsilon_{\text{eff}}) (\varepsilon_i - 2\varepsilon_{\text{eff}})^{-1}) = 0,$$

где f_i и ε_i – доля и значение диэлектрической проницаемости i -го компонента слоя; ε_{eff} – эффективное значение его диэлектрической проницаемости. Безразмерные параметры f_i в случае $i=1,2$ для слоя «пленка – подложка» (SiO_2 f_1 , $\varepsilon_1 = 2,123$ и КДБ-12 f_2 , $\varepsilon_2 = 14,937 - i0,255$) удовлетворяют условию $f_1 + f_2 = 1$ и тем самым могут косвенно характеризовать изменение плотности материала переходного слоя. Выбранная модель отражающей структуры «пленка – переходный слой – подложка» характеризуется тремя неизвестными параметрами f_i , d_f и d_2 , величины которых ограничены определенными пределами. Алгоритм решения указанной задачи построен с учетом экспериментальной погрешности измерения углов θ , ψ и Δ , равной 8 угл. мин.

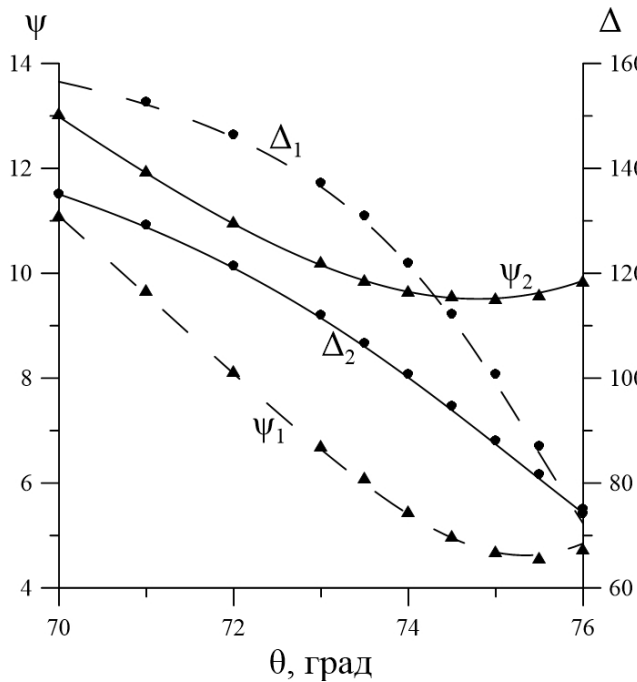


Рис. 1. Эллипсометрические углы пленок SiO₂ на пластине КДБ-12

В данном докладе представлены результаты решения обратных задач (рис. 1) брестерской монохроматической эллипсометрии ($70^\circ \leq \theta \leq 76^\circ$) для двух образцов, полученных при меньшем (образец 1) и большем (образец 2) времени отжига [2]. Для чистой подложки ($n_s = 3,865$ и $k_s = 0,033$) главный угол падения совпадает с псевдобрестерским углом ($75,494^\circ$). Для образцов 1 и 2 эти углы сдвинуты в область меньших углов на величину $d\theta = \arctan n_s - \theta_{\min}$ [4], которая позволяет судить об увеличении толщины пленки SiO₂ от 9,86 до 17,77 нм с увеличением времени отжига пластин КДБ-12 (табл. 1).

Табл. 1. Параметры пленок SiO₂ при отжиге пластин КДБ-12

Образец	d_f , нм	d_2 , нм	f_2	$d\theta^\circ$
1	6,82	3,04	0,85	0,035
2	12,26	5,51	0,42	0,167

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «1.15 Фотоника и электроника для инноваций».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Стаськов, Н. И.** Трехкомпонентная модель эффективной среды для определения состава слоев на кремниевых пластинах / Н. И. Стаськов, Л. И. Сотская // ЖПС. – 2017. – Т. 84, № 5. – С. 703–709.
2. **Понкратов, Д. В.** Монохроматическая эллипсометрия оксидных слоев на кремниевых пластинах, сформированных быстрым термическим отжигом / Д. В. Понкратов, В. А. Пилипенко, Н. И. Стаськов // Квантовая электроника: материалы XV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18–20 нояб. 2025 г. – Мн.: Бел. гос. ун-т, 2025. – С. 301–305.
3. **Стаськов, Н. И.** Оптические характеристики легированных бором кремниевых пластин после быстрого термического отжига / Н. И. Стаськов, А. А. Сергейчик, А. Б. Сотский // Оптика и спектроскопия. – 2025. – Т. 133, вып. 8. – С. 874–880.
4. **Ильина, С. Г.** Определение параметров поверхностного слоя чистых жидкостей по данным эллипсометрии / С. Г. Ильина, Е. А. Алексеева // ВМУ. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2016. – № 2. – С. 68–73.

УДК 620.179.14

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ДЕФЕКТОВ В ОБЪЕКТАХ БЕЗ ВЫПУКЛОСТИ ШВА
МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ

А. М. ЧУДЕНКОВ, В. А. НОВИКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Проанализируем свойства магнитных полей рассеяния дефектов сплошности, возникающих вблизи поверхности намагниченного ферромагнитного объекта. Для измерений использованы преобразователи Холла с чувствительным элементом, площадь которого была меньше 1 мм^2 . Эксперименты выполнены на образцах из стали Ст3 с дефектами в форме параллелепипеда, плоскости которых перпендикулярны поверхности образца и имели протяженность не менее 30 мм. Тангенциальную (горизонтальную) составляющую поля рассеяния дефекта H_{xd} находили как разность суммарного и внешнего магнитного поля в конкретной точке вблизи поверхности объекта.

1. Свойства магнитных полей рассеяния дефектов, находящихся на наружной поверхности по отношению к магнитному преобразователю.

Экспериментально установлено, что H_{xd} поля рассеяния протяженного дефекта может достигать от единиц до нескольких сотен А/см. На ее величину влияют глубина дефекта, режим намагничивания, расстояние от преобразователя до поверхности образца, магнитные свойства его материала [1, 2]. С ростом напряженности H_0 внешнего поля H_{xd} увеличивается [1, 3].

Если раскрытие дефекта больше 0,2 мм, то H_{xd} возрастает линейно с увеличением H_0 . Если же его ширина меньше 0,02 мм, то H_{xd} монотонно возрастает до $H_0 = 40 \dots 60 \text{ А/см}$, а затем остается постоянной [1, 3]. График зависимости H_{xd} от глубины дефекта имеет линейный вид [1, 3].

H_{xd} дефекта быстро убывает при удалении от поверхности объекта, причем чем меньше раскрытие дефекта, тем быстрее [4, 5].

Если вектор напряженности внешнего поля направлен под углом к продольной оси дефекта, то максимальная напряженность поля дефекта будет находиться в плоскости, перпендикулярной его оси [6].

2. Свойства магнитных полей рассеяния внутренних дефектов.

В процессе исследований дефекты имели вид цилиндрических отверстий, продольные оси которых параллельны поверхности образца.

При возрастании напряженности намагничивающего поля H_0 , направленного перпендикулярно продольной оси отверстия, поле внутренней несплошности появляется только после достижения некоторого значения H_0 , тем большего, чем больше расстояние до дефекта.

На образцах в форме параллелепипеда с цилиндрическими отверстиями, расположенными на различной глубине, установлено, что если H_0 не превышает нескольких А/см, то H_{xd} изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния до оси отверстия, а при больших значениях напряженности поля –

обратно пропорционально этому расстоянию [7, 8]. Магнитные поля рассеяния крупных дефектов практически не зависят от их конфигурации, если площади поперечных сечений одинаковые. Расстояния между экстремальными значениями нормальной составляющей напряженности поля цилиндрических дефектов разного диаметра, находящихся на одинаковой глубине, равны [8]. Это позволяет по результатам измерения двух составляющих напряженности поля дефекта или используя промежуточный носитель информации, чувствительный к тангенциальной и нормальной составляющей поля, определять величину дефекта независимо от расстояния до него.

Наружная относительно преобразователя стенка образца ослабляет, а внутренняя усиливает поле дефекта, если дефект находится на небольшом расстоянии от них [9].

3. Дефекты внутренней поверхности.

Свойства магнитных полей рассеяния дефектов внутренней поверхности аналогичны свойствам магнитных полей рассеяния внутренних дефектов [6–9].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зацепин, Н. Н.** К расчету магнитостатического поля поверхностных дефектов. Экспериментальная проверка основных расчетных закономерностей / Н. Н. Зацепин, В. Е. Щербинин // Дефектоскопия. – 1966. – № 5. – С. 59–65.
2. **Зацепин, Н. Н.** О некоторых особенностях топографии магнитного поля рассеяния поверхностных дефектов в ферромагнитных телах / Н. Н. Зацепин, В. Е. Щербинин // Неразрушающие методы контроля материалов и изделий. – М.: ОНТИПРИБОР, 1964. – С. 271–274.
3. **Сапожников, А. Б.** Исследование магнитных полей рассеяния от искусственных открытых дефектов / А. Б. Сапожников, П. Н. Большаков // Тр. СФТИ. – 1947. – С. 245–254.
4. **Новикова, И. А.** Экспериментальные исследования магнитостатических полей рассеяния от поверхностных дефектов / И. А. Новикова // Тр. СФТИ. – 1976. – С. 61–66.
5. **Новикова, И. А.** Исследование полей искусственных открытых дефектов в однородном постоянном магнитном поле / И. А. Новикова, Н. В. Мирошин // Дефектоскопия. – 1973. – № 4. – С. 95–101.
6. **Кашуба, Л. А.** Исследование воспроизведения и записи полей рассеяния от дефектов разной ориентации при магнитографической дефектоскопии / Л. А. Кашуба // Исследования по физике металлов и неразрушающим методам контроля. – Мн. : Наука и техника, 1968. – С. 133–141.
7. **Щербинин, В. Е.** Поля дефектов на внутренней и наружной поверхности трубы при циркулярном намагничивании / В. Е. Щербинин, А. И. Пашагин // Дефектоскопия. – 1972. – № 2. – С. 11–17.
8. **Ильющенко, Л. Ф.** Исследование магнитных полей рассеяния, образуемых дефектами цилиндрической формы / Л. Ф. Ильющенко // Тр. ФТИ АН БССР. – 1954. – № 1. – С. 171.
9. **Щербинин, В. Е.** Влияние границ изделия на величину поля дефекта / В. Е. Щербинин, А. И. Пашагин // Дефектоскопия. – 1976. – № 2. – С. 85–89.

УДК 620.179.14

МАГНИТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТОЛЩИНОМЕТРИЯ НЕМАГНИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕФОРМИРОВАННОМ И ОТОЖЖЕННОМ НИКЕЛЕ

В. И. ШАРАНДО, И. Е. ЗАГОРСКИЙ, А. А. ПОЛОНЕВИЧ

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

В [1] нами показано, что исследования по толщинометрии гальванических никелевых покрытий на немагнитных основаниях можно вести с помощью магнитодинамического метода контроля на близких по магнитным свойствам гальваническому никелю пластинках деформированного до 33 %, а также отожженного электролитического никеля. Сигнал толщиномера МТЦ-3 [2] регистрировал изменение магнитного потока в индукционной катушке, охватывающей сопряженный со стержневым магнитом из NdFeB с энергией 45 мДж железный наконечник, при его соприкосновении с никелевыми образцами разных толщин. Измеритель остаточной намагниченности ИОН-4 [2], содержащий устанавливаемую на никелевый образец катушку без магнита, фиксировал поток индукции от магнитного пятна, оставленного указанным толщиномером.

В данной работе изучена возможность контроля с помощью приборов МТЦ-3 (магнит с энергией 30 мДж) и ИОН-4 толщин наносимых в ряде случаев на поверхность никеля защитных и упрочняющих немагнитных покрытий. Исследования проводились на образцах, использовавшихся в [1]: отожженные пластинки различной толщины из электролитического никеля были прокатаны до 33 %, затем отрезанные от них части снова отожжены при 700 °С в течение 1 ч. В качестве немагнитных покрытий использованы полимерные пленки.

Зависимость сигналов прибора МТЦ-3, в условных единицах, от толщины немагнитных покрытий на образцах деформированного до 33 % и отожженного никеля толщиной 220, 500, 730 и 1070 мкм представлена на рис. 1.

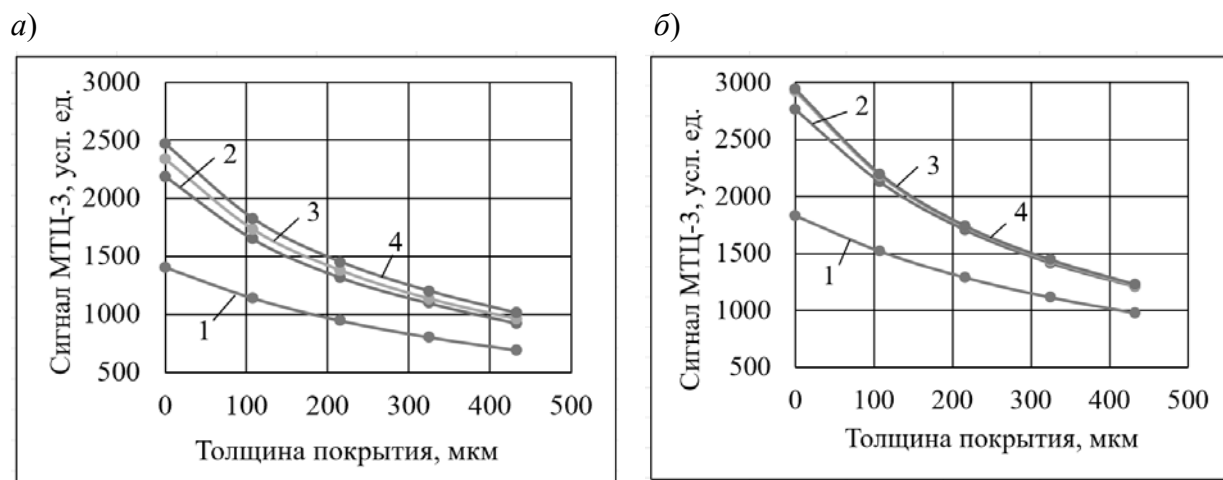


Рис. 1. Зависимость сигналов прибора ИОН-4 от толщины немагнитных покрытий на образцах деформированного до 33 % (а) и отожженного (б) никеля толщиной: 1 – 220 мкм; 2 – 500 мкм; 3 – 730 мкм; 4 – 1070 мкм

Прибор МТЦ-3 показывает для каждой из рассмотренных толщин как деформированных, так и отожженных образцов никеля плавные, однозначные зависимости от толщины накладываемых полимерных пленок. С ростом их толщины магнитный поток в сердечнике толщиномера понижается вследствие его отдаления от ферромагнетика. В целом, сигналы более высоки при отожженном никеле и для больших его толщин (кривые 3 и 4) практически совпадают. При выполненном замере толщины никелевого слоя после его нанесения всегда может быть выбрана соответствующая градуировка для контроля нанесенного в дальнейшем немагнитного покрытия.

Зависимость сигналов прибора ИОН-4, в условных единицах, от толщины немагнитных покрытий на образцах деформированного до 33 % и отожженного никеля толщиной 220, 500, 730 и 1070 мкм представлена на рис. 2.

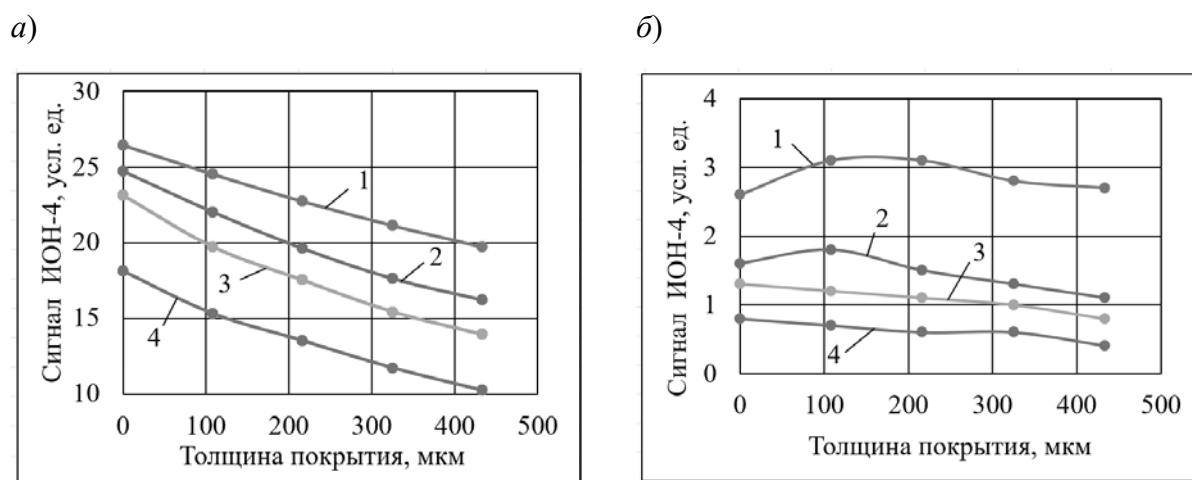


Рис. 2. Зависимость сигналов прибора ИОН-4 от толщины немагнитных покрытий на образцах деформированного до 33 % (а) и отожженного (б) никеля толщиной: 1 – 220 мкм; 2 – 500 мкм; 3 – 730 мкм; 4 – 1070 мкм

Согласно рис. 2, а, измеряемая прибором ИОН-4 остаточная намагниченность уменьшается с ростом толщины накладываемых пленок при всех исследованных толщинах деформированного никеля. Сигналы на отожженных образцах (см. рис. 2, б) показывают такую же тенденцию, однако оказываются близкими к нулевым и к порогу чувствительности прибора вследствие крайне низкой коэрцитивной силы. Это позволяет при толщинометрии использовать данные ИОН-4 в качестве основных либо корректирующих в плане оценки структурного состояния никелевого покрытия в случаях его термообработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарандо, В. И. Магнитодинамическая толщинометрия никелевых слоев и покрытий / В. И. Шарандо, А. В. Чернышев, А. А. Полоневич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 апр. 2024 г. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2024. – С. 325–326.
2. Разработки лаборатории металлофизики ИПФ АН Беларуси в области неразрушающего контроля. – URL: <http://iaph.bas-net.by/lab1/products/> (дата обращения: 13.01.2026).

УДК 620.179.14

МАГНИТОДИНАМИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТОЛЩИНОМЕТРИЯ СЛОЕВ СПЛАВА КОВАР

В. И. ШАРАНДО, А. В. ЧЕРНЫШЕВ

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Ленты из прецизионного ферромагнитного сплава ковар (29НК), выпускаемые промышленностью согласно ГОСТ 10994–74 и ГОСТ 14080–78, используются в радиоэлектронике, в частности, для изготовления корпусов микросхем. В данной работе рассматривается возможность контроля их толщины с помощью магнитодинамических и электромагнитных методов. Ранее [1, 2] подобные исследования были проведены нами в области толщинометрии электролитического и гальванического никеля, аустенитной стали 12Х18Н10Т. Измерялся сигнал магнитодинамического толщиномера МТЦ-3-2 [3], регистрировавшего изменения магнитного потока в индукционной катушке, охватывающей сопряжённый со стержневым магнитом железный наконечник, при его соприкосновении с ферромагнитным изделием. Измерителем остаточной намагниченности ИОН-4 [3], использующим устанавливаемую на изделие катушку без магнита, определялся поток индукции от магнитного пятна, оставленного преобразователем указанного толщиномера. Измерялись также амплитуды вносимой ЭДС вихретокового преобразователя [4] и сигналы прибора ПКТ-2 [5].

В данной работе также применены указанные приборы, а в качестве образцов использованы разнотолщинные пакеты из пластинок, нарезанных из лент ковара 29НК-Т-0 толщиной 90, 135 и 187 мкм и шириной 22 мм.

Зависимости сигналов приборов МТЦ-3-2 и ИОН-4, в условных единицах, от толщины образцов сплава ковар представлены на рис. 1.

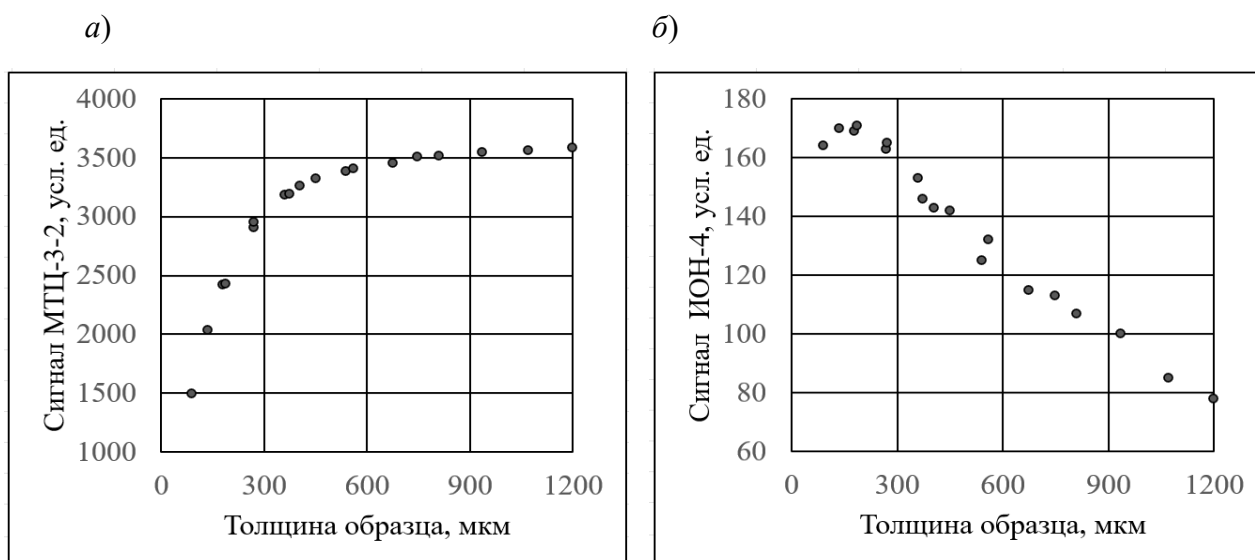


Рис. 1. Зависимости показаний приборов МТЦ-3-2 (а) и ИОН-4 (б) от толщины образцов сплава ковар

Зависимости амплитуды вносимой ЭДС (в катушке поля возбуждения ток синусоидальной формы частотой 2,0 кГц) и сигналов прибора ПКТ-2, в условных единицах, от толщины образцов сплава ковар представлены на рис. 2.

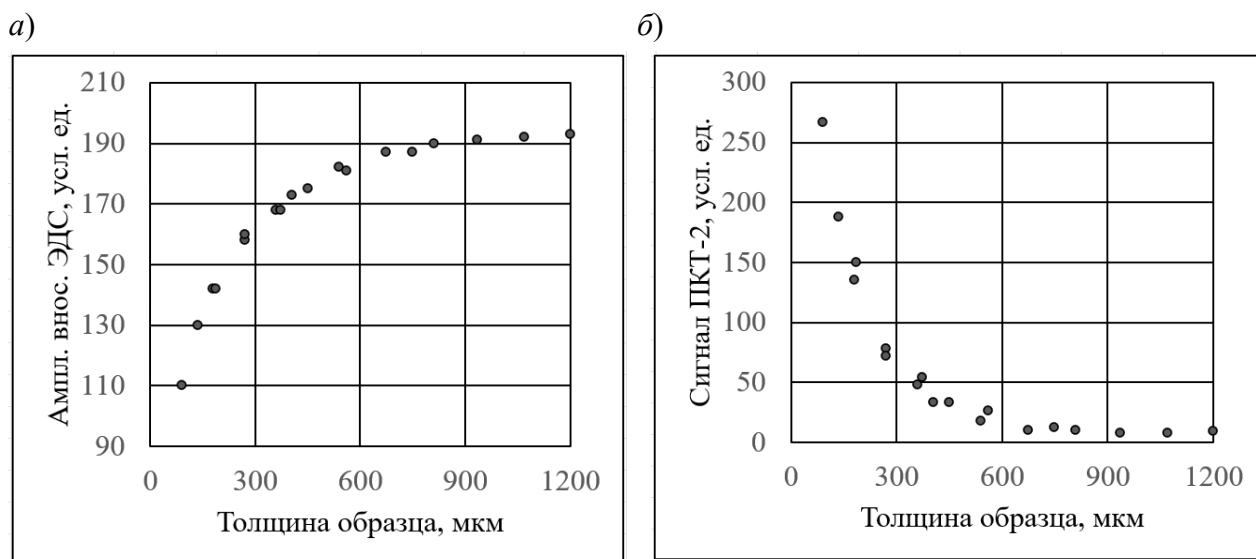


Рис. 2. Зависимости амплитуды вносимой ЭДС (а) и сигналов прибора ПКТ-2 (б) от толщины образцов сплава ковар

Из рисунков следует, что использованные приборы показывают в основной части диапазона толщин ковара однозначные зависимости. При этом сигналы толщиномера МТЦ-3-2 и вихретокового прибора демонстрируют высокую чувствительность и практически не зависят от особенностей изготовления на разных предприятиях образцов ленты, что позволяет применять их при промышленной толщинометрии. Сигналы приборов ИОН-4 и ПКТ-2 характеризуются несколько большими разбросами; связь получаемых в этих измерениях данных с коэрцитивной силой контролируемого материала определяет возможность дальнейших, аналогичных [1, 2], исследований по оценкам структурного состояния ковара при создании в нём напряжений в результате прокаток и штамповок из указанных лент радиотехнических изделий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарандо, В. И. Магнитодинамическая и электромагнитная толщинометрия деформированных и отожженных никелевых покрытий / В. И. Шарандо, А. В. Чернышев, Н. В. Кременькова // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2021. – № 4. – С. 26–31.
2. Шарандо, В. И. Применение магнитодинамического и электромагнитных методов контроля при изучении процессов деформации стали 12Х18Н10Т / В. И. Шарандо, А. В. Чернышев, Н. В. Кременькова // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2022. – № 1. – С. 32–37.
3. Разработки лаборатории металлофизики ИПФ АН Беларуси в области неразрушающего контроля. – URL: <http://iaph.bas-net.by/lab1/products/> (дата обращения: 15.01.2026).
4. Дорофеев, А. Л. Индукционная структуроскопия / А. Л. Дорофеев. – М. : Энергия, 1973. – 176 с.
5. Гусак, Н. О. Прибор для контроля твердости ПКТ-2 / Н. О. Гусак, А. В. Чернышев, В. Л. Цукерман // Дефектоскопия. – 1991. – № 10. – С. 92.

УДК 621.3

ТРЕХУРОВНЕВЫЙ ИСТОЧНИК НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ИНВЕРТОРОВ С РЕГУЛИРУЕМЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Н. К. БОБКОВ, А. С. КОВАЛЬ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В связи с ростом мощностей электроприводов в настоящее время растет интерес к использованию двигателей переменного тока с номинальными напряжениями, превышающими 400 В. Особенно это актуально для электроприводов, используемых в электромобилях. Соответственно растут и требования к инверторам напряжения, используемым в преобразователях частоты, обеспечивающих работу двигателя при существенно повышенных напряжениях. При ограниченных значениях питающего напряжения промышленной сети и напряжениях аккумуляторных источников питания в электромобилях обеспечить требуемые значения напряжения возможно при использовании многоуровневых источников питания, формирующих регулируемое напряжение на шине постоянного тока в преобразователях частоты, а также повышающих преобразователей постоянного напряжения DC/DC, используемых с этой же целью. Аналогичная задача, связанная с получением регулируемого и повышенного напряжения, возникает в стационарных зарядных устройствах для подзарядки источников питания в электромобилях. Наиболее просто решается она также применением многоуровневых источников питания [1]. Несмотря на усложнение силовой схемы таких источников питания, они обладают существенными достоинствами, связанными в первую очередь с возможностью использования силовых транзисторов на значительно меньшие рабочие напряжения. В докладе рассматривается трехуровневый источник напряжения, обеспечивающий напряжение на шине постоянного тока до 900 В. Анализируются основные режимы работы схемы в зависимости от скважности работы силовых транзисторов. Предложены математические модели работы силовой схемы для основных режимов работы. Выполнено моделирование работы трехуровневого повышающего источника питания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анучин, А. С. Системы управления электроприводами / А. С. Анучин. – М. : МЭИ, 2015. – 373 с.

УДК 621.314

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА

И. Л. ГРОМЫКО, В. Н. ГАЛУШКО

Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

В работе представлено программное обеспечение для обнаружения неисправностей трансформаторов на основе амплитудно-частотных (импедансных) $Z(\omega)$ и фазочастотных $\varphi(\omega)$ характеристик для определения дефектных состояний с помощью сверточных нейронных сетей. Данное программное обеспечение основано на методе, который является продолжением методики, описанной в [1]. Неисправности создавались искусственно путем вмешательства в обмотки, выводы которых припаивались к проводникам, изолировались и выводились на внешнюю часть бака для управления и моделирования различных дефектов.

С помощью метода трех вольтметров (использовались мультиметры В7-68 и задающий генератор ГЗ-112) рассчитывались модуль и аргумент комплексного сопротивления в режиме холостого хода в диапазоне от 0 до 100 кГц. В основе способа обнаружения дефектов лежит сравнение частотных характеристик с бездефектным состоянием с помощью сверточных нейронных сетей LeNet.

В ходе тестирования программного обеспечения анализировались частотные характеристики для следующих дефектных состояний трехфазного трансформатора ТМ-50/6 с эмалевой изоляцией обмоток:

- бездефектное состояние трансформатора (рис. 1);
- межвитковое короткое замыкание первичной обмотки (рис. 2, а);
- межфазное короткое замыкание обмоток (рис. 2, б).

По характеру изменений на частотных характеристиках распознаются дефекты трансформатора. Полученные экспериментальные данные для различных дефектов трансформаторов с обмоткой, имеющей эмалевую изоляцию, позволяют на основе частотного анализа выявлять их путем сравнения с бездефектным состоянием обмоток.

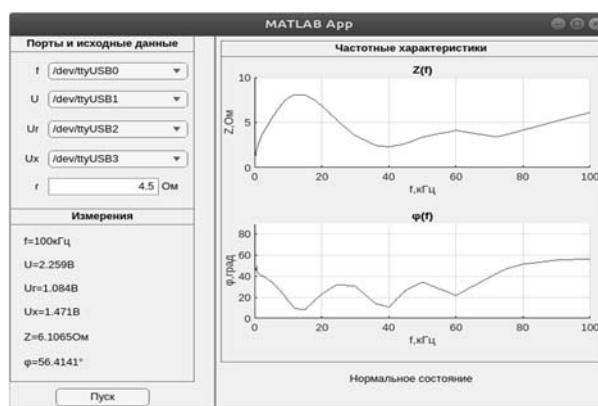
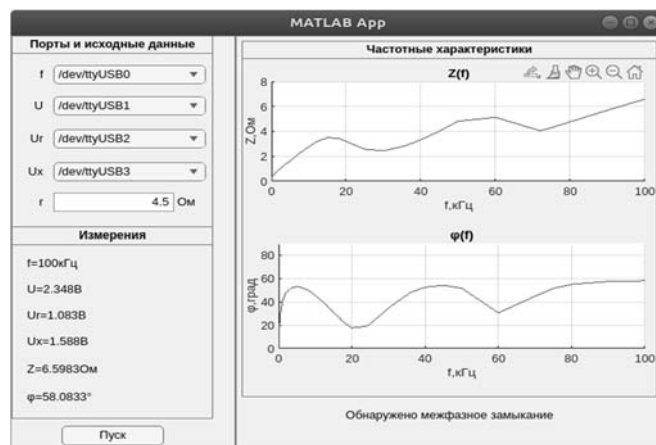


Рис. 1. Результаты работы программного комплекса обнаружения дефектов трансформатора для бездефектного состояния трансформатора

а)



б)

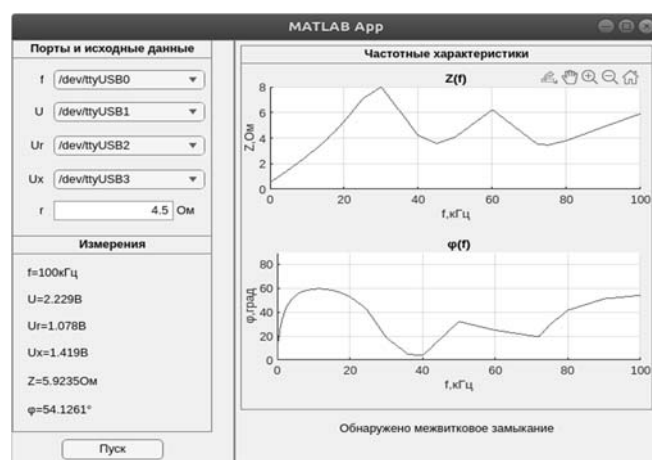


Рис. 2. Результаты работы программного комплекса обнаружения дефектов трансформатора: а – при межвитковом коротком замыкании; б – при межфазном коротком замыкании

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громыко, И. Л. Метод неразрушающего контроля состояния однофазных и трехфазных трансформаторов на основе частотных характеристик / И. Л. Громыко, В. Н. Галушко // Приборы и методы измерений. – 2025. – Т. 16, № 2. – С. 158–167.

УДК 621.311.42

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

А. М. ИГНАТЧЕНКО, Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Современное развитие электроэнергетической отрасли тесно связано с внедрением цифровых решений, направленных на повышение надежности функционирования энергосистем, оптимизацию затрат на эксплуатацию оборудования и совершенствование процессов управления энергетическими объектами. Одним из наиболее перспективных направлений цифровой трансформации является использование концепции цифровых двойников трансформаторных подстанций, позволяющей обеспечить комплексный контроль состояния оборудования и повысить обоснованность принимаемых эксплуатационных решений.

Трансформаторные подстанции относятся к числу сложных технических комплексов, в состав которых входят силовые трансформаторы, распределительные устройства различного уровня напряжения, коммутационные аппараты, а также системы релейной защиты и автоматики. В процессе длительной эксплуатации элементы подстанции подвергаются воздействию электрических перегрузок, тепловых режимов и механических факторов, что обуславливает необходимость постоянного мониторинга их состояния и своевременного обнаружения возможных дефектов.

Применение технологий цифровых двойников обеспечивает возможность удалённого наблюдения за режимами работы оборудования, проведения анализа эксплуатационных параметров, выявления отклонений от нормативных режимов функционирования и предупреждения потенциально аварийных ситуаций.

Использование цифровых инструментов способствует повышению надежности силовых трансформаторов, сокращению времени простоев, совершенствованию процессов технического обслуживания и ремонта оборудования.

УДК 621.3

АЛГОРИТМЫ ПЛАВНОГО ЧАСТОТНОГО ПУСКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ
НА БАЗЕ МАТРИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

О. А. КАПИТОНОВ, А. С. ТРЕТЬЯКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Общей проблемой известных схем силовой части матричных преобразователей и алгоритмов управления их силовыми транзисторами является более низкий уровень выходного напряжения преобразователя по сравнению со входным. Максимальное значение выходного напряжения, при котором данные преобразователи могут обеспечить отсутствие низких гармонических составляющих в выходном напряжении при любом значении выходной частоты, составляет 0,866 от входного напряжения. Несмотря на то, что алгоритмы пространственно-векторной модуляции позволяют получить более высокое максимальное выходное напряжение, выше 1,0 от входного, при данных режимах работы искажается форма выходного напряжения, а также амплитуда первой гармоники выходного напряжения пульсирует с частотой, определяемой разностью частоты питающей сети и частоты выходного напряжения. Такой режим работы матричного преобразователя частоты известен как режим избыточной модуляции. Проведенные исследования показали, что работа матричного преобразователя частоты в этом режиме приводит к колебаниям электромагнитного момента электродвигателя, а следовательно, к возникновению вибраций и колебаниям скорости вращения ротора электродвигателя. Наличие этих явлений нежелательно для обеспечения задачи плавного пуска электропривода. Для решения указанных проблем были предложены алгоритмы управления напряжением и частотой матричного преобразователя в процессе плавного частотного пуска, уменьшающие либо исключаящие возникновение колебаний электромагнитного момента.

Первый из предлагаемых алгоритмов заключается в компенсации эффекта, возникающего вследствие колебания амплитуды первой гармоники выходного напряжения преобразователя в режиме избыточной модуляции, путем изменения заданной частоты выходного напряжения. При этом в задание частоты дополнительно вводится отклонение, пропорциональное отклонению фактического выходного напряжения от необходимого в данный момент времени либо пропорциональное квадрату отклонения напряжения. Коэффициент пропорциональности должен быть подобран по критерию минимизации колебаний момента электродвигателя.

Работа второго из предлагаемых алгоритмов заключается в том, что этап плавного частотного пуска разбивается на два интервала. На протяжении первого интервала частота возрастает до номинального значения 50 Гц, выходное напряжение преобразователя частоты возрастает до 0,866 от номинального напряжения. Это обеспечивает работу матричного преобразователя частоты без искажения формы выходного напряжения (без режима избыточной модуляции). На протяжении второго интервала частота остается номинальной, равной 50 Гц, напряжение плавно повышается от 0,866 до 1,0 от номинального значения. При этом также

не происходит искажения формы выходного напряжения, т. к. матричный преобразователь работает в режиме, синхронизированном с питающей сетью, и регулирует только напряжение на этом интервале. Процесс пуска заканчивается после достижения матричным преобразователем частоты номинальных значений выходного напряжения и частоты.

Третий предлагаемый алгоритм плавного частотного пуска является усложненным вариантом второго. При реализации данного алгоритма процесс пуска разбивается на три этапа. На первом этапе осуществляется повышение выходного напряжения и частоты до значения 0,866 от номинальных. При этом матричный преобразователь частоты работает в режиме нормальной модуляции.

На втором этапе осуществляется быстрое повышение частоты до номинального значения 50 Гц и одновременно с этим с целью недопущения резкого роста электромагнитного момента при быстром повышении частоты снижается выходное напряжение до заданного настройкой уровня. В конце второго этапа матричный преобразователь частоты переходит в режим работы, синхронизированный с питающей сетью. Поскольку выходное напряжение на протяжении второго этапа не превышает 0,866 от номинального, преобразователь частоты работает также в режиме нормальной модуляции. На третьем этапе происходит плавное повышение напряжения до номинального уровня при неизменной номинальной частоте 50 Гц. На данном этапе матричный преобразователь работает в режиме, синхронизированном с питающей сетью, поэтому не происходит искажения формы выходного напряжения.

Преимуществом первого алгоритма является отсутствие этапов, на которых электродвигатель работает с повышенным скольжением, а недостатком – искажение формы выходного напряжения и входного тока матричного преобразователя в конце процесса пуска. Второй алгоритм обеспечивает пуск без искажения формы выходного напряжения и входного тока, но предполагает работу электродвигателя при пониженном напряжении (относительно определяемого выбранным законом частотного регулирования) на протяжении практически всего процесса пуска. Третий алгоритм осуществляет снижение напряжения на электродвигателе относительно определяемого законом частотного регулирования только на последнем, относительно коротком этапе пуска, но переход между первым и вторым этапами этого алгоритма сопряжен с трудно устранимым скачком электромагнитного момента.

Предлагаемые алгоритмы частотного пуска могут быть применены для обеспечения плавного частотного пуска электроприводов по системе «матричный преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» с выходом в конце процесса пуска на напряжение и частоту, равные таковым в питающей сети. Это позволяет, благодаря отсутствию у матричного преобразователя частоты внутренних накопителей энергии, осуществить байпасирование матричного преобразователя после завершения процесса пуска, по аналогии с широко применяемым байпасированием тиристорных устройств плавного пуска.

УДК 338.912.13

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО МАРЖИНАЛЬНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

В. М. КОВАЛЬЧУК, Ю. Д. СТОЛЯРОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Произведем оценку эффективности использования электроэнергии на государственной зеркальной фабрике в г. Бобруйске с помощью маржинального подхода [1] в ценах 2000-х гг.

Производственная информация об объемах выпускаемой продукции и потребляемой в течение календарного года электроэнергии представлена в табл. 1.

Табл. 1. Исходные данные

Месяц	Электроэнергия, тыс. кВт·ч	Валовой выпуск, млн р.
Январь	27,185	47,59
Февраль	29,683	48,89
Март	43,872	65,66
Апрель	40,856	60,196
Май	52,28	62,514
Июнь	40,583	57,602
Июль	42,236	72,749
Август	42,3	87,382
Сентябрь	43,364	83,412
Октябрь	51,817	89,736
Ноябрь	40,1	70,591
Декабрь	37,258	97,263

Средняя цена электроэнергии p_x составляет 0,162 тыс. р. за 1 кВт·ч, плановая доля затрат электроэнергии в цене продукции DX – 10,7 %.

Поскольку в исходных данных объем выпуска продукции выражен в денежном эквиваленте и содержит в себе уже цену продукции, то оптимальный удельный расход электроэнергии, согласно [1], будет равен:

$$\rho_{\text{опт}} = \frac{D_x}{p_x} = \frac{0,107}{0,162} = 0,661 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{тыс. р.}$$

Рассчитаем максимальные и минимальные значения наблюдаемых удельных расходов электроэнергии от объема выпуска продукции:

$$\rho_{\max} = \frac{m_x}{q} + r_{xq} \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_q} \cdot \left(1 - \frac{m_q}{q}\right) + \frac{1}{q} \cdot \beta \cdot \sigma_x \cdot \sqrt{1 - r_{xq}^2};$$

$$\rho_{\min} = \frac{m_x}{q} + r_{xq} \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_q} \cdot \left(1 - \frac{m_q}{q}\right) - \frac{1}{q} \cdot \beta \cdot \sigma_x \cdot \sqrt{1 - r_{xq}^2}.$$

Результаты расчетов представим графически: на рис. 1 кривая *a* – максимальный удельный расход, кривая *в* – минимальный. На этом же рисунке проведена горизонтальная прямая *б*, соответствующая значению оптимального удельного расхода электроэнергии.

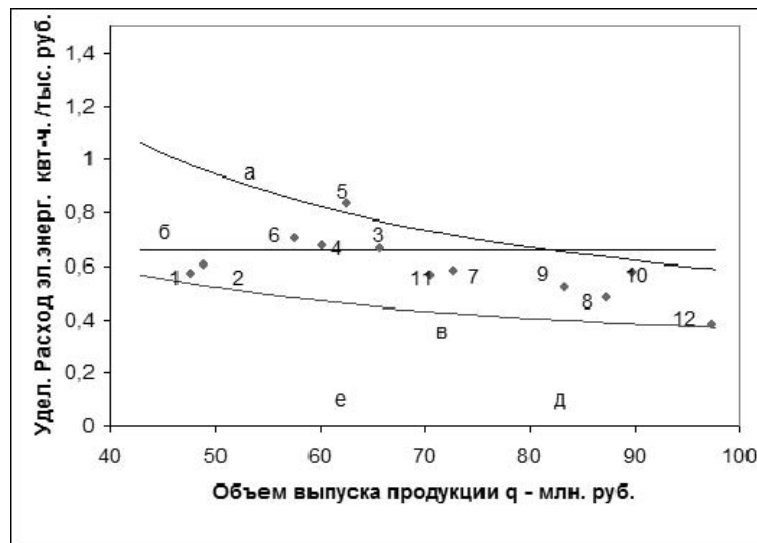


Рис. 1. Зависимость удельного расхода электроэнергии от объема выпуска продукции

Из рисунка видно, что на предприятии допускались неэкономичные режимы электропотребления, в частности в марте, апреле, мае и июне. Точка пересечения кривых *a* и *б* при 82 млн р. указывает объем производства, выше которого обеспечивается экономное использование электроэнергии. Поскольку предприятие не смогло обеспечить такой необходимый объем реализации продукции или внедрить новые энергосберегающие технологии, снижающие удельную энергоемкость почти в полтора раза, через короткий период времени оно было объявлено банкротом и ликвидировано.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковальчук, В. М. Вероятностно-маржинальный инструментальный оценки эффективности энергоменеджмента предприятия / В. М. Ковальчук // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2019. – № 2 (63). – С. 72–79.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Т. Ф. МАНЦЕРОВА, Н. В. ПАНТЕЛЕЙ, Е. П. КОРСАК

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Электроэнергетика является одним из основных компонентов национальной безопасности Республики Беларусь. Ее основой является система высокотехнологичных устройств, обеспечивающих генерацию, передачу, распределение и потребление электроэнергии, функционирующих в режиме реального времени. Элементы системы подвержены, в первую очередь, производственным рискам, что определяет системную надежность отрасли.

Основная задача предприятий энергетики – бесперебойное снабжение предприятий реального сектора, сферы услуг и населения энергией. Это возможно при соблюдении ряда условий и, в частности, при обеспечении надежной и бесперебойной работы оборудования генерирующих источников и передающей сети. Это достигается при соблюдении графиков ремонта оборудования. Только за 2024 г. было выполнено по структуре ГПО «Белэнерго» 167 комплексных ремонтов подстанций 35...110 кВ, отремонтировано 18 генераторов и 14 высоковольтных выключателей 220...330 кВ, выполнены ремонты энергетических, паровых и водогрейных котлов, а также отремонтированы 22 турбины. Значительное внимание при проведении ремонтов уделялось и передающей сети. В частности, заменены 2898 км тепловых магистралей и выполнен ремонт 4049,45 км высоковольтных линий электропередач 35...750 кВ, заменено 18682 опор 0,4...10 кВ [1].

Текущая экономическая ситуация как в целом в национальной экономике, так и в электроэнергетике в частности, вносит свои коррективы в ранее разработанные графики ремонтных работ. Это связано с рядом факторов: финансирования ремонтных работ не в полном объеме, санкционные ограничения на приобретение необходимых запасных частей и материалов и пр. Это вызывает изменение сроков ремонтов оборудования. В частности, по теплотехническому оборудованию такие изменения происходят нередко.

Анализ данных в период с 2015 по 2024 гг. показал, что наименьшее количество изменений сроков ремонтов теплотехнического оборудования было зафиксировано в 2019 г. – 17, а наибольшее в 2024 г. – 68. В среднем, фиксируется около 30 изменений сроков ремонтных работ в год.

На рис. 1 представлены причины изменения сроков выполнения капитальных и средних ремонтов теплотехнического оборудования. Наибольшую долю занимает дополнительный объем работ, выполненный в результате дефектовки (42 %). Доля внешнеэкономических факторов, которые повлияли на изменение сроков выполнения ремонтов, составляет 8 %. Срыв сроков поставки необходимых запасных частей и изменение режима работы оборудования – соответственно 12 % и 10 %. Оптимизация загрузки персонала подряд-

чика (28 %) способствовала также достаточно существенному изменению сроков проведения ремонтов.



Рис. 1. Причины изменения сроков ремонтов теплотехнического оборудования

Анализ количества изменений сроков проведения инспекций и ремонтов по РУП «Облэнерго» показал, что меньше всего нарушений сроков проведения ремонтов было в РУП «Гродноэнерго» и РУП «Могилевэнерго» (7,4 % и 8,8 % соответственно). Чаще всего нарушения сроков проведения ремонтов были зафиксированы в РУП «Брестэнерго» и РУП «Минскэнерго».

Академической наукой и специалистами-практиками разрабатываются новые подходы к повышению надежности и эксплуатации энергетического оборудования. В частности, для обоснованного снижения затрат на проведение технического обслуживания и ремонта электрооборудования в условиях неблагоприятного влияния факторов внешней и внутренней среды предприятия возможно применение системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования по фактическому техническому состоянию. Целесообразно также использование современных программных решений для повышения эффективности ремонтной кампании (например, «Деснол»).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремонтная кампания // Государственное производственное объединение электроэнергетики «Белэнерго». – URL: <https://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/osnovnye-pokazateli/remontnaya-kampaniya> (дата обращения: 13.01.2026).

УДК 621.313.333

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА БАЗЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Д. В. РЕБРОВ, Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Внедрение диагностических комплексов, базирующихся на технологии цифровых двойников, открывает возможность отказаться от традиционной системы ремонтов по регламенту в пользу стратегии эксплуатации асинхронных электродвигателей, ориентированной на их фактическое состояние. Архитектура такой системы строится на объединении физико-математических моделей, описывающих электромагнитные и термические явления в активных частях машины, с инструментарием искусственного интеллекта, отвечающим за обработку потоков данных.

Подобная комбинация методов позволяет преодолеть ограничения классических подходов к анализу вибрационных характеристик и гармонического состава токов, поскольку обеспечивает постоянную синхронизацию между измеряемыми величинами реального агрегата и расчетными параметрами его виртуальной копии. Формирование цифрового двойника исправного состояния, откалиброванного по переходным и стационарным режимам функционирования, наделяет виртуальную модель способностью не только своевременно распознавать начинающиеся повреждения (в частности, витковые замыкания или ухудшение состояния подшипников скольжения и качения), но и выполнять имитационное прогнозирование работы агрегата при варьировании внешних факторов и нагрузок. Как следствие, становится возможным вычисление прогнозного периода безаварийной эксплуатации с учетом реальных темпов старения изоляционного слоя и изменения геометрии механических узлов.

Комплексное применение описанных принципов создает предпосылки для существенного повышения достоверности предсказания отказов и сокращения продолжительности внеплановых остановов производственных линий.

УДК 621.3

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ
С УЧЕТОМ РАБОТЫ НЕЗАВИСИМОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

А. С. ТРЕТЬЯКОВ, О. А. КАПИТОНОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Для работы электропривода по системе «матричный преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» предполагается, что есть матричный преобразователь частоты (МПЧ), который содержит входной фильтр, привод управления независимым вентилятором и систему управления, которая управляет всей силовой частью.

Для выбора системы независимой вентиляции сначала рассчитываются внешние аэродинамические характеристики штатного вентилятора асинхронного электродвигателя. Далее рассчитываются зависимости скорости вращения штатного вентилятора от его расхода и давления.

На основании полученных данных и характеристик штатного вентилятора выбираются параметры независимой вентиляции с небольшим запасом по расходу и давлению. В отличие от штатного вентилятора в системе независимой вентиляции предполагается использование оригинального вентилятора с углом установки лопаток, отличным от 90 град, и формой лопатки, обеспечивающей требуемый расход воздуха для интенсивного отвода тепловых потерь из корпуса асинхронного электродвигателя в открытое пространство.

Далее необходимо задать алгоритм работы независимой вентиляции. Предполагается, что в нормальном режиме работы независимый вентилятор либо не работает, либо вращается на малой скорости для обеспечения номинального расхода. Далее, по мере увеличения нагрузки или уменьшения скорости вращения ротора асинхронного электродвигателя, скорость вращения независимого вентилятора пропорционально увеличивается для обеспечения необходимого расхода воздуха.

В качестве электродвигателя независимого вентилятора рекомендуется использовать бесколлекторный двигатель постоянного тока. Выбор электродвигателя вентилятора необходимо произвести исходя из рассчитанных ранее характеристик независимого вентилятора.

Центральным звеном системы управления является управляющая плата с микропроцессором на архитектуре ARM. В энергонезависимой памяти находится микрокод, который, обрабатывая входную информацию, вырабатывает управляющие сигналы для работы МПЧ и привода независимого вентилятора.

Управляющий сигнал для контроллера электродвигателя независимого вентилятора формируется по отдельному алгоритму, заключающемуся в том, что, непрерывно анализируя скорость вращения ротора асинхронного электродвигателя, рассчитывается задание скорости вращения независимого вентилятора.

Далее составляется алгоритм для изменения и прогноза температур перегрева статора и ротора асинхронного электродвигателя. Для идентификации тепловых параметров необходимо запустить асинхронный двигатель на время, не превышающее 10...15 мин, в результате чего определятся параметры тепловой модели. Также данная модель является адаптивной – часть параметров рассчитывается в режиме рабочего времени.

При решении задачи по определению прогнозных температур в динамике исследуемый асинхронный электродвигатель также рассматривается как система тел с однородной температурой, связанных между собой тепловыми проводимостями [1]. В переходных режимах рассмотренные тепловые модели описываются системой дифференциальных уравнений. Для решения таких систем необходим отдельный алгоритм, который занимает дополнительные вычислительные ресурсы. Для решения данной проблемы система дифференциальных уравнений преобразовывается в систему разностных уравнений.

Часть тепловых проводимостей имеют нелинейную зависимость от ряда входных факторов, прежде всего от параметров вентиляционной сети, что делает искомую систему уравнений нелинейной и усложняет расчеты.

Была разработана методика, которая учитывает параметры вентиляционной сети и преобразует систему дифференциальных уравнений в систему разностных (другими словами, систему линейных уравнений), что позволяет получить прогнозные температуры с заданной выдержкой времени. Для этого используются наблюдатели состояния тепловых проводимостей, которые контролируют и корректируют по необходимости переменные тепловые проводимости в зависимости от параметров вентиляционной сети. Это позволяет получать прогнозные температуры в любой момент времени работы рассматриваемого асинхронного электродвигателя.

Предложена методика, которая вначале идентифицирует все вспомогательные величины, стартовые температуры, теплоемкости, вентиляционные параметры. Далее запускаются наблюдатели для идентификации тепловых проводимостей в функции параметров вентиляционной сети, после чего начинается идентификация прогнозных температур.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Третьяков, А. С.** Разработка методик прогноза температур отдельных узлов асинхронного электродвигателя с учетом вентиляции / А. С. Третьяков, О. А. Капитонов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 24–25 апр. 2025 г. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 319–320.

УДК 621.3

QUCS-S В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

И. А. ЧЕРКАСОВА, Н. В. ГЕРАСИМЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В образовательном процессе на электротехническом факультете компьютерное моделирование физических процессов в электрических цепях и электронных устройствах является неотъемлемой частью большинства специальных учебных курсов. Моделирование позволяет студентам наглядно изучать принципы построения, функционирования и настройки отдельных элементов цепи и системы в целом, проводить виртуальные эксперименты, оптимизировать схемы без риска повреждения реального оборудования.

В настоящее время стандартом является программа NI Multisim (США). Однако в современных условиях, требующих мероприятий по импортозамещению программных продуктов, высокой стоимостью лицензионного ПО и разнородностью парка компьютеров (Windows, Linux), актуальным является вопрос о поиске доступных, открытых альтернатив, с помощью которых студенты могут легко организовать исследования в учебных аудиториях и дома, а также дополнять и совершенствовать открытые библиотеки компонентов. Анализ открытых программных продуктов в области моделирования электрических цепей показывает, что наиболее перспективным решением является программный комплекс QUCS-S (Quite Universal Circuit Simulator with SPICE). Это открытый (лицензия GPL) мультиплатформенный инструмент, основанный на Ngspice с удобным графическим интерфейсом.

В табл. 1 приведен сравнительный анализ основных возможностей QUCS-S в сравнении с Multisim 11 (образовательная лицензия).

Табл. 1. Сравнительный анализ возможностей QUCS-S и Multisim 11

Вид моделирования	Multisim	QUCS-S	Особенность
Моделирование на постоянном токе	Широкие возможности моделирования	Полностью соответствует Multisim	—
Моделирование на переменном токе	Частотные характеристики, АЧХ, ФЧХ (реальное время)	Частотные характеристики, АЧХ, ФЧХ. Требуется запуск	Дополнение в виде режима ВЧ-цепей (длинные линии)
Моделирование переходных процессов	Моделирование в реальном времени	Требуется запуск решателя, в остальном соответствует	Широкие возможности экспорта данных
Моделирование электронных схем	Большая библиотека электронных компонентов	Достаточно для базовых курсов электроники	Легко добавлять пользовательские модели элементов

УДК 621.3:658.34

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕДАХ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Л. Г. ЧЕРНАЯ¹, А. Е. САЗОНКО², Е. М. КАЗАК²¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Департамент по надзору за безопасным ведением работ
в промышленности (Госпромнадзор)

Минск, Беларусь

Для автоматизации установок, связанных с использованием в технологических процессах газов, образующих взрывоопасную среду, требуется применение соответствующего взрывозащищенного оборудования.

Важным вопросом безопасности является разработка систем автоматизации и правильный выбор оборудования в зависимости от класса взрывоопасной зоны. Поэтому классификация взрывоопасных зон, выбор и установка соответствующего оборудования регламентируются техническими нормативными правовыми актами (стандартами, правилами).

Разработана методика выбора оборудования для работы во взрывоопасных средах в автоматизированном производстве.

На рис. 1 представлено размещение оборудования производственного участка.

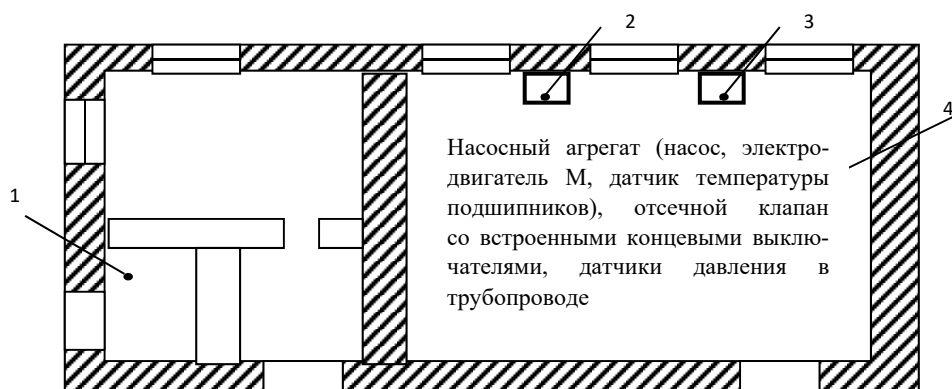


Рис. 1. Размещение оборудования производственного участка: 1 – помещение (безопасная зона), где размещены: распределительное устройство (РУ), частотный преобразователь, микропроцессорные контроллеры, компьютер, аппаратура автоматики, защиты, управления; 2 – пост управления электродвигателем М; 3 – пост управления отсечным клапаном; 4 – взрывоопасная зона заданного класса

В помещении со взрывоопасной газовой средой на трубопроводе установлен отсечной клапан, через который с помощью насоса (вид привода – электродвигатель М с частотным регулированием) обеспечивается подача вещества в технологическую установку.

Необходимые исходные данные технологического процесса представлены в табл. 1 и должны включать: класс взрывоопасной зоны, взрывоопасные вещества, уставки для системы автоматической сигнализации (АС) по превышению температуры подшипников, противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ) по превышению давления в трубопроводе, параметры электродвигателя насоса.

Табл. 1. Данные технологического процесса

Класс взрывоопасной зоны	Вещество, присутствующее в помещении, которое создает взрывоопасную среду	Уставки для систем АС, ПАЗ	Номинальная мощность двигателя М, кВт	Синхронная частота вращения двигателя М, об / мин диапазон регулирования
1	Окись этилена, циклогексан	Температура подшипников $T_{\max AC} = 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Давление в трубопроводе $P_{\max PАЗ} = 1,0 \text{ МПа}$	45,0	3000 /10

Особые требования предъявляются к технологическим блокам I категории взрывоопасности:

- системы автоматического управления и противоаварийной защиты реализованы на базе резервируемых программируемых логических контроллеров, имеющих сертификат соответствия требованиям функциональной безопасности, и вычислительной техники;

- система ПАЗ функционирует независимо от системы управления, это означает – датчики, исполнительные механизмы, микропроцессорный контроллер выбираются дополнительно для системы ПАЗ;

- отсечной клапан оснащен концевыми выключателями для контроля его состояния;

- контроль состояния электродвигателя М осуществляется с помощью частотного преобразователя, связанного с микропроцессорным контроллером через интерфейс RS-485;

- для систем контроля, управления и ПАЗ технологических объектов с блоками I категории взрывоопасности необходимо предусматривать третий независимый источник электропитания (источник бесперебойного питания) для безаварийного останова оборудования.

Выполнение требований предложенной методики выбора оборудования для работы во взрывоопасных средах в автоматизированном производстве позволит повысить надежность и обеспечить эксплуатацию производственного участка, соответствующую требуемому уровню полноты безопасности с заданной вероятностью безотказной работы.

УДК 621.3:658.34

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ВЗРЫВООПАСНОЙ ПЫЛЕВОЙ СРЕДЫЛ. Г. ЧЕРНАЯ¹, А. Е. САЗОНКО², Е. М. КАЗАК²¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Департамент по надзору за безопасным ведением работ
в промышленности (Госпромнадзор)

Минск, Беларусь

На предприятиях Республики Беларусь имеется значительное количество производств, связанных с использованием в технологических процессах взрывоопасных пылевоздушных смесей, например, переработка зерна, производство кормовых аминокислот, комбикормов и премиксов, деревообработка.

Пыли подразделяются на пожароопасные (группа Б), имеющие нижний концентрационный предел взрываемости (НКПВ) выше 65 г/м^3 , и взрывоопасные (группа А), имеющие нижний предел взрываемости менее 65 г/м^3 . Пыль при переработки зерна имеет НКПВ $20...63 \text{ г/м}^3$ (температура самовоспламенения – 205°C , непроводящая), пыль древесная имеет НКПВ $11,2 \text{ г/м}^3$ (температура самовоспламенения – 205°C , непроводящая).

На рис. 1 представлено размещение технологического оборудования во взрывоопасных зонах, опасных по пыли различных классов.

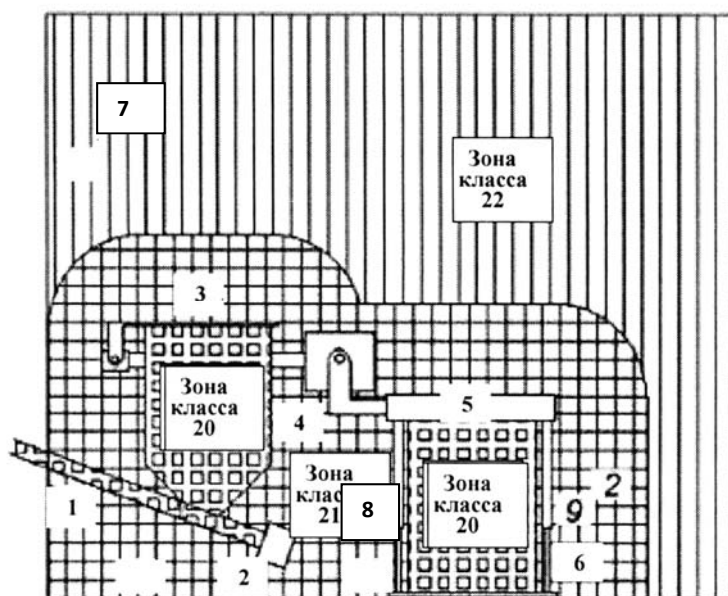


Рис. 1. Размещение технологического оборудования: 1 – винтовой конвейер; 2 – электродвигатель конвейера; 3 – люк загрузочной воронки; 4 – загрузочная воронка; 5 – мембранный клапан; 6 – барабан; 7 – светильник стационарный; 8 – контрольно-измерительный прибор (КИП)

Определение маркировки взрывозащиты оборудования зависит от:

1) класса взрывоопасной зоны (20 – уровень взрывозащиты оборудования Da; 21 – уровень взрывозащиты оборудования Da, Db; 22 – уровень взрывозащиты оборудования Da, Db, Dc);

2) вида взрывозащиты, связанного с уровнем взрывозащиты:

а) в отношении электрического оборудования, предназначенного для работы во взрывоопасных пылевых средах: "t" ("ta", "tb", "tc") – защита оболочкой; "i" ("ia", "ib") – искробезопасность (искробезопасная электрическая цепь); "m" ("ma", "mb", "mc") – герметизация компаундом; "p" – заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением; "s" – специальный вид взрывозащиты;

б) в отношении неэлектрического оборудования, предназначенного для работы во взрывоопасных средах: "с" – конструкционная безопасность;

3) вида взрывоопасной пылевой среды (облако пыли – подгруппа оборудования IIIA; непроводящая пыль – подгруппа IIIB; проводящая пыль – подгруппа IIIC);

4) температуры воспламенения пыли.

Значение максимальной температуры поверхности оборудования не должно превышать значения на 75 °C ниже значения минимальной температуры воспламенения слоев пыли толщиной 5 мм.

$$T_{\max} = T_{5\min} - 75 \text{ °C} = 205 - 75 = 130 \text{ °C},$$

где $T_{5\min}$ – минимальная температура воспламенения слоя пыли толщиной 5 мм.

Согласно рис. 1, технологическое неэлектрическое оборудование (винтовой конвейер, мембранный клапан, барабан), электрическое оборудование (электродвигатель конвейера, светильник стационарный, КИП) размещены во взрывоопасных зонах, опасных по пыли различных классов.

Таким образом, выбор оборудования для работы во взрывоопасной пылевой среде согласно рис. 1 должен соответствовать маркировкам взрывозащиты, предложенным в табл. 1.

Табл. 1. Допустимые маркировки взрывозащиты оборудования

Вид оборудования	Допустимая маркировка взрывозащиты
Электродвигатель (зона 21)	Ex tb IIIB T130 °C Db
КИП (зона 21)	Ex ib IIIB T130 °C Db
Светильник стационарный (зона 22)	Ex tc IIIB T130 °C Dc, Ex mc IIIB T130 °C Dc
Конвейер (зона 21)	IIIB Db с T130 °C, Ex ГОСТ 32407–2013 с IIIB T130 °C Db
Мембранный клапан (зона 21)	IIIB Db с T130 °C, Ex ГОСТ 32407–2013 с IIIB T130 °C Db
Барабан (зона 20)	IIIB Da с 130 °C Da, Ex ГОСТ 32407–2013 с IIIB 130 °C Da

УДК 663.993.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В РАБОЧЕЙ ЕМКОСТИ С ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ В СРЕДЕ SOLIDWORKS

Д. В. ШНИП, Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Большинство моделей оборудования для приготовления жидких кормовых смесей (ЖКС) на молочно-товарных фермах (МТФ) используют для создания равномерного распределения температуры в рабочей емкости перемешивающего устройства.

Компоновочные решения рабочих емкостей устройств для приготовления ЖКС на МТФ с перемешивающим устройством представлены на рис. 1.

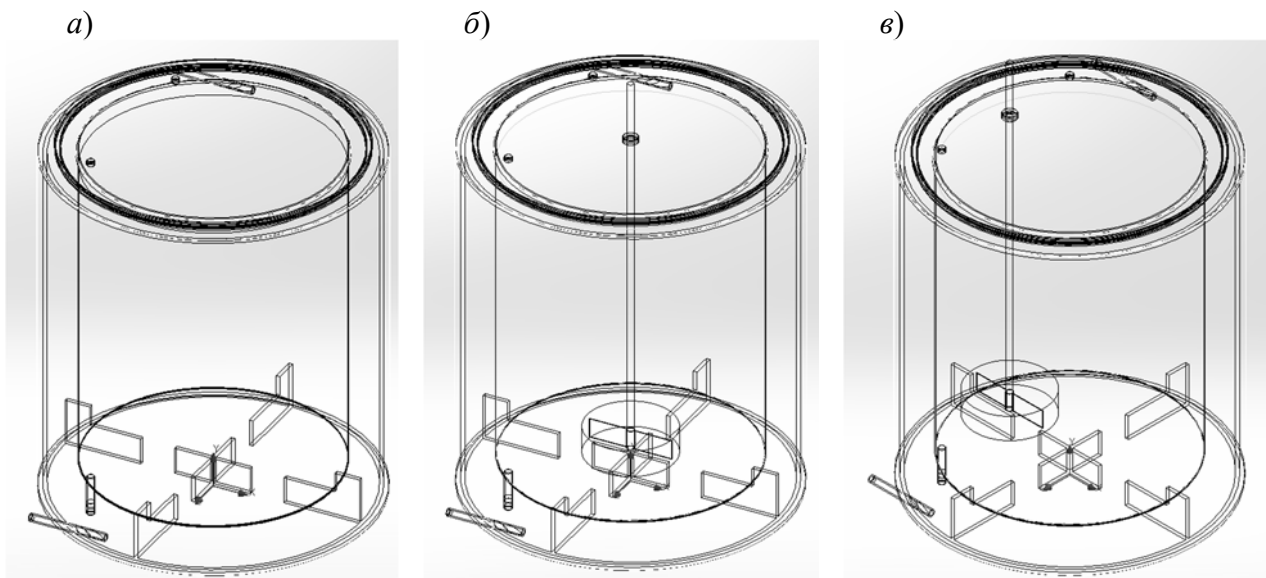


Рис. 1. Компоновочные решения рабочих емкостей: *а* – перемешивающее устройство отсутствует; *б* – перемешивающее устройство расположено по центру рабочей емкости; *в* – перемешивающее устройство расположено со смещением к стенке рабочей емкости

Пример результатов компьютерного моделирования в SolidWorks (модуль SolidWorks Flow Simulation) тепловых процессов (процесс охлаждения) в рабочей емкости (перемешивающее устройство расположено со смещением к стенке рабочей емкости) представлен на рис. 2 (скорость вращения перемешивающего устройства – 60 об/мин; температура технологической жидкости – +5 °C).

Результаты компьютерного моделирования в SolidWorks (модуль SolidWorks Flow Simulation) тепловых процессов нагрева и охлаждения в рабочих емкостях для других компоновочных решений и параметров технологических процессов будут представлены в докладе.

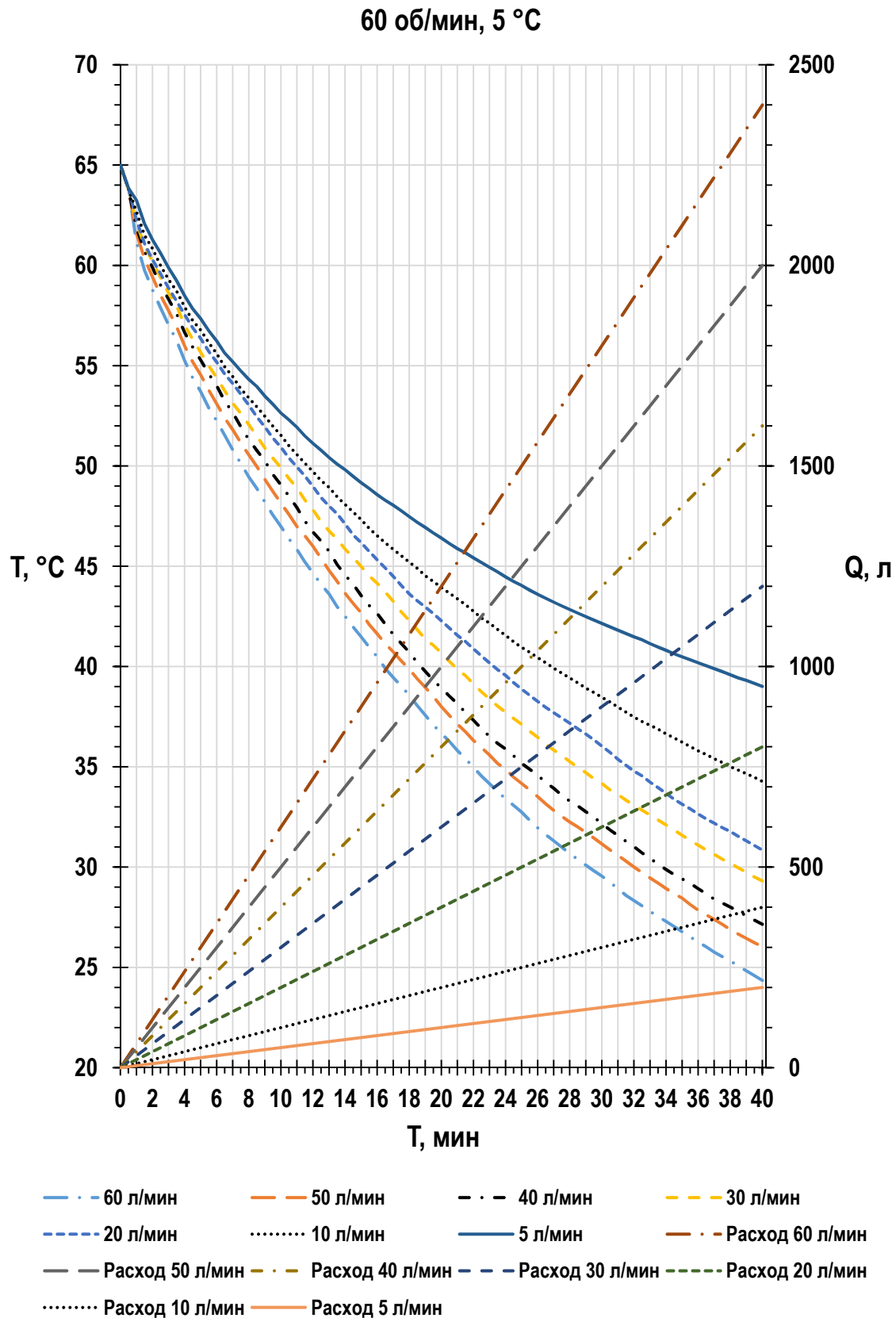


Рис. 2. Пример результатов компьютерного моделирования в SolidWorks (модуль SolidWorks Flow Simulation) тепловых процессов (процесс охлаждения) в рабочей емкости (перемешивающее устройство расположено со смещением к стенке рабочей емкости)

УДК 004.032.26

АРХИТЕКТУРА И ИНСТРУМЕНТЫ МЕДИЦИНСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ С МОДЕЛЯМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ

В. В. БЕРЕЗОВСКИЙ¹, Н. В. ВЫГОВСКАЯ², М. В. ПАШКЕВИЧ²

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова
Архангельск, Россия

²Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современные медицинские учреждения сталкиваются с проблемой высокой нагрузки на специалистов при анализе медицинских изображений, а также с ограниченной доступностью экспертной диагностики, что может приводить к задержкам в постановке диагноза и увеличению вероятности ошибок.

Разрабатываемое веб-приложение решает данную проблему за счет автоматизации анализа медицинских изображений с использованием модели искусственного интеллекта, предоставляя пользователю диагностическое заключение в цифровом формате. В условиях практического применения подобного решения особое значение приобретает выбор архитектуры программной системы, поскольку от него зависят надежность обработки данных, безопасность медицинской информации, воспроизводимость результатов инференса и возможность масштабирования приложения, что обуславливает необходимость обоснованного архитектурного анализа.

Основой разработки являются следующие аспекты.

1. Выбор наиболее оптимальной архитектуры.
2. Выбор фреймворка для реализации данной архитектуры.

В рамках разработки были рассмотрены монолитная и микросервисная архитектуры, представляющие различные подходы к построению системы.

Монолитная архитектура предполагает объединение интерфейса, серверной логики и модулей ИИ в едином программном комплексе с общим хранилищем данных. Такой подход минимизирует требования к инфраструктуре и исключает риски, связанные с сетевым взаимодействием между компонентами.

Для медицинских систем монолитная структура обладает рядом преимуществ: она упрощает контроль целостности, централизует управление версиями кода и моделей, а также облегчает валидацию диагностических результатов. В отличие от микросервисной архитектуры, требующей сложных инструментов оркестрации и значительных затрат на сопровождение, монолит обеспечивает предсказуемость системы и высокую воспроизводимость инференса.

Учитывая цели разработки – надежность и прозрачность формирования диагностических выводов в условиях ограниченных ресурсов, – выбор монолитной архитектуры является наиболее обоснованным. Это позволяет снизить техническую сложность проекта, упростить аудит логики принятия решений и гарантировать стабильную работу приложения в клинической практике.

Важным этапом разработки медицинского веб-приложения с использованием искусственного интеллекта является выбор веб-фреймворка для реализации серверной части системы. В рамках анализа были рассмотрены Flask, Django и FastAPI.

Flask является лёгким и гибким фреймворком, удобным для прототипирования и небольших сервисов, однако отсутствие встроенных механизмов безопасности, аутентификации и валидации данных усложняет его использование в сложных медицинских системах.

Django представляет собой полнофункциональное решение с широким набором встроенных инструментов, что делает его подходящим для крупных медицинских информационных систем, но избыточная функциональность и сложная архитектура ограничивают его применение в высоконагруженных сервисах инференса.

FastAPI ориентирован на разработку высокопроизводительных API, поддерживает асинхронную обработку запросов, встроенную валидацию данных и автоматическую генерацию документации, что делает его наиболее подходящим для микросервисной архитектуры.

На основании проведенного анализа было реализовано медицинское приложение для диагностики сколиоза и спондилолистеза, сочетающее монолитную архитектуру, фреймворк FastAPI и нейросетевую модель ResNet-50. После обработки рентгеновского изображения позвоночника модель выполняет предсказание диагноза, возвращая класс заболевания и вероятность (уверенность) предсказания. Результаты отправляются пользователю в виде JSON-ответа [1].

Для создания удобного пользовательского интерфейса был использован фреймворк React JS, имеющий богатую экосистему библиотек и инструментов для управления маршрутизацией, состоянием и стилизацией компонентов. Данный технологический стек обеспечил необходимую надежность и высокую скорость обработки данных. Результаты тестирования подтвердили эффективность системы и целесообразность её внедрения в клиническую практику для снижения нагрузки на профильных специалистов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прототип системы искусственного интеллекта для диагностики заболеваний позвоночника с интеграцией в веб-приложение и телеграм-бот / В. В. Березовский, Н. В. Выговская, Р. В. Милевский, М. В. Пашкевич // Врач и информационные технологии. – 2025. – № 4. – С. 56–71.

УДК 004.85

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО МЕТОДА ДЛЯ ПОИСКА ЛЮДЕЙ ПО ТЕПЛОВИЗИОННЫМ СНИМКАМ

А. С. ВОРОЖЕЙКИН, А. И. АЛДОШИН, А. В. ПОРТНОВ, К. Н. МАТЮХИН

Московский государственный технический университет
гражданской авиации
Москва, Россия

Проблема пропажи людей в лесах является распространенной: ежегодно тысячи людей теряются во время походов, сбора грибов и других активностей на природе. За период с мая по август 2024 г. поисково-спасательный отряд «Лиза Алерт» обработал около 3,2 тыс. обращений о пропаже людей в природной среде по России [1].

Согласно исследованию 2025 г., каждый пятый россиянин хотя бы раз терялся в лесу, основной причиной является потеря ориентации (37 % случаев). В Московской области в 2025 г. было зафиксировано 919 случаев потери людей в лесу, более 1,2 тыс. человек потребовали помощи спасателей.

Тепловизор – устройство для наблюдения за распределением температуры в пространстве, основанное на матричных датчиках температуры. Использование БПЛА с тепловизором позволяет фиксировать тепловизионные аномалии, однако требуется отличать людей от объектов со схожей тепловой сигнатурой [2].

В работе предложен нейросетевой метод на основе архитектуры YOLO (You Only Look Once) для автоматического обнаружения людей на тепловизионных снимках [3].

Алгоритм YOLO работает в реальном времени, разбивая изображение на сетку, где каждая клетка отвечает за предсказание:

- координат объекта;
- вероятности принадлежности объекта к определенному классу.

Нейросеть обучена для точного распознавания людей на тепловизионных изображениях, что повышает эффективность поисковых операций.

В работе представлены тепловизионные снимки (рис. 1 и 2), сделанные с БПЛА, а также результаты обнаружения объектов нейросетью, подтверждающие эффективность предложенного метода.



Рис. 1. Тепловизионное изображение с БПЛА

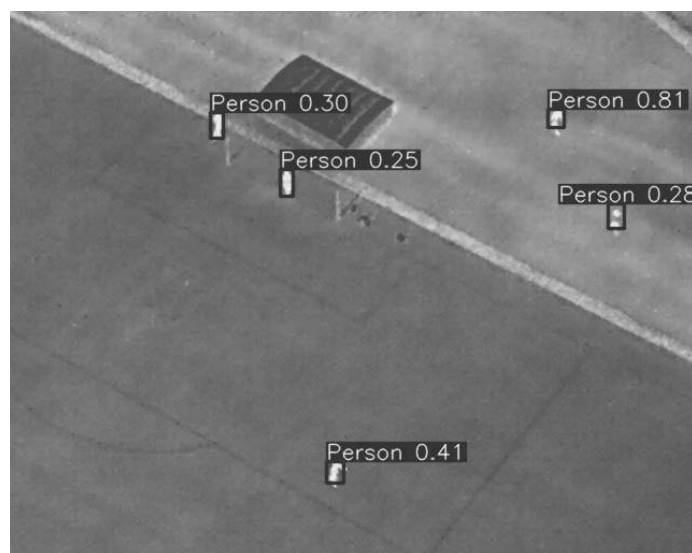


Рис. 2. Обнаружение нейросетью объектов на тепловизионном изображении

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Датасет тепловизионных изображений. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/anidiptaral/hit-mob>.
2. Статья о поиске людей в «Лиза Алерт». – URL: <https://icmos.ru/news/liza-alert-svyse-3-tys-celovek-poteryalis-v-rossiiskix-lesax-s-1-maya>.
3. Документация по YOLO. – URL: <https://docs.ultralytics.com>.

УДК 004.032.26

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ УША НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ YOLO

Н. В. ВЫГОВСКАЯ, Ю. А. ФЕДОРОВА, В. В. СИМОЧКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Современная оториноларингология требует внедрения доступных и эффективных инструментов диагностики, способных снизить нагрузку на специалистов. Использование методов искусственного интеллекта (ИИ) и компьютерного зрения позволяет автоматизировать процесс анализа отоскопических изображений (ОИ), ускоряя постановку диагноза заболеваний, таких как средний отит и других заболеваний уха, которые могут привести к серьёзным осложнениям при позднем обнаружении [1].

Целью данной работы является разработка и внедрение в прототип веб-приложения модели компьютерного зрения для автоматической диагностики ОИ с целью поддержки принятия решений врача-отоларинголога. Для её достижения были решены задачи анализа предметной области и выбора современных технологий, поиска и предобработки публичного датасета, обучения и оценки модели компьютерного зрения, разработки серверной и клиентской части приложения и его интеграции в единую систему.

В качестве источника данных использован сбалансированный публичный датасет *Otoscopic Data*, содержащий 3000 изображений, равномерно распределённых по пяти диагностическим категориям: острый средний отит, хронический средний отит, серная пробка, мiringосклероз и нормальное состояние [2]. Архитектура приложения построена по классической клиент-серверной модели, где серверная часть реализована на языке C# с использованием фреймворка ASP.NET Core [3], для хранения данных применяется Microsoft SQL Server. Клиентская часть разработана с использованием фреймворка Bootstrap 5.3 и библиотеки Chart.js для визуализации результатов.

Ядро системы представляет собой модель ИИ YOLOv8 в режиме классификации, которая обучена на наборе данных ОИ [2] с использованием фреймворка Ultralytics и экспортирована в формат ONNX для интеграции в среду .NET через ONNX Runtime. После обучения на десяти эпохах модель YOLOv8 достигла точности классификации 99,3 % на валидационной выборке, что соответствует клиническим потребностям практического применения.

Выбор архитектуры YOLO [4] обусловлен ее значительными преимуществами для применения в медицинских приложениях. Обработка в реальном времени позволяет проводить классификацию на веб-платформе без существенных задержек, что критично для клинического использования. Высокая точность модели YOLO подтверждается конкурентоспособными показателями mAP (mean Average Precision) среди современных моделей детектирования. Оптимизированная архитектура с единовременным проходом через сеть (single-stage detector) значительно снижает вычислительные

требования по сравнению с двухэтапными детекторами. Универсальность модели успешно реализуется в различных областях медицинской диагностики, включая анализ рентгеновских снимков, ультразвуковых исследований и дерматологические приложения. Масштабируемость системы обеспечивается наличием облегченных версий YOLO (YOLOv8n, YOLOv8s), позволяющих развёртывание на мобильных устройствах и веб-сервисах с ограниченными вычислительными ресурсами.

Веб-приложение построено по многослойной архитектуре с выделением уровня представления (Razor Pages), уровня бизнес-логики (сервисы), уровня доступа к данным (Entity Framework Core) и инфраструктурного уровня [5]. Ключевыми доменными сущностями являются Пользователь (врач), Пациент и Диагноз. Бизнес-логика инкапсулирована в сервисах, которые обеспечивают валидацию данных, проверку прав доступа, координацию процессов анализа и гарантируют целостность информации. Критически важные компоненты, такие как работа с моделью ИИ и файловое хранилище, абстрагированы через интерфейсы для обеспечения гибкости и тестируемости системы.

Пользовательский интерфейс включает набор интуитивно понятных страниц: модули для входа и регистрации, главную информационную страницу, страницу анализа с загрузкой ОИ и выводом результатов классификации, кабинет врача для управления пациентами и просмотра статистики, а также административную панель для управления пользователями и моделью. Интерфейс реализован как отзывчивый и адаптивный, обеспечивающий удобство работы врача при проведении диагностики.

В ходе выполнения работы была достигнута основная цель: разработан рабочий прототип веб-приложения для поддержки диагностики ЛОР-заболеваний на основе анализа ОИ. Практическая значимость работы заключается в создании инструмента, способного снизить диагностическую нагрузку на врачей и минимизировать субъективный фактор при выявлении патологий. Работа подтверждает актуальность и перспективность применения технологий ИИ в современной медицинской диагностике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Anitha, V.** AI Powered Otoscopic Image Classification for Ear Disease Detection / V. Anitha, K. Kiruthika, B. Mahalakshmi // International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology. – 2025. – 5 (3). – URL: <https://www.ijarset.co.in/Paper26326.pdf>.
2. Набор данных отоскопических изображений. Kaggle. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/ucimachinelearning/otoscopic-image-dataset>.
3. Microsoft. ASP.NET Core documentation. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core>.
4. Ultralytics. YOLO documentation. – URL: <https://docs.ultralytics.com>.
5. Microsoft. Entity Framework Core documentation. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/ef/core>.

УДК 004.85

СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ДАКТИЛЬНОГО АЛФАВИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

А. С. ГОЛЯС

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Эффективная коммуникация с людьми с нарушениями слуха остается актуальной социальной задачей. Основным инструментом их взаимодействия является дактильный алфавит – разновидность жестового языка, используемая для передачи отдельных букв. Автоматизация распознавания таких жестов открывает возможности для создания инклюзивных интерфейсов и вспомогательных коммуникационных систем.

В отличие от существующих решений, основанных на геометрическом сравнении ключевых точек, в данной работе предложена система, использующая нейросетевую модель для распознавания жестов русского дактильного алфавита в реальном времени. Это позволяет повысить устойчивость к вариативности поз рук, освещения и фона.

Система разработана на языке Python и состоит из следующих компонентов:

- захват видеопотока с веб-камеры с помощью библиотеки OpenCV;
- детекция рук и извлечение координат 21 ключевой точки с помощью MediaPipe Hand Landmarker;
- нормализация координат относительно запястья (удаление зависимости от положения в кадре);
- подача нормализованных данных в полносвязную нейронную сеть (MLP), обученную на размеченном наборе жестов [1].

Архитектура нейросети включает входной слой (63 нейрона – по три координаты на каждую из 21 точек), два скрытых слоя по 128 и 64 нейрона с активацией ReLU и выходной softmax-слоем на 30 классов (соответствующих буквам русского дактильного алфавита, включая служебные символы). Обучение проводилось на собственном наборе данных, содержащем более 2500 примеров, собранных в различных условиях освещения [2].

Приложение имеет графический интерфейс, реализованный с помощью PyQt5, и поддерживает режим непрерывного ввода. Распознанные буквы отображаются в текстовом поле, возможна озвучка результата и экспорт в форматы .txt и .mp3. На рис. 1 представлена блок-схема работы системы.

Экспериментальная оценка показала, что точность распознавания на тестовом наборе составляет 96,2 %, что на 12 %...15 % выше, чем у системы, основанной на евклидовом расстоянии. Особенно заметно улучшение на схожих жестах (например, «М» и «Т», «П» и «Л»), где геометрические подходы часто ошибаются.

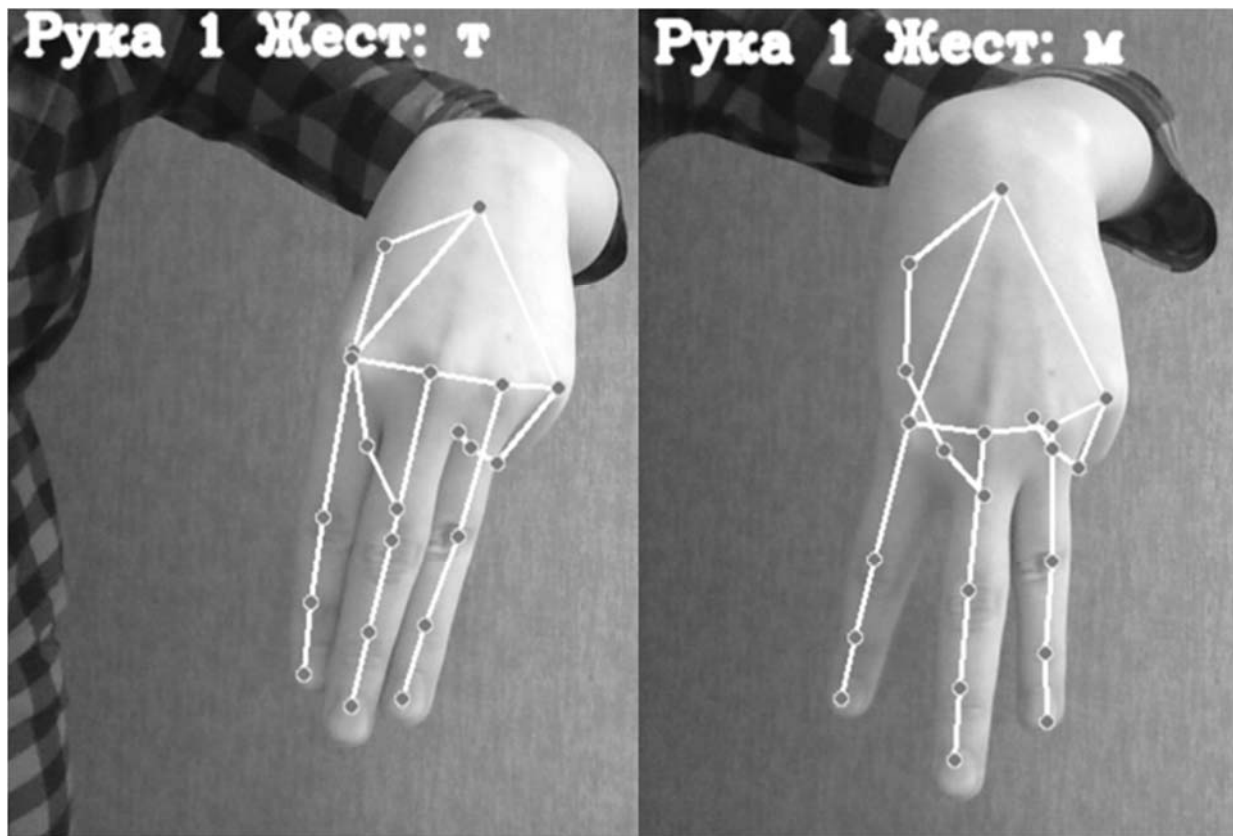


Рис. 1. Блок-схема работы системы распознавания дактильного алфавита на основе нейронной сети

Перспективы развития данной системы включают:

- переход от статических жестов к распознаванию динамических последовательностей с использованием LSTM или Transformer-архитектур;
- расширение словаря для поддержки полного жестового языка;
- адаптацию под индивидуальные особенности пользователя с помощью тонкой донастройки (fine-tuning).

Таким образом, применение нейронных сетей в задаче распознавания дактильного алфавита позволяет добиться высокой точности и надежности, делая систему пригодной для практического использования в образовательной и социальной сферах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Голяс, А. С.** Система распознавания жестового языка на основе анализа видеопотока в реальном времени / А. С. Голяс // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 152.
2. **Мищенко, И. И.** Внедрение сверточных нейронных сетей (CNN) в Gestotalk: анализ преимуществ и план модернизации системы распознавания жестов / И. И. Мищенко, А. С. Голяс // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 158–163.

УДК 004

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Д. В. МИКАЛУЦКИЙ, И. Г. ПЛИСКО, Л. А. ТИМАШКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В современных тенденциях развития цифровизации образования возрастает популярность смешанного обучения [1]. Одной из ключевых проблем использования смешанного обучения является оценка знаний студентов.

Традиционные методы оценки знаний, такие как тестирование с вопросами закрытого типа или ручная проверка со стороны преподавателя, обладают рядом недостатков: они требуют значительных временных затрат со стороны преподавателя, не учитывают индивидуальные особенности студентов и не гарантируют обратную связь. В связи с этим актуальность приобретает использование методов искусственного интеллекта для автоматизации процесса проверки знаний.

Для решения этих проблем предложено использовать языковую модель DeepSeek <https://chat.deepseek.com/> в качестве системы оценивания. Языковая модель оценивает ответ студента, задаёт уточняющие вопросы в случае неполного ответа и дает обратную связь студенту. В ходе разработки модели сформирован промпт, позволяющий оценить знания студента в формате диалога:

«Студенту задали вопрос: <вопрос>

У тебя есть эталонный ответ: <текст>

Студент ответил: <ответ студента>

1. Сравни, какие части эталонного ответа отсутствуют.
2. Сформулируй уточняющий вопрос по одному из отсутствующих пунктов.
3. После ответа студента оцени полноту в баллах (0–5) и поясни.

Если ответ не полный, то ставь оценку только после ответа на уточняющий вопрос».

Оценивание ответа студента осуществляется на основе сопоставления его содержания с эталонным ответом, представленным в виде набора ключевых смысловых элементов. Используемая шкала оценивания носит полуформальный характер и может быть адаптирована в зависимости от специфики дисциплины и типа вопроса, что особенно важно при оценке теоретических ответов по математике, допускающих различные формы корректного изложения материала.

Данный метод ориентирован на использование в рамках дисциплин, где контроль знаний предполагает анализ развернутых теоретических ответов и рассуждений, например, в высшей математике.

Предложенный метод использования искусственного интеллекта для оценки знаний решает основные проблемы традиционных методов оценивания: значительные затраты времени преподавателя на проверку ответов и отсутствие учёта индивидуальных особенностей студента. Благодаря автоматизации преподаватель меньше времени тратит на проверку ответов и может больше

времени уделить методикам образования. Благодаря уточняющим вопросам система не просто фиксирует неполный ответ, но и дает возможность студенту уточнить свой ответ, что позволяет учитывать индивидуальные особенности студентов. Эта система позволяет снизить вероятность случайных ошибок и попаданий. Также эта система дает быструю обратную связь, что способствует лучшему усвоению материала.

Поэтому требуется разрабатывать индивидуальный подход при решении вопроса: в какой мере использовать ресурсы искусственного интеллекта при оценке знаний студентов.

Пример использования искусственного интеллекта для оценки знаний представлен на рис. 1.

Студенту задали вопрос: "Что такое дисперсия случайной величины?"

У тебя есть эталонный ответ: "Дисперсия случайной величины — мера разброса значений случайной величины относительно её математического ожидания"

Студент ответил: "Дисперсия это среднеквадратичное отклонение относительно математического ожидания"

1. Сравни, какие части эталонного ответа отсутствуют.
 2. Сформулируй уточняющий вопрос по одному из отсутствующих пунктов.
 3. После ответа студента оцени полноту в баллах (0–5) и поясни.
- Если ответ не полный, то ставь оценку только после ответа на уточняющий вопрос

1. Отсутствует часть:

В ответе студента отсутствует указание на то, что дисперсия является **мерой разброса значений случайной величины**.

2. Уточняющий вопрос:

«Что именно измеряет дисперсия как характеристика случайной величины?»

Ответ студента на уточняющий вопрос: "Дисперсия измеряет степень разброса значений случайной величины"

Итоговая оценка: 5 из 5

Пояснение:

Ответ студента на уточняющий вопрос идеально дополняет его первоначальное утверждение.

Теперь в совокупности получилось полное и точное определение:

Рис. 1. Использование искусственного интеллекта для оценки знаний

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Терехова, М. С.** Смешанное обучение при изучении статистических методов анализа данных / М. С. Терехова, В. А. Даревская, А. И. Якимов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2025. – № 3 (88). – С. 119–132.

УДК 004.7

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «ОРГАНИЗАЙКА»: ИНКЛЮЗИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ДЕТЕЙ С РАССТРОЙСТВОМ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА В ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ

И. И. МИЩЕНКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В последние годы наблюдается значительный рост числа диагностируемых случаев расстройств аутистического спектра (РАС) как в Беларуси, так и во всём мире. Дети с РАС нуждаются в особом подходе к обучению, коммуникации и организации повседневной жизни. Традиционные методы поддержки (например, ТЕАССН, АВА, визуальные расписания) доказали свою эффективность, однако их цифровые аналоги зачастую либо отсутствуют, либо не адаптированы под русскоязычную аудиторию, дороги или недостаточно гибки.

В ответ на эту социальную потребность разработан проект «Организайка» – веб-приложение, созданное с учётом сенсорных и когнитивных особенностей детей с РАС. Система объединяет функции структурирования дня, эмоциональной поддержки, невербальной коммуникации и обеспечения безопасности в единой, инклюзивной экосистеме.

Основные компоненты приложения. Визуальный менеджер задач – отображает расписание с использованием понятных изображений, таймеров и пошаговых последовательностей. Визуальный чат на основе пиктограмм – позволяет детям, имеющим ограниченную или отсутствующую речь, выражать базовые потребности: «голоден», «устал», «плохо» и др. Трекинг настроения и дневник эмоций – помогает родителям и педагогам отслеживать эмоциональное состояние ребенка и выявлять триггеры стресса. Интеграция текст-в-речь (TTS) – поддерживает вербальную коммуникацию у малоговорящих детей. Функция удалённой прослушки и геолокации – дает родителям возможность оперативно реагировать в кризисных ситуациях, повышая безопасность ребёнка. Разделение ролей «родитель» и «учитель» – предотвращает дублирование задач и конфликты в расписании за счёт отдельных зон ответственности.

Интерфейс приложения разработан с учетом рекомендаций по дизайну для детей с РАС: минимализм, высокая контрастность, предсказуемая навигация, отсутствие всплывающих окон и отвлекающих анимаций. Все персональные данные зашифрованы, а доступ к функциям прослушки и геолокации строго ограничен подтвержденными пользователями.

На рис. 1 представлен интерфейс главного экрана ребенка, а на рис. 2 – панель родителя с возможностями управления задачами и мониторинга.

На текущий момент проект находится на стадии разработки MVP (минимально жизнеспособного продукта). Определена архитектура для трех типов пользователей (ребенок, родитель, учитель), созданы прототипы интерфейсов и выбран технологический стек (React, Node.js).

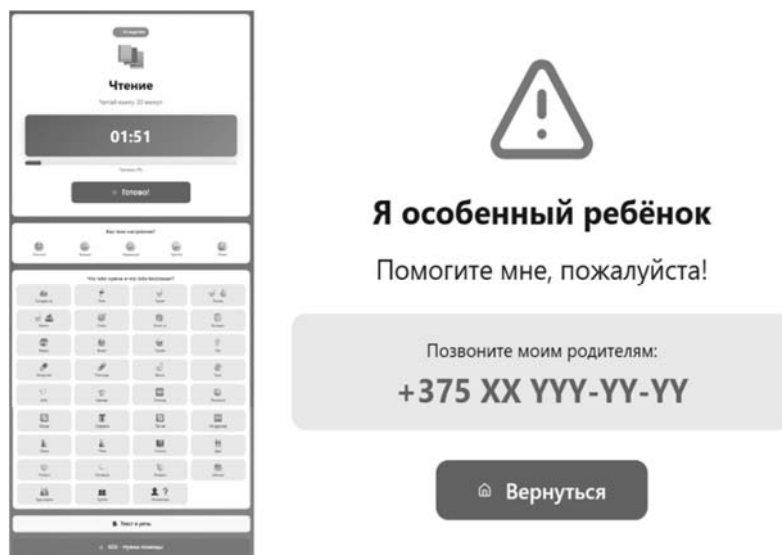


Рис. 1. Интерфейс главного экрана ребенка в приложении «Организайка»

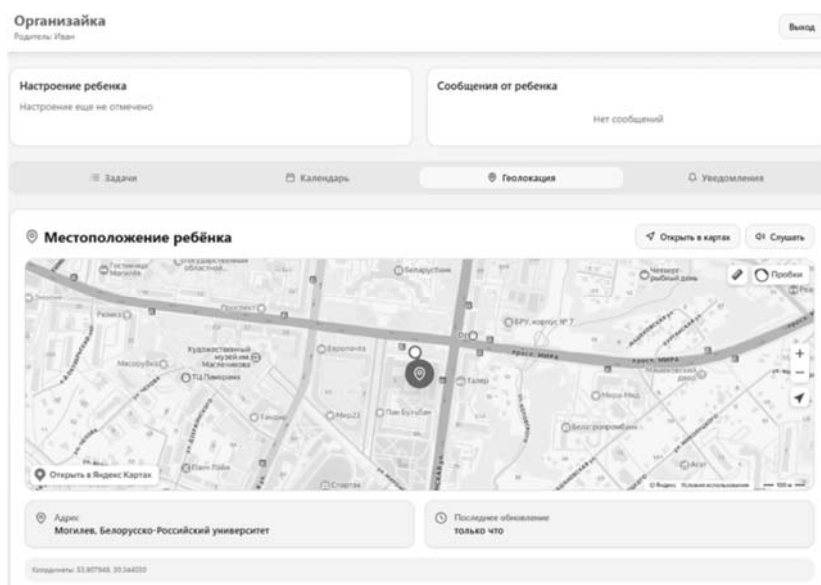


Рис. 2. Интерфейс панели родителя: управление задачами и функции безопасности

Проект ориентирован на социальную номинацию и готов к пилотному тестированию в коррекционных классах и центрах ранней помощи. В перспективе планируется:

- разработка мобильных приложений для iOS и Android;
- интеграция с системами телемедицины;
- внедрение ИИ-аналитики поведения для персонализированных рекомендаций;
- масштабирование на страны СНГ за счет локализации.

«Организайка» – это не просто цифровой инструмент, а шаг к построению более инклюзивного общества, где дети с РАС получают поддержку, соответствующую их уникальным потребностям.

УДК 004.89

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ КОРРЕКЦИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ HIP-SPINE-СИНДРОМА

И. И. МИЩЕНКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современные системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) используют методы глубокого обучения для анализа рентгеновских снимков. Особенно актуальной является задача диагностики HIP-SPINE-синдрома – состояния, при котором патологии позвоночника и тазобедренных суставов взаимно усугубляют симптоматику. Однако точность автоматизированного анализа напрямую зависит от качества исходных изображений, которые в клинической практике часто страдают от низкой яркости, плохого контраста и шумов.

Для повышения качества предварительной обработки разработан ансамбль нейронных сетей, реализующий параллельную коррекцию яркости и контраста. В отличие от традиционного последовательного подхода (сначала яркость, затем контраст), предложенная архитектура учитывает взаимозависимость этих параметров и выполняет их согласованную коррекцию за один проход.

Ансамбль состоит из двух специализированных регрессоров (для яркости и контраста) и центральной управляющей сети на основе ResNet18. Модель обучена на уникальном наборе из 2116 парных рентгенограмм с экспертной разметкой «Bad/Good», где «Good» – эталонные изображения, подготовленные рентгенологами. Для повышения обобщающей способности использована аугментация только некачественных снимков, что позволило модели научиться адаптироваться к широкому спектру артефактов, встречающихся в реальной практике [1].

В ходе экспериментов параллельная архитектура достигла комплексной оценки качества 94 %, что на 15 % выше, чем у последовательного подхода, и на 17 % выше, чем у базовых методов без адаптивной обработки. Скорректированные изображения демонстрируют лучшую читаемость, сохраняют анатомические детали и обеспечивают более высокую точность последующей диагностики. Особенно заметно преимущество на снимках с крайне низким исходным качеством.

На рис. 1 представлен пример коррекции рентгенограммы: исходное изображение (Bad), результат параллельной коррекции (Corrected) и эталон (Good).

В то же время последовательная обработка демонстрирует систематические ошибки, связанные с накоплением искажений. Например, при низкой исходной яркости сеть яркости может чрезмерно ее снизить, сузив динамический диапазон. Сеть контраста, работая с таким «сжатым» изображением, пытается его «раскрыть», что приводит к переусилению контраста и потере деталей в тенях.

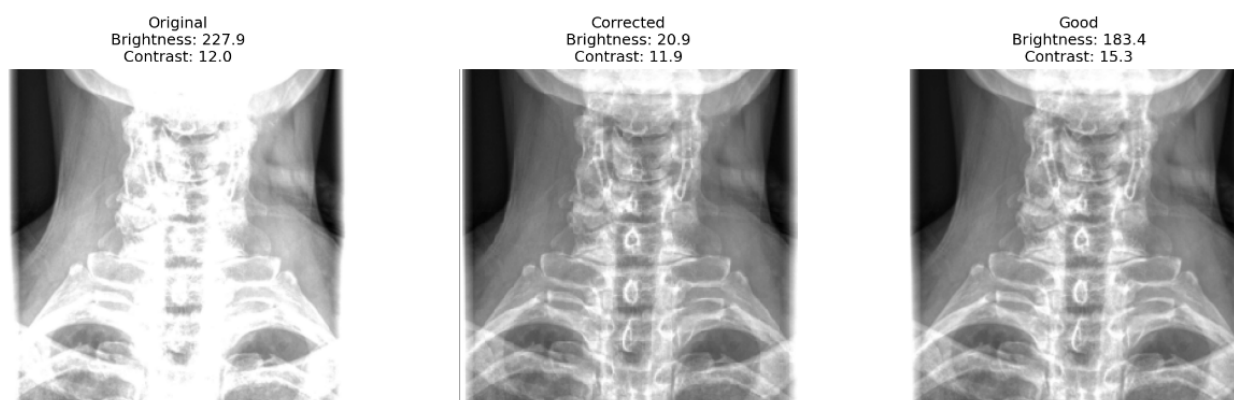


Рис. 1. Сравнение исходного, скорректированного и эталонного изображений при параллельном подходе

На рис. 2 показан типичный результат последовательной обработки. Несмотря на попытку улучшения, изображение становится неестественным, с чрезмерными переходами и утратой диагностически значимых деталей.

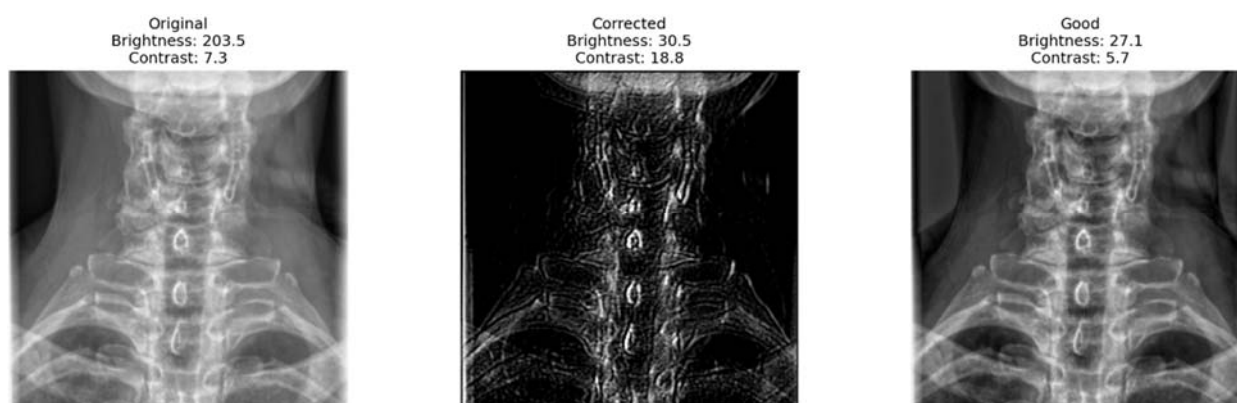


Рис. 2. Сравнение исходного, скорректированного и эталонного изображений при последовательном подходе

Кроме лучшего качества, параллельная обработка оказалась на 15 % быстрее, поскольку исключает промежуточный этап и использует более компактный вычислительный граф.

Таким образом, предложенный подход подтверждает гипотезу о том, что учет взаимосвязи яркости и контраста на этапе предварительной обработки критически важен. Это не только улучшает визуальное качество, но и повышает точность всей СППВР. Модуль легко расширяем и может быть адаптирован для КТ, МРТ и других модальностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мищенко, И. И.** Ансамбль нейронных сетей для предварительной обработки изображений в рамках систем поддержки принятия врачебных решений / И. И. Мищенко // XXII Нац. конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием (КИИ-2025) : в 2 ч. – СПб., 2025. – Т. 2. – С. 195–204.

Т. В. МРОЧЕК

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Firefly Algorithm (алгоритм светлячков) – метод роевого интеллекта, широко используемый для решения задач многомерной оптимизации [1]. Его преимуществом является то, что если в задаче есть несколько хороших решений, то агенты («светлячки») не соберутся в одной точке (т. е. не попадут все в один, скорее всего, локальный экстремум), а разделятся на несколько групп вокруг каждого хорошего решения, что дает возможность выбора наилучшего.

Баланс между скоростью сходимости и риском застревания в локальных экстремумах в Firefly Algorithm позволяет регулировать параметр рандомизации α , реализующий механизм случайного поиска и определяющий степень случайного перемещения агента для предотвращения его застревания в локальных экстремумах.

Целью данной работы является изучение возможностей управления значениями параметра рандомизации α в ходе работы алгоритма.

При поиске оптимума привлекательность β агента роя для других агентов зависит от его яркости I , при этом движение агента представляет собой направленный дрейф в сторону более яркого соседа. На расстоянии r реальная привлекательность β из-за поглощения света средой, задаваемого коэффициентом γ , начинает уменьшаться относительно начального β_0 по закону $\beta_0 / (1 + \gamma r^2)$ [2]. Если агент «видит» несколько более ярких особей, его результирующее перемещение становится суперпозицией притяжений ко всем им с учетом случайного отклонения, задаваемого α , для расширения области поиска и предотвращения застревания в локальных экстремумах.

Известен ряд способов управления значениями параметра рандомизации α .

В классической формулировке Firefly Algorithm α – фиксированная константа в диапазоне $[0, 1]$, чаще всего $\alpha = 0,5$. Фиксированное значение α приводит к сохранению одинаковой степени хаотичности перемещения на протяжении работы алгоритма, что может ближе к окончанию мешать поиску экстремума, т. к. светлячки будут продолжать слишком сильно менять свои координаты. При малых α агенты могут застревать в локальных экстремумах, а при больших α рой агентов не всегда сможет оказаться в точке оптимума.

При линейном уменьшении $\alpha_t = \alpha_0 (1 - t/T)$, где α_0 – значение α на первой итерации алгоритма, t – текущая итерация, T – максимальное число итераций.

При экспоненциальном уменьшении обычно используется упрощенная формула $\alpha_t = \alpha_0 \theta^t$, где чаще всего $\theta \in [0,95...0,99]$, что позволяет быстрее перейти к локальному уточнению экстремума [3]. На последних итерациях алгоритма наиболее эффективными являются значения $\alpha \rightarrow 0,001$. Недостатком является риск слишком быстрой сходимости к локальному экстремуму.

Типовой способ адаптивного изменения α заключается в том, что если на протяжении нескольких итераций найденное решение не меняется, то α увеличивается для вывода агентов из локальной ловушки. Если найденное решение улучшается, α уменьшается. Недостатком здесь является сложность формализации критерия застревания алгоритма в локальных экстремумах.

Существуют также способы адаптивного управления α исходя из расстояния между агентами. Например, α можно рассчитывать на каждом шаге t как функцию от максимального расстояния D между любыми двумя агентами, автоматически уменьшая α при схождении алгоритма к оптимуму: $\alpha_t = \alpha_0 D_t / D_0$.

Одним из весьма перспективных подходов является адаптивное управление случайным поиском через задание для каждого агента своего собственного значения α . Для самых ярких агентов α устанавливается очень маленьким, с тем чтобы такие агенты не смогли далеко удалиться от найденного экстремума. Для тусклых агентов, наоборот, α должен иметь достаточно высокие значения, чтобы обеспечить для них возможность активного перемещения в области поиска.

Подход к заданию для каждого агента своего собственного значения α был проанализирован для задачи курьерской доставки – расчета маршрутов доставки грузов для множества машин. Светлячком тут является вариант маршрута. Если маршрут получается по длине выше среднего по рою, то значение α должно увеличиваться, что заставит данный маршрут сильнее менять порядок точек, т. е. делать резкие перестановки, чтобы попытаться сократить маршрут. Предложено также учитывать, насколько доставка успевает к клиентам. В данной работе предложена следующая формула для вычисления α для каждого агента: $\alpha_i = \alpha_0 (S_i / S_{worst})^2$, где α_0 – начальное значение α ; S_i – текущий суммарный штраф i -го агента, $S_i = w_1 \Delta L_i + w_2 \Delta T_i$, ΔL – лишние километры сверх лимита; ΔT – опоздание курьера в минутах; w_1 и w_2 – весовые коэффициенты, позволяющие учесть значимость превышения длины маршрута и опоздания (были приняты $w_1 = 1$, $w_2 = 4$); S_{worst} – штраф самого тусклого агента в рое. Если курьер успевает ко всем клиентам, α имеет небольшие значения, близкие к 0,1. Если курьер опаздывает, α принимает большие значения, ближе к 0,8.

Для проверки были взяты алгоритм с константой $\alpha = 0,5$ и алгоритм, в котором α рассчитывался по указанной формуле. Рассматривалась доставка от 20 до 50 заказов несколькими машинами (от 3 до 5). Расчет по данной формуле позволил находить маршруты с меньшим в среднем на 11 % количеством опозданий к клиентам. Таким образом, данная формула позволяет вынудить более тусклых агентов активнее искать маршруты, близкие к оптимальным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родзин, С. И. Машинное обучение: метаэвристики дифференциально-векторного движения / С. И. Родзин, О. Н. Родзина. – Чебоксары : Среда, 2024. – 140 с.
2. Firefly algorithm: overview, applications, and modifications / A. Shaban, S. Almufti, R. Asaad, R. Ali // Journal of Image Processing and Intelligent Remote Sensing. – 2025. – Vol. 5, № 5. – P. 1–16.
3. Mohan, K. An Improved Firefly Algorithm for Mining High Utility Itemsets / K. Mohan, J. Anitha // Eng. Technol. Appl. Sci. Res. – 2025. – Vol. 15, № 5. – P. 27922–27930.

Т. А. ПОЛЯКОВА, А. М. СЕРГЕЕВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В образовательном процессе вуза для контроля качества знаний по учебным дисциплинам широко используются тестовые задания. Генерация вопросов и ответов с помощью нейропомощников позволяет создать индивидуальные равноценные тесты для студентов без повторения заданий, с разнообразными по сложности вопросами из изучаемой темы или курса в целом. Нейронная сеть является инструментом для создания текста по конкретной инструкции, поэтому написанный простой и односложный запрос к искусственному интеллекту не оправдывает ожидаемый уровень получаемых заданий и ответов.

Для генерации контента высокого уровня необходимо использовать качественные запросы – промты, что является ключевым моментом в работе с лингвистическими моделями нейронной сети. При разработке промта выделяют такие основные принципы, как четкость, лаконичность, контекст, полнота.

Предлагаем следующую структуру запроса в чате искусственного интеллекта для генерации тестов (на примере специальной дисциплины):

- обозначение роли (ты – опытный эксперт-преподаватель вуза);
- контекст и цель (тебе нужно составить тестовые задания для проверки знаний по теме «Строительство асфальтобетонных покрытий» и др.);
- четкая формулировка задания (напиши 10 вариантов заданий по 30 вопросов каждый с тремя вариантами ответов, один из которых верный и т. д.);
- детали и требования (объем вопроса до 10 слов, академический стиль написания и профессиональная лексика, вопросы должны включать контроль качества выполнения дорожно-строительных работ, правильные ответы предоставь отдельным блоком и т. д.). При наличии примеров-референсов можно прикрепить ссылку на них;
- формат вывода (тесты выведи в формате: заголовок, номер варианта, варианты вопросов 1–30, варианты ответов обозначь А, Б, С и т. д.).

Все требования соединяются в один промт, который может занимать до одной страницы, и он отправляется в чат. Сгенерированные искусственным интеллектом варианты тестовых заданий необходимо тщательно проанализировать, чтобы исключить ошибки и неточности. Возможно, потребуется несколько итераций для достижения требуемого уровня.

Разработав один раз детальную инструкцию-шаблон для нейросети, задача в дальнейшем будет заключаться лишь в изменении темы для контроля.

Использование промтов, составленных по приведенной схеме, обеспечивает экономию ресурсов и времени, повышая качество образовательного процесса.

Рекомендуем преподавателям внедрять в работу данный подход в работе с искусственным интеллектом, исключая при этом слепое копирование.

УДК 004.42:669

СТРУКТУРА ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ АРХИТЕКТУРЫ ЭВМ

Ю. Д. СТОЛЯРОВ, В. М. КОВАЛЬЧУК, В. Т. САДОВСКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Широкое внедрение в учебный процесс современных информационных технологий позволяет использовать их для более качественной подготовки студентов. При этом появляется возможность работы студентов не только непосредственно на учебных занятиях, но и дома. Особенно плодотворно их можно использовать в дистанционном и заочном обучении при отсутствии регулярного контакта с преподавателем. Это касается лабораторных работ, где приходится использовать дорогостоящее оборудование. В этом случае актуально использование виртуальных лабораторий в учебном процессе, т. к. не требуется организации специальных учебных мест и выполнение работы может проводиться с любого компьютера. В работе рассматривается виртуальная лаборатория, которая позволяет проводить обучение с дистанционным доступом, а также проведение лабораторных работ по изучаемому предмету не на физическом оборудовании, а с помощью эмуляторов различных блоков ЭВМ с использованием программных продуктов.

Цель работы состоит в отличие от известных подходов, моделирующих аппаратную часть ЭВМ и процесс ее сборки из отдельных элементов, в разработке программной реализации действий, выполняемых в ЭВМ, и визуального представления последовательности выполняемых операций. При изучении работы ЭВМ желательно, чтобы обучающийся мог зрительно шаг за шагом видеть процесс обработки информации внутри самого компьютера. Этого можно достичь, моделируя эти процессы с использованием виртуальных технологий, в которых реальные физические блоки ЭВМ эмулированы с помощью программного обеспечения. Структура такого подхода к обучению приведена ниже. Вся необходимая информация будет находиться на сервере учебного заведения и, используя интернет (рис. 1), можно получить доступ к ней из любого места.

Вся информация, необходимая для проведения лабораторных работ, находится на сервере в базе данных. Работа по выполнению лабораторных работ происходит следующим образом. Пользователи, используя компьютер, ноутбук или планшет, через интернет могут подключиться к серверу учебного заведения. На сервере учебного заведения находится приложение, с помощью которого осуществляется доступ к лабораторному практикуму, хранящемуся в базе данных. Подключение приложения к интернету осуществляется с использованием IP-адреса. Каждая лабораторная работа содержит краткую информацию для ее выполнения. Выполнение работы ведется пошагово в автоматическом или пошаговом режиме. В первом случае, введя исходные данные, получаем окончательный результат, используемый в дальнейшем для проверки.

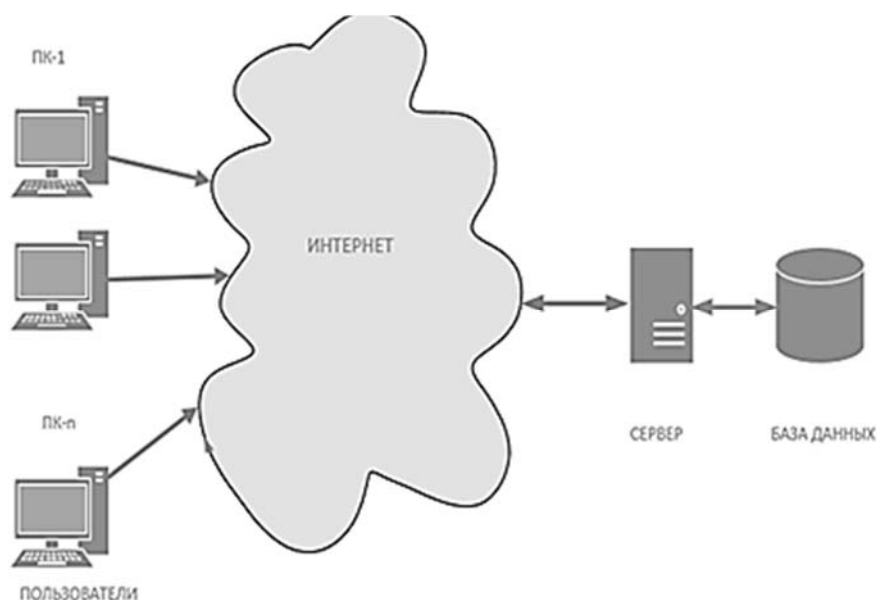


Рис. 1. Структура виртуальной лаборатории

Выполнение работы в пошаговом режиме происходит следующим образом. Для лучшего усвоения материала на каждом шаге выполнения операции интерфейс графически разделяется на две части. С одной стороны, вводятся необходимые теоретические данные, с другой – эмулируется соответствующий узел устройства, в котором производится их обработка, с находящимися в нем данными. По окончании пошаговой обработки информации выводится результат с соответствующим пояснением. При попытке введении неправильной информации появляется сообщение об ошибке с подсказкой. Цифровые данные вводятся в десятичном виде, а т. к. машина работает с двоичной информацией, то визуально при вводе данных происходит ее преобразование в двоичный код с учетом знака, а после завершения операции результат опять представляется в десятичном виде. Действия над операндами проводятся поразрядно, что дает возможность наглядно продемонстрировать различие результатов логических и арифметических операций над одноименными разрядами. При изучении работы различных видов памяти для наглядности свободные и занятые ячейки окрашиваются в различные цвета. Это позволяет лучше понять работу этих устройств, особенно при дефрагментации. Цикл работ по изучению архитектуры ЭВМ включает в себя работы по исследованию арифметико-логического устройства, кэш-памяти, оперативного запоминающего устройства и различных преобразователей информации. Все программное обеспечение написано с использованием языков программирования Python и C++.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

А. И. ЯКИМОВ, Я. В. СМЫЧКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Цифровизация управления [1] является процессом трансформации управленческих практик посредством цифровых технологий. Этот процесс охватывает множество аспектов, включая автоматизацию процессов, внедрение ИИ для анализа данных, цифровизацию клиентского опыта и повышение операционной эффективности. В рамках данной работы выбран аспект цифровизации управления производственной документацией. Разрабатываемая информационная система предназначена для реализации цифровизации управления с использованием интеллектуальных технологий, таких как Retrieval-Augmented Generation (далее – RAG). Интеллектуальные технологии интегрируются в эту парадигму для решения задач поиска и анализа информации в базах документов.

Проблемы, решаемые интеллектуальными технологиями в цифровизации управления, связаны с ограничениями существующих подходов к поиску и обработке информации. Система на основе RAG [2] устраняет эти проблемы, обеспечивая доступ к производственным знаниям через запросы на естественном языке. Ниже приведены ключевые проблемы.

1. Классические системы поиска по ключевым словам не учитывают контекст и синонимы, что приводит к пропуску релевантных технических документов и отчетов.

2. Знания опытных сотрудников остаются в неструктурированных файлах и личных хранилищах, недоступными для новых сотрудников. Существует необходимость постоянной коммуникации между новыми сотрудниками и самыми опытными для получения релевантной информации, что не всегда возможно.

3. Анализ сотрудником больших объемов отчетов и инструкций без единой специализированной информационной системы приводит к упущениям критически важных деталей при срочных операционных задачах.

4. Сотрудники тратят значительное время на поиск информации по разрозненным системам вместо выполнения производственных задач.

5. Сотрудники могут использовать неактуальные версии документов из-за отсутствия системы контроля версий и уведомлений об обновлениях или какие версии рекомендуется использовать с какого момента времени.

Все вышеперечисленные проблемы решаются с помощью разрабатываемой информационной системы. Информационная система индексирует все документы в единую базу, предоставляя ответы с точными ссылками на источники инструкций, планов и технической документации, т. е. с указанием конкретных документов и страниц в них. Адаптация нового сотруд-

ника ускоряется за счет мгновенного доступа к релевантной информации без необходимости постоянной связи с более опытным сотрудником, что в свою очередь оптимизирует время опытного сотрудника на решение более сложных задач. В то же время использование информационной системы повышает точность решений за счет минимизации человеческого фактора при анализе документации.

Система поиска информации на базе RAG [2] использует языковые модели (например, Gemma3 или Qwen3) для генерации ответов и эмбединговые модели (например, mxbai-embed-large) для возможности перевода текстовой информации в вид, в котором тексты можно сравнивать по смыслу, а также векторные хранилища (например, Qdrant) для индексации технической документации, инструкций и отчетов, загружаемых пользователями. По запросу на естественном языке система извлекает релевантные текстовые фрагменты из векторного хранилища и передает их языковой модели, а языковая модель формирует ответы. При этом система предоставляет информацию об использованных источниках, т. е. на каких страницах документов можно найти информацию, на которой основан ответ, для возможности проверки ответа системы человеком.

Разрабатываемая информационная система представляет собой ASP.NET Web API-приложение. Существует возможность добавить клиентское приложение с использованием различных технологий (например, React, Angular, WPF), но реализация клиентского приложения не является важным аспектом, т. к. вся логика обработки запросов находится на стороне API.

История сообщений, а также информация о документах, фрагменты документов, т. е. данные, которые система использует, благодаря архитектуре системы можно легко менять способ и средство хранения данных. Поэтому способ хранения не является значимым аспектом и существует возможность настроить способ хранения в процессе каждого конкретного внедрения системы в индивидуальном порядке. В данный момент реализовано хранение данных в MongoDB, т. к. хранение данных и доступ к ним удобнее всего реализовать именно с помощью этой СУБД.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ влияния цифровизации и интеллектуализации на управление устойчивой экономической деловой практикой. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-tsifrovizatsii-i-intellektualizatsii-na-upravlenie-ustoychivoy-ekonomicheskoy-delovoy-praktikoy> (дата обращения: 22.01.2026).
2. Retrieval-augmented generation. – URL: <https://yandex.cloud/ru/blog/posts/2025/05/retrieval-augmented-generation-basics> (date of access: 22.01.2026).

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИФРОВОГО КЛАСТЕРА «ВУЗ-ПРОИЗВОДСТВО»

А. И. ЯКИМОВ, Е. А. ЯКИМОВ, Н. А. ЧИГИЛОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Необходимость повышения эффективности совместной работы вузов и предприятий, создание платформ для инновационного сотрудничества, обмена знаниями и опытом, а также внедрения новейших технологий в образовательный процесс является актуальной задачей. Цифровой кластер «ВУЗ-Производство» [1] можно представить как множество взаимодействующих компонентов (агентов), включающих: вузы (преподаватели, студенты, исследователи); производственные предприятия; платформы для обмена данными и ресурсами; информационные системы для совместного управления проектами. Каждый агент имеет свои характеристики и цели, которые влияют на его поведение и взаимодействие с другими агентами.

Основная цель – оптимизация взаимодействия между вузами и производственными предприятиями для повышения эффективности образования и производства.

Задачи. Анализ текущих процессов взаимодействия. Моделирование предлагаемых изменений. Оценка эффективности предложенных решений.

Формализация взаимодействий. Пусть: A_i – агент (вуз или предприятие) i ; X – множество характеристик агентов (например, количество специалистов, уровень квалификации, доступ к ресурсам); C – стоимость взаимодействия между агентами (например, затраты на обучение, ресурсы проекта).

Функция полезности для каждого агента может быть определена в виде $U_i = f(X_i, C_{ij}, P)$, где U_i – полезность агента i ; f – функция, выражающая зависимость полезности от характеристик X_i , затрат C_{ij} на взаимодействие и других параметров P (например, времени, качества обучения).

Для достижения максимальной общей полезности оптимизационная задача может быть сформулирована в виде

$$\max U = \sum_{i=1}^N U_i = f(X_i, C_{ij}, P)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^M C_{ij} = B_i \quad \forall i \in [1, \dots, N],$$

где N – количество агентов; M – количество типов взаимодействий; B_i – бюджет (например, финансовые затраты).

Для решения задачи можно использовать методы агентно-ориентированного моделирования [2] для определения поведения агентов, методы оптимизации (например, генетические алгоритмы, линейное программирование) для поиска оптимальных решений.

Постановка задачи исследования и проектирования организационно-технической системы «Цифровой кластер «ВУЗ-Производство» через математическую модель позволит эффективно оценить и оптимизировать взаимодействия между участниками кластера, что в конечном итоге приведет к улучшению результатов как в образовательной, так и в производственной сферах.

Оценка стоимости взаимодействия между агентами A_i и A_j в модели цифрового кластера «ВУЗ-Производство» может быть представлена в виде нескольких компонентов, которые учитывают различные аспекты взаимодействия. Стоимость взаимодействия C_{ij} может быть разбита на компоненты: $C_{ij} = C_{com} + C_{res} + C_{tra} + C_{op}$, где C_{com} – затраты на коммуникацию (стоимость обмена информацией между агентами); C_{res} – затраты на ресурсы (финансовые затраты на материальные и нематериальные ресурсы, используемые в процессе взаимодействия); C_{tra} – затраты на трансферы (например, перемещение или логистика, затраты включают в себя перемещение людей или товаров между вузом и производством); C_{op} – операционные затраты (это постоянные и переменные затраты, связанные с функционированием системы).

Оценка весов для каждого компонента стоимости взаимодействия C_{ij} может быть выполнена с использованием различных методов и подходов, например, методом экспертной оценки, методом исторических данных, методом критериального анализа, методами машинного обучения.

Выбор агентно-ориентированного моделирования для анализа взаимодействия вузов и производств может способствовать более эффективному сотрудничеству, инновациям и формированию новых образовательных программ в соответствии с потребностями рынка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ 2665275, МПК G06Q 10/06, G06F 17/40, G05B 19/418. Система управления трудовыми ресурсами предприятия «Цифровой кластер «Предприятие-ВУЗ» : № 201712646 : заявлено 21.07.2017 : опубл. 28.08.2018 / Данилаев Д. П., Маливанов Н. Н.; заявитель и патентообладатель Казан. нац. исслед. техн. ун-т им. А. Н. Туполева (КНИТУ-КАИ).

2. **Аксенов, К. А.** Гибридное моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов: монография / К. А. Аксенов, Н. В. Гончарова. – М. : Акад. Естествознания, 2019. – 222 с.

УДК 004.75

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Э. И. ЯСЮКОВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Киберфизические системы (КФС) представляют собой комплексную интеграцию вычислительных ресурсов с физическими процессами, в которых используются датчики для сбора данных из реального мира и контроллеры для управления оборудованием в режиме реального времени. Эти системы объединяют физические объекты и процессы с вычислительными элементами через сети передачи данных, создают неразрывную связь между цифровыми и физическими элементами и трансформируют современное производство, транспорт, энергетику и многие другие отрасли. КФС лежат в основе очередной промышленной революции и трансформируют современное производство, транспорт, энергетику и многие другие отрасли.

Главная особенность киберфизических систем заключается в непрерывном цикле взаимодействия: датчики собирают данные из физической среды, вычислительные блоки обрабатывают эти данные и принимают решения, а исполнительные механизмы воздействуют на физические процессы. При этом система постоянно адаптируется к изменениям окружающей среды, оптимизируя свою работу.

На сегодняшний день киберфизические системы информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) не получили однозначного определения, т. к. они находятся на пересечении сразу нескольких сфер и в зависимости от реализации способны затрагивать разные аспекты [1, 2].

Функционирование КФС происходит как взаимодействие ее датчиков, собирающих информацию из физической среды, вычислительных блоков, обрабатывающих эти данные и принимающих решения, а также из исполнительных механизмов, которые воздействуют на физические процессы своей работы.

КФС используется также для мониторинга – непрерывного наблюдения за состоянием системы с использованием датчиков, сенсоров и других устройств, которые собирают данные о физических и вычислительных процессах, а также для управления данными в режиме реального времени. Киберфизическая система объединяет физические объекты и процессы с вычислительными элементами через сети передачи данных и содержит три уровня: уровень восприятия, транспортный уровень и прикладной. Каждый из названных уровней имеет возможность выполнять свои функции.

Уровень восприятия является первым в архитектуре КФС и содержит такие устройства, как датчики, которые собирают данные в режиме реального времени из различных источников, используемые для определения и мониторинга физических параметров, таких как температура, местоположение,

давление и т. д. Эти устройства могут преобразовывать цифровые сигналы в данные для обработки.

К функциональным возможностям уровня восприятия относятся такие, как обнаружение изменений в режиме реального времени, сбор и передача данных для анализа, а также преобразование физических сигналов в цифровые.

Вторым уровнем архитектуры КФС является транспортный уровень, который используется для взаимодействия между уровнем восприятия и прикладным уровнем.

На этом уровне данные собираются из датчиков и передаются на прикладной уровень, на котором производится обработка и анализ этих данных.

К механизмам, используемым на данном уровне, относятся коммуникационные интерфейсы, системы управления, устройства обработки и хранения данных, системы обратной связи и системы безопасности.

На последнем, прикладном уровне КФС производится обработка и анализ данных, получаемых из транспортного уровня с помощью интеллектуальных алгоритмов и программного обеспечения. На основе указанного анализа прикладной уровень отправляет команды физическим устройствам в режиме реального времени. На данном уровне производится также оптимизация производительности киберфизической системы.

В данной работе представляется разработанный HTML-документ, имитирующий процессы функционирования КФС, получающей данные из блоков, выполняющих имитацию работы ее вычислительных элементов, обработку данных, получаемых из блоков, имитирующих физическую среду, и оптимизацию процессов управления своей работой. Результаты функционирования указанного HTML-документа представляются в виде текстовых сообщений исследуемой КФС.

Таким образом, киберфизические системы охватывают множество различных отраслей, имеют большой потенциал и способны решить важные проблемы. Однако, несмотря на большой потенциал, существующие КФС еще не совершенны и им предстоит решить множество задач по устранению существующих в них проблем, таких как разнородность данных, надежность, конфиденциальность, безопасность и др. Устранив неполадки в этих аспектах, киберфизические системы выйдут на принципиально новый уровень полезности и эффективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Горбачев, Я. Г.** Киберфизические системы. Методы высокоуровневого проектирования / Я. Г. Горбачев, Ф. Е. Платунов. – СПб. : ИТМО, 2022. – 48 с.
2. **Громаков, Е. И.** Современные технологии. Киберфизические системы: учеб. пособие / Е. И. Громаков, А. А. Сидорова. – Томск : ТПУ, 2021. – 166 с.

УДК 517.977.1

МНОГОТОЧЕЧНАЯ ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ С МНОГОТОЧЕЧНЫМ НЕРАЗДЕЛЕННЫМ КРАЕВЫМ УСЛОВИЕМ НА ФУНКЦИЮ СОСТОЯНИЙ

А. Н. БОНДАРЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рассматривается задача построения возможных управлений $u \in C(I, \mathbb{R}^r)$ и соответствующих функций состояний $x \in C^1(I, \mathbb{R}^n)$ на основе системы соотношений

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + Q(t)u, \quad (1)$$

$$x(\tau_s) = x_s, \quad s = \overline{0, m}, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^k M_i x(t_i) = 0, \quad (3)$$

где $A \in C(I, \mathbb{R}^{n \times n})$, $Q \in C(I, \mathbb{R}^{n \times r})$, $I = [0, \omega]$, $0 = \tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_n \leq \omega$, $0 \leq t_1 < t_2 < \dots < t_k \leq \omega$.

Задача состоит из двух частей, определяемых соотношениями (1)–(3). Соотношения (2) представляют собой условия [1], они относятся к разделенным краевым условиям; (3) – дискретный аналог изопериметрических ограничений на функцию состояний [2]. В более общем виде это условие может быть записано в виде [3, с. 41]

$$\int_0^\omega d\Phi(\tau)x(\tau) = b,$$

где $\Phi(t)$ – вещественная $(m \times n)$ -матричная функция ограниченной вариации; b – вещественный m -вектор.

Целью работы является получение конструктивных достаточных условий разрешимости задачи (1)–(3) и алгоритма построения функций $u(t)$, $x(t)$.

Обозначим $H = \sum_{i=1}^k M_i x(t_i)$. В [4, с. 71] установлено, что при выполнении условия

$$\det H \neq 0 \quad (4)$$

для системы

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + f(t) \quad (5)$$

с условием (3) имеет место не критический случай, при этом решение задачи (3), (5) представимо в виде $x(t) = \int_0^\omega G(t, \tau)f(\tau)d\tau$, где $G(t, \tau)$ – соответствующая мат-

рица Грина [4, с. 72].

На основании [4] при выполнении условия (4) совокупность соотношений (1), (3) приводит к выражению

$$x(t) = \int_0^{\omega} G(t, \tau) Q(\tau) u(\tau) d\tau. \quad (6)$$

Используя условия (2), для отыскания функции $u(t)$ из (6) получена система связанных уравнений первого рода

$$\int_0^{\omega} G(\tau_s, \tau) Q(\tau) u(\tau) d\tau = x_s, \quad s = \overline{0, m}. \quad (7)$$

Очевидно, задача (1)–(3) эквивалентна совокупности соотношений (6), (7).

Далее система (7) записывается в операторном виде

$$T_s u = x_s, \quad (8)$$

где T_s – линейные однородные интегральные операторы, определяемые левой частью (7).

Для анализа системы (8) используется методика [1], при этом вводятся вспомогательные функции $S_i \in C(I, \mathbb{R}^{r \times n})$. Согласно [1], при выполнении условий

$$\det(T_{l+1} M_l S_{l+1}) \neq 0, \quad l = \overline{0, m-1},$$

для функции $u(t)$ имеет место выражение

$$u(t) = M(t, y) + q(t), \quad (9)$$

где $y(t)$ – вспомогательная функция; $M(t, y)$, $q(t)$ – соответственно линейный однородный интегральный оператор из $C(I, \mathbb{R}^r)$ в $C(I, \mathbb{R}^r)$ и функция, построенные по алгоритмам

$$\begin{aligned} M_{r+1}(y_{r+1}) &= M_r(y_{r+1}) - M_r S_{r+1} (T_{r+1} M_r S_{r+1})^{-1} T_{r+1} M_r(y_{r+1}), \\ q_{r+1} &= q_r + M_r S_{r+1} (T_{r+1} M_r S_{r+1})^{-1} (x_{r+1} - T_{r+1} q_r), \quad r = \overline{0, m-1}, \end{aligned}$$

при этом $y_m = y$, $q_m = q$, $M_m(y_m) = M(t, y)$, $M_0 = J$ – тождественный оператор. Аргумент t в $M(t, y)$ означает явную зависимость M от t .

На основе (6), (9) может быть получена функция состояний.

Произвольность функции $y(t)$ может быть использована при учете различных ограничений на управления и функции состояний [2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаптинский, В. Н. Решение многоточечной задачи управления с интегральными ограничениями типа равенств / В. Н. Лаптинский // Дифференциальные уравнения. – 2024. – Т. 60, № 10. – С. 1386–1393.
2. Моисеев, Н. Н. Численные методы в теории оптимальных систем / Н. Н. Моисеев. – М. : Наука, 1971. – 424 с.
3. Зубов, В. И. Лекции по теории управления / В. И. Зубов. – М. : Наука, 1975. – 496 с.
4. Лаптинский, В. Н. Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Мн. : ИМ НАН Беларуси, 1998. – 300 с.

УДК 004.8

АНАЛИЗ ДАННЫХ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ СНИМКОВ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Е. М. БОРЧИК, М. В. АЛЕКСЕЙКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Пусть в результате анализа рентгенологических снимков поясничного отдела позвоночника, показанного на рис. 1, получено множество многомерных данных, которое методами кластерного анализа [1] разделено на группы со сходными признаками наличия либо отсутствия заболеваний позвоночника. В табл. 1 представлено обозначение центров трех кластеров: с наличием патологии, отсутствием патологии, пограничные случаи. Необходимо распознать указанные диагнозы на основании данных из табл. 1 и определить, изменения каких факторов (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4) оказывают в большей степени влияние на переход пациентов и их диагнозов из одного кластера в другие кластеры.

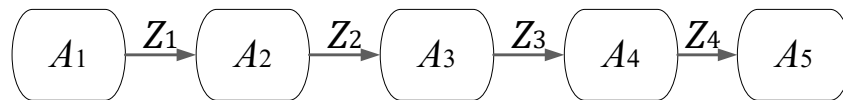


Рис. 1. Измерения четырех расстояний между позвонками в поясничном отделе позвоночника

Табл. 1. Центры кластеров

Кластер	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
1	z_{11}	z_{12}	z_{13}	z_{14}
2	z_{21}	z_{22}	z_{23}	z_{24}
3	z_{31}	z_{32}	z_{33}	z_{34}

Поставим в соответствие центрам кластеров, представленным в строках табл. 1, значения метрик Нейрон возрастания $Neur\_M$, евклидову метрику $Evcl\_M$, метрику $Metric(Neur\_M, Evcl\_M)$, представляющую собой произведение значений $Neur\_M$ и $Evcl\_M$ (табл. 2).

$$Neur\_M(z_{i1}, z_{i2}, z_{i3}, z_{i4}) = z_{i1}w_1 + z_{i2}w_2 + z_{i3}w_3 + z_{i4}w_4, \quad i = 1, \dots, 3,$$

$$w_1, w_2, w_3, w_4 = \text{const}, \quad -w_1 = w_2 + w_3 + w_4, \quad w_2 \leq w_3 \leq w_4, \quad (1)$$

$$Evcl\_M(z_{i1}, z_{i2}, z_{i3}, z_{i4}) = \sqrt{(z_{i1}^2 + z_{i2}^2 + z_{i3}^2 + z_{i4}^2)}, \quad (2)$$

$$Metric(z_{i1}, z_{i2}, z_{i3}, z_{i4}) = Evcl\_M(z_{i1}, z_{i2}, z_{i3}, z_{i4}) \times \\ \times Neur\_M(z_{i1}, z_{i2}, z_{i3}, z_{i4}). \quad (3)$$

Табл. 2. Пример заполненной таблицы с центрами кластеров и значениями метрик (1)–(3) при $w_1 = -0,6$, $w_2 = 0,1$, $w_3 = 0,2$, $w_4 = 0,3$

Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Neur_M	Evcl_M	Cluster	Патология	Metric
0,73	0,93	0,62	0,64	-0,03	1,48	1	+	-0,04
0,60	0,64	0,75	0,72	0,07	1,36	3	$\pm$	0,10
0,80	0,84	0,94	0,92	0,07	1,75	2	-	0,12

Согласно наблюдениям, при $Metric(z_{i1}, z_{i2}, z_{i3}, z_{i4}) < 0$ имеет место патология (остеохондроз поясничного отдела позвоночника), максимальному значению $Metric(z_{i1}, z_{i2}, z_{i3}, z_{i4})$ (3) соответствует отсутствие патологии, среднему значению (3) из трех значений данной метрики для строк кластеров 1–3 соответствуют пограничные случаи относительно наличия диагноза.

Произведен анализ чувствительности [2] изменения метрик Нейрон Neur_M (1) и Евкл_M (2) к изменению значений компонент z_{ij} , $i = 1, \dots, 3, j = 1, \dots, 4$ на двух уровнях для случаев, указанных на рис. 2.

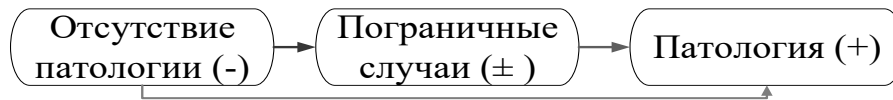


Рис. 2. Переход пациентов между кластерами

Определены в процентах отношения изменений метрики Нейрон Neur_M (1) при изменении соответствующих компонент z_i , отношения изменений евклидовой метрики Евкл_M (2) при изменении соответствующих компонент z_i и определены значения евклидовой метрики от пар отношений, описанных выше и представленных на графиках на рис. 3.

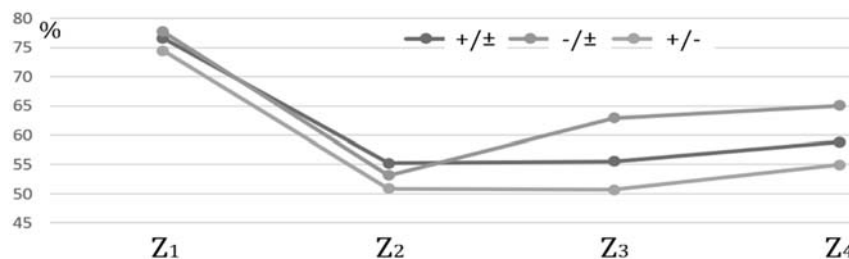


Рис. 3. Итоги анализа чувствительности метрик Neur_M и Евкл_M к изменению значений факторов z_{ij} при переходах между кластерами, указанными на рис. 2

Табл. 3. Чувствительности Neur_M и Евкл_M к изменению компонент z_i при переходе от кластера с наличием патологий к пограничным случаям

"+/-"	N	E	$E(N, E)$
z_1	60	48	77
z_2	10	54	55
z_3	20	52	56
z_4	30	51	59

Табл. 4. Чувствительности Neur_M и Evcl_M к изменению компонент z_i при переходе от кластера с отсутствием патологий к пограничным случаям

"-/+-"	N	E	$E(N, E)$
z_1	60	49	78
z_2	10	52	53
z_3	20	60	63
z_4	30	58	65

Табл. 5. Чувствительности Neur_M и Evcl_M к изменению компонент z_i при переходе от кластера с наличием патологий к кластеру с их отсутствием

"+/–"	N	E	$E(N, E)$
z_1	60	44	74
z_2	10	50	51
z_3	20	47	51
z_4	30	46	55

Анализ данных графиков на рис. 3 и табл. 3–5 позволяет ранжировать отклики (1), (2) по степени чувствительности к изменениям компонент z_i .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борчик, Е. М.** О совместном использовании методов кластерного анализа многомерных данных / Е. М. Борчик, А. И. Якимов, В. В. Башаримов // Доклады БГУИР. – 2011. – № 5 (59). – С. 95–102.
2. **Максимей, И. В.** Имитационное моделирование на ЭВМ / И. В. Максимей. – М. : Радио и связь, 1988. – 232 с.

УДК 517.977.57

СУЩЕСТВОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ, ОПИСЫВАЕМЫМ ЗАДАЧЕЙ ВЫПУКЛОЙ МИНИМИЗАЦИИ

В. Г. ЗАМУРАЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рассмотрим задачу оптимального управления, в которой управляемый процесс описывается некоторой задачей выпуклой минимизации в банаховом пространстве, а управляющим воздействием является изменение целевой функции и допустимой области этой задачи выпуклой минимизации.

Пусть C – метрическое пространство допустимых управлений, F – вещественное рефлексивное банахово пространство, $\{S(c)\}_{c \in C}$ – семейство непустых замкнутых выпуклых неограниченных множеств в пространстве F , $\{\Phi(c, u)\}_{c \in C}$ – семейство собственных функционалов на F , конечных на $S(c)$.

Пусть управляемый процесс описывается решением задачи минимизации функционала $\Phi(c, u)$ на множестве $S(c)$: $u^*(c) = \arg \min_{u \in S(c)} \Phi(c, u)$.

Для того чтобы гарантировать существование и единственность минимизатора $u^*(c)$, потребуем от функционала $\Phi(c, u)$ для каждого $c \in C$ строгой выпуклости, полунепрерывности снизу и коэрцитивности на $S(c)$ [1, с. 44]:

$$\forall c \in C, u \neq v \in S(c) \text{ и } \lambda \in (0, 1)$$

$$\Phi(c, \lambda u + (1 - \lambda)v) < \lambda \Phi(c, u) + (1 - \lambda)\Phi(c, v);$$

$\forall c \in C$ и $u \in S(c)$ $\Phi(c, u) \leq \liminf_{v \rightarrow u} \Phi(c, v)$; $\forall c \in C$ $\Phi(c, u) \rightarrow +\infty$, если $u \in S(c)$, $\|u\| \rightarrow +\infty$.

Пусть функционал $J(c, u): C \times F \rightarrow \mathbb{R}$. Рассматриваемая задача оптимального управления состоит в нахождении управления $c^* \in C$ такого, что

$$c^* = \arg \min_{c \in C} J(c, u^*(c)),$$

где $u^*(c) = \arg \min_{u \in S(c)} \Phi(c, u)$.

Примем ряд предположений. Пусть:

$$1) \bigcap_{c \in C} S(c) \neq \emptyset;$$

$$2) \text{ существует } u_0 \in \bigcap_{c \in C} S(c), \text{ для которого } \sup_{c \in C} \Phi(c, u_0) \leq M < +\infty, M > 0.$$

Предположим, что функционал $\Phi(c, u)$ является строго равномерно выпуклым на $S(c)$ и коэрцитивным по u равномерно относительно $c \in C$;

3) существует неотрицательная возрастающая функция $\delta(t)$, $\delta(0) = 0$, $\delta(t) > 0$ при $t > 0$ такая, что для всех $c \in C$, $u, v \in S(c)$ и $\lambda \in [0, 1]$

$$\Phi(c, \lambda u + (1 - \lambda)v) \leq \lambda \Phi(c, u) + (1 - \lambda) \Phi(c, v) - \lambda(1 - \lambda) \delta(|u - v|);$$

4) существует функция $\alpha(t): \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}$, не зависящая от $c \in C$, такая, что $\alpha(t) \rightarrow +\infty$ при $t \rightarrow +\infty$ и $\Phi(c, u) \geq \alpha(|u|)$ для всех $c \in C$, $u \in S(c)$.

Предположение 3 усиливает условие строгой выпуклости функционала $\Phi(c, u)$, предположение 4 является усилением условия коэрцитивности.

Рассмотрим многозначное отображение $S(c): C \rightarrow 2^F$, $S(c): c \mapsto S(c)$. График этого отображения $G(S) = \{(c, u) \in C \times F : u \in S(c)\}$.

Предположим, что отображение $S(c)$ секвенциально слабо полунепрерывно извне и полунепрерывно изнутри на C [2, с. 24];

5) для всех $c \in C$ и для любой последовательности $(c_n, u_n) \in G(S)$, удовлетворяющей условиям $c_n \rightarrow c$, $u_n \rightharpoonup u$ слабо в F , выполняется $u \in S(c)$;

6) для всех $c \in C$, для любого $u \in S(c)$ и для любой последовательности c_n , сходящейся к c , существует последовательность $u_n \in S(c_n)$ такая, что $u_n \rightarrow u$.

Предположим, что функционал $\Phi(c, u)$ является секвенциально слабо полунепрерывным снизу и полунепрерывным сверху на графике $G(S)$;

7) для любой последовательности $(c_n, u_n) \in G(S)$, удовлетворяющей условиям $c_n \rightarrow c$, $u_n \rightharpoonup u \in S(c)$ слабо в F , выполняется $\Phi(c, u) \leq \liminf_{n \rightarrow \infty} \Phi(c_n, u_n)$;

8) для любой последовательности $(c_n, u_n) \in G(S)$, удовлетворяющей условиям $c_n \rightarrow c$, $u_n \rightarrow u \in S(c)$, выполняется $\Phi(c, u) \geq \limsup_{n \rightarrow \infty} \Phi(c_n, u_n)$.

Из предположения 7 следует полунепрерывность функционала снизу.

Предположим, что функционал $J(c, u)$ полунепрерывен снизу на графике $G(S)$;

9) для любой последовательности $(c_n, u_n) \in G(S)$, удовлетворяющей условиям $c_n \rightarrow c$, $u_n \rightarrow u \in S(c)$, имеет место неравенство $J(c, u) \leq \liminf_{n \rightarrow \infty} J(c_n, u_n)$;

10) пусть также пространство C компактно.

Теорема. Пусть для рассматриваемой задачи оптимального управления выполнены предположения 1–10. Тогда эта задача имеет решение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Экланд, И.** Выпуклый анализ и вариационные проблемы / И. Экланд, Р. Темам. – М. : Мир, 1979. – 400 с.
2. **Burachik, R. S.** Set-valued mappings and enlargements of monotone operators / R. S. Burachik, A. N. Iusem. – New York : Springer, 2008. – 293 p.

УДК 517.925

КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ВАЛЛЕ-ПУССЕНА ДЛЯ ОБОБЩЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО
МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ ЛЯПУНОВА ВТОРОГО ПОРЯДКА

А. И. КАШПАР

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Объектом исследования является краевая задача типа [1]

$$\frac{d^2 \mathbf{X}}{dt^2} = \mathbf{A}(t) \frac{d\mathbf{X}}{dt} + \frac{d\mathbf{X}}{dt} \mathbf{B}(t) + \mathbf{C}_1(t) \mathbf{X} \mathbf{C}_2(t) \mathbf{X} \mathbf{C}_3(t) + \mathbf{F}\left(t, \mathbf{X}, \frac{d\mathbf{X}}{dt}\right), \quad (1)$$

$$\mathbf{X}(0) = \mathbf{M}, \quad \mathbf{X}(\omega) = \mathbf{N}, \quad (2)$$

где $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}_k \in \mathbb{C}(I, \mathbb{R}^{n \times n}) (k = \overline{1, 3})$, $\mathbf{F} \in \mathbb{C}(D, \mathbb{R}^{n \times n})$, $D = \{(t, \mathbf{X}, \mathbf{Y}) : t \in I, \|\mathbf{X}\| < \tilde{\rho}_1, \|\mathbf{Y}\| < \tilde{\rho}_2\}$ ($\mathbf{Y} = d\mathbf{X}/dt$); $0 < \tilde{\rho}_i \leq \infty$, $I = [0, \omega]$, $\omega > 0$; $\mathbf{M}, \mathbf{N}$ – заданные вещественные матрицы. Предполагается также, что функция $\mathbf{F}(t, \mathbf{X}, \mathbf{Y})$ удовлетворяет относительно $\mathbf{X}, \mathbf{Y}$ в области D условию Липшица (локально); кроме того, считается, что $\mathbf{F}(t, \mathbf{X}, \mathbf{Y})$ не содержит линейных относительно $\mathbf{X}, \mathbf{Y}$ слагаемых.

На основе применения конструктивного метода [2] изучены вопросы однозначной разрешимости и построения решения задачи (1), (2) в конечномерной банаховой алгебре $\mathcal{B}(n < \infty)$ непрерывных $n \times n$ -матричных функций с нормой $\|\mathbf{X}\|_c = \max_{t \in I} \|\mathbf{X}(t)\|$, где $\|\cdot\|$ – норма матрицы в рамках определения этой алгебры, например одна из норм, описанных в [3, с. 21]. Результаты дополняют, развивают и обобщают [1].

Здесь понадобятся обозначения и сведения, используемые при исследовании данной задачи: $\gamma = \|\Phi^{-1}\|$, $h_1 = \max_{t \in I} \|\mathbf{M} + \mathbf{P}_{uv}(t) + \mathcal{L}_1(\mathbf{0}, \mathbf{0})\|$, $h_2 = \max_{t \in I} \|\mathbf{Q}_{uv}(t) + \mathcal{L}_2(\mathbf{0}, \mathbf{0})\|$,

$$\lambda_u = \max_{0 \leq s \leq \tau \leq \omega} \|\mathbf{U}(\tau) \mathbf{U}^{-1}(s)\|, \quad \lambda_v = \max_{0 \leq s \leq \tau \leq \omega} \|\mathbf{V}^{-1}(s) \mathbf{V}(\tau)\|, \quad G = \{(t, \mathbf{X}, \mathbf{Y}) : t \in [0, \omega], \|\mathbf{X}\| \leq \rho_1,$$

$$\|\mathbf{Y}\| \leq \rho_2\}, \quad \tilde{G} = \{(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}(t)) : \|\mathbf{X}\|_c \leq \rho_1, \|\mathbf{Y}\|_c \leq \rho_2\}, \quad p_1 = \frac{1}{3} \gamma \lambda_u^2 \lambda_v^2 \omega^3 (2c_1 c_2 c_3 \rho_1 + L_1),$$

$$q_1 = \frac{1}{3} \gamma \lambda_u^2 \lambda_v^2 \omega^3 L_2, \quad p_2 = \frac{1}{2} \gamma \lambda_u^2 \lambda_v^2 \omega^2 (2c_1 c_2 c_3 \rho_1 + L_1), \quad q_2 = \frac{1}{2} \gamma \lambda_u^2 \lambda_v^2 \omega^2 L_2, \quad c_k = \max_{t \in I} \|\mathbf{C}_k(t)\|,$$

$$\mathbf{Z}_c = \begin{pmatrix} \|\mathbf{X}\|_c \\ \|\mathbf{Y}\|_c \end{pmatrix}, \quad \mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_1 & q_1 \\ p_2 & q_2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \end{pmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{Z}}_0 = \begin{pmatrix} \|\mathbf{X}_0\| \\ \|\mathbf{Y}_0\| \end{pmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{Z}}_m = \begin{pmatrix} \|\mathbf{X} - \mathbf{X}_m\|_c \\ \|\mathbf{Y} - \mathbf{Y}_m\|_c \end{pmatrix},$$

где $0 < \rho_i < \tilde{\rho}_i$; $\mathbf{U}(t)$, $\mathbf{V}(t)$ – интегральные матрицы уравнений $d\mathbf{U}/dt = \mathbf{A}(t)\mathbf{U}$ ($\mathbf{U}(0) = \mathbf{E}$), $d\mathbf{V}/dt = \mathbf{VB}(t)$ ($\mathbf{V}(0) = \mathbf{E}$), $\mathbf{E}$ – единичная матрица;

$$\mathbf{P}_{uv}(t) = \int_0^t \mathbf{U}(\tau) \Phi^{-1} (\mathbf{N} - \mathbf{M}) \mathbf{V}(\tau) d\tau, \quad \mathbf{Q}_{uv}(t) = \mathbf{U}(t) \Phi^{-1} (\mathbf{N} - \mathbf{M}) \mathbf{V}(t);$$

$$\Phi - \text{линейный оператор, } \Phi \mathbf{Z}(t) = \int_0^\omega \mathbf{U}(\tau) \mathbf{Z}(t) \mathbf{V}(\tau) d\tau, \quad \mathbf{Z}(t) = \mathbf{U}^{-1}(t) \mathbf{Y}(t) \mathbf{V}^{-1}(t);$$

$L_i = L_i(\rho_1, \rho_2)$ ($i = 1, 2$) – постоянные Липшица для $\mathbf{F}(t, \mathbf{X}, \mathbf{Y})$ в области G ; $\mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2$ – интегральные операторы

$$\mathcal{L}_1(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \int_0^t \mathbf{U}(\varphi) \Phi^{-1} \left(\int_0^\omega \mathbf{U}(\tau) \left(\int_\tau^\varphi \mathbf{U}^{-1}(s) (\mathbf{C}_1(s) \mathbf{X}(s) \mathbf{C}_2(s) \mathbf{X}(s) \mathbf{C}_3(s) + \right. \right. \\ \left. \left. + \mathbf{F}(s, \mathbf{X}(s), \mathbf{Y}(s)) \right) \mathbf{V}^{-1}(s) ds \right) \mathbf{V}(\tau) d\tau \right) \mathbf{V}(\varphi) d\varphi,$$

$$\mathcal{L}_2(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \mathbf{U}(t) \Phi^{-1} \left(\int_0^\omega \mathbf{U}(\tau) \left(\int_\tau^t \mathbf{U}^{-1}(s) (\mathbf{C}_1(s) \mathbf{X}(s) \mathbf{C}_2(s) \mathbf{X}(s) \mathbf{C}_3(s) + \right. \right. \\ \left. \left. + \mathbf{F}(s, \mathbf{X}(s), \mathbf{Y}(s)) \right) \mathbf{V}^{-1}(s) ds \right) \mathbf{V}(\tau) d\tau \right) \mathbf{V}(t).$$

Вместо задачи (1), (2) рассматривается эквивалентная интегральная задача

$$\mathbf{X}(t) = \mathbf{M} + \mathbf{P}_{uv}(t) + \mathcal{L}_1(\mathbf{X}, \mathbf{Y}), \quad (3)$$

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{Q}_{uv}(t) + \mathcal{L}_2(\mathbf{X}, \mathbf{Y}). \quad (4)$$

Лемма. Пусть выполнены условия

$$p_1 \rho_1 + q_1 \rho_2 + h_1 \leq \rho_1, \quad p_2 \rho_1 + q_2 \rho_2 + h_2 \leq \rho_2, \quad p_1 + q_2 < 1. \quad (5)$$

Тогда задача (3), (4) однозначно разрешима на множестве $\tilde{G}$, при этом справедлива оценка

$$\mathbf{Z}_c \leq (\mathbf{E} - \mathbf{P})^{-1} \mathbf{H}. \quad (6)$$

Теорема. Пусть оператор Φ однозначно обратим и выполнены условия (5). Тогда задача (1), (2) однозначно разрешима в области G , при этом справедлива оценка (6).

Для построения решения задачи (1), (2) используется классический метод последовательных приближений применительно к эквивалентной системе интегральных уравнений (3), (4)

$$\mathbf{X}_m(t) = \mathbf{M} + \mathbf{P}_{uv}(t) + \mathcal{L}_1(\mathbf{X}_{m-1}, \mathbf{Y}_{m-1})(t), \quad \mathbf{Y}_m(t) = \mathbf{Q}_{uv}(t) + \mathcal{L}_2(\mathbf{X}_{m-1}, \mathbf{Y}_{m-1})(t), \quad m = 1, 2, \dots,$$

где в качестве начального приближения принимаются произвольные матрицы-функции $\mathbf{X}_0, \mathbf{Y}_0 \in \mathbb{C}(I, \mathbb{R}^{n \times n})$, принадлежащие множеству $\tilde{G}$.

Изучены вопросы сходимости, скорости сходимости приведенного алгоритма, при этом получены оценки

$$\mathbf{Z} \leq \tilde{\mathbf{Z}}_0 + (\mathbf{E} - \mathbf{P})^{-1} \mathbf{Z}_0, \quad \tilde{\mathbf{Z}}_m \leq (\mathbf{E} - \mathbf{P})^{-1} \mathbf{P}^m \mathbf{Z}_0,$$

где $\mathbf{Z}_0 = \text{colon}(\|\mathbf{X}_1 - \mathbf{X}_0\|_c, \|\mathbf{Y}_1 - \mathbf{Y}_0\|_c)$. При $\mathbf{X}_0 = 0, \mathbf{Y}_0 = 0$ имеет место $\mathbf{Z}_0 = \mathbf{H}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Лаптинский, В. Н. Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Мн. : ИМ НАН Беларуси, 1998. – 300 с.
3. Демидович, Б. П. Лекции по математической теории устойчивости / Б. П. Демидович. – М. : Наука, 1967. – 472 с.

УДК 533.6

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ФОЛКНЕРА – СКЭН

В. Н. ЛАПТИНСКИЙ, А. А. РОМАНЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Задача о динамическом ламинарном пограничном слое в автомоделном случае описывается уравнением Фолкнера – Скэн [1, с. 160; 2, с. 177]

$$f''' + a f f'' + b(1 - f'^2) = 0, \quad (1)$$

с граничными условиями

$$f(0) = f'(0) = 0, \quad f'(\infty) = 1, \quad (2)$$

где $f' = df(\eta)/d\eta$, $a = (m+1)/2$, $b = m$; m – параметр, характеризующий скорость $U(x) = U_0 x^m$ внешнего течения, при этом, согласно [1, 2], $0 \leq m \leq 1$.

Уравнение (1) с граничными условиями (2) используется для расчета аэродинамического сопротивления и теплообмена в различных технических устройствах, где важны эффекты сжимаемости и нагрева. Точное решение задачи (1), (2) получить принципиально невозможно. Величина $\lambda = f''(0, m)$ является важной физической характеристикой пограничного слоя, несущей информацию о касательном напряжении на обтекаемой поверхности и связанной с расчетом коэффициента теплоотдачи. Нахождение этой величины сопутствует всем приближенным методам (аналитическим и численным) решения задачи (1), (2). Ввиду очевидной важности аналитических приближений разработка конструктивных подходов к этой задаче является актуальной. В [3] изложена аналитическая методика построения ее решения, развитию которой посвящен цикл [4] исследований авторов данной работы, в которой предлагается метод нахождения величины λ , основанный на физическом смысле $f'(\eta)$ – безразмерный профиль скорости в пограничном слое. На стенке ($\eta = 0$) $f'(0) = 0$ – прилипание, на внешней границе ($\eta \rightarrow \infty$) $f'(\eta) \rightarrow 1$ – скорость внутри слоя стремится к скорости внешнего потока. На практике пользуются понятием пограничного слоя конечной толщины [1, 2], при этом $f'(\infty) \cong f'(\eta^* = 10) = 0,99(9)$, где η^* определяет безразмерную толщину динамического пограничного слоя, а количество девяток – точность, с которой его следует определить.

Решение задачи (1), (2) ищется в виде

$$f(\eta) = \eta - \int_0^\eta e^{-\int_0^\tau \varphi(\xi) d\xi} d\tau; \quad (3)$$

оно подчинено граничным условиям (2), а вспомогательная функция $\varphi(\eta)$ определяется соответствующим степенным рядом по степеням η , в частности полиномом третьей степени

$$\varphi(\eta) = \alpha + \beta\eta + \gamma\eta^2 + \delta\eta^3, \quad (4)$$

коэффициенты которого подлежат нахождению.

Последовательное дифференцирование (3) с учетом граничных условий (2), а также значений функции $\varphi(\eta)$ и ее производных приводит к системе алгебраических уравнений, из которой определяются коэффициенты полинома (4):

$$\alpha = f''(0) = \lambda, \quad \beta = \lambda^2 - m, \quad \gamma = \frac{\lambda}{2}(2\lambda^2 - 3m), \quad \delta = \lambda^4 - \lambda^2 \frac{21m+1}{12} + \frac{m^2}{2}.$$

Значения λ вычисляются из уравнения

$$\tilde{\varphi}(\eta^*, \lambda) - 3 \ln 10 = 0, \quad (5)$$

где $\tilde{\varphi}(\eta^*, \lambda) = \alpha \eta^{*4} + \beta \eta^{*3}/2 + \gamma \eta^{*2}/3 + \delta \eta^{*4}/4$.

В табл. 1 приведены значения λ , полученные из уравнения (5), а также точные значения λ , найденные численным методом для дискретных $m = \theta/(2\pi - \theta)$ ($0 \leq \theta \leq \pi$), где θ – угол атаки набегающего потока.

Табл. 1. Значения $\lambda = f''(0, m)$

θ	Точные	Из уравнения (5)
0,0 π	0,33205730	0,33229546
0,1 π	0,42588011	0,42109731
0,2 π	0,51184206	0,50559732
0,3 π	0,59420964	0,58759730
0,4 π	0,67547929	0,66879547
0,5 π	0,75744758	0,75070940
0,6 π	0,84163541	0,83475675
0,7 π	0,92951291	0,92236664
0,8 π	1,02265978	1,01509886
0,9 π	1,12291942	1,11478148
1,0 π	1,23258766	1,22369172

Относительная погрешность значений λ , полученных из уравнения (5), не превышает 1,2 % при $0 \leq m \leq 1$. Они почти на порядок точнее значений, полученных классическими методами [1, 2], и более современных [3, 4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 712 с.
2. Теория тепломассообмена: учебник для вузов / С. И. Исаев, И. А. Кожин, В. И. Кофанов [и др.]; под ред. А. И. Леонтьева. – М.: Высш. шк., 1979. – 495 с.
3. 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.
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., Сарепул, 19–21 мая 2022 г. – Сарепул: СПИ, 2022. – С. 55–59.

УДК 517.927.4

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ОБОБЩЕННОГО МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ РИККАТИ

О. А. МАКОВЕЦКАЯ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Объектом исследования является краевая задача типа [1, 2]

$$\frac{dX}{dt} = \lambda (A(t)X + XB(t) + Q_1(t)XQ_2(t)XQ_3(t) + F(t, X)), \quad (1)$$

$$X(0, \lambda) = X(\omega, \lambda), \quad (2)$$

где $(t, X) \in I \times \mathbb{R}^{n \times n}$, $A, B, Q_i \in C(I, \mathbb{R}^{n \times n})$ ($i = 1, 2, 3$), $F \in C(D_{\tilde{\rho}}, \mathbb{R}^{n \times n})$.

Предполагается, что $Q_i(t) \neq 0$ ($i = 1, 2, 3$), матрица-функция $F(t, X)$ в области $D_{\tilde{\rho}} = \{(t, X) : t \in I, \|X\| < \tilde{\rho}\}$ удовлетворяет относительно X условию Липшица (локально), $F(t, 0) \neq 0$, $I = [0, \omega]$, $\omega > 0$, $0 < \tilde{\rho} \leq \infty$, $\lambda \in \mathbb{R}$.

Эта задача без квадратичного члена при $\lambda = 1$ конструктивными методами [3] изучалась в [4]; при $\tilde{\rho} = \infty$ с помощью качественных методов она исследовалась в [5]. Предлагаемая работа является продолжением и обобщением [1]. Задача (1), (2) исследуется в конечномерной банаховой алгебре $\mathcal{B}(n < \infty)$ непрерывных $n \times n$ -матричных функций с нормой $\|X\|_C = \max_{t \in I} \|X(t)\|$, где $\|\cdot\|$ – определенная норма матриц в этой алгебре, например любая из норм, приведенных в [6].

Обозначения:

$$\begin{aligned} D_{\rho} &= \{(t, X) : 0 \leq t \leq \omega, \|X\| < \rho\}, \quad M = \int_0^{\omega} A(\tau) d\tau, \quad N = -\int_0^{\omega} B(\tau) d\tau, \\ \gamma &= \|\Phi^{-1}(\omega)\|, \quad \alpha = \max_t \|A(t)\|, \quad \beta = \max_t \|B(t)\|, \quad \delta_i = \max_t \|Q_i(t)\| \quad (i = 1, 2, 3), \\ h &= \max_t \|F(t, 0)\|, \quad \varepsilon = |\lambda|, \quad q(\rho, \varepsilon) = q_1(\rho)\varepsilon + q_2(\rho), \quad \varphi(\rho, \varepsilon) = \varphi_1(\rho)\varepsilon + \varphi_2(\rho), \\ q_1(\rho) &= \frac{1}{2}\gamma(\alpha + \beta)[\alpha + \beta + L + 2\delta\rho]\omega^2, \quad q_2(\rho) = \gamma\omega(2\delta\rho + L), \\ \varphi_1(\rho) &= \frac{1}{2}\gamma(\alpha + \beta)[(\alpha + \beta + L)\rho + \delta\rho^2 + h]\omega^2, \quad \varphi_2(\rho) = \gamma\omega(\delta\rho^2 + L\rho + h), \\ \varepsilon_1 &= \frac{\rho - \varphi_2(\rho)}{\varphi_1(\rho)}, \quad \varepsilon_2 = \frac{1 - q_2(\rho)}{q_1(\rho)}, \quad \varepsilon_0 = \min\{\varepsilon_1, \varepsilon_2\}, \end{aligned}$$

где $0 < \rho < \tilde{\rho}$, $t \in I$, $\delta = \delta_1\delta_2\delta_3$, $L = L(\rho) > 0$ – постоянная Липшица для $F(t, X)$ в области D_{ρ} , Φ – линейный матричный оператор, $\Phi Z = MZ - ZN$, $Z \in \mathbb{R}^{n \times n}$.

Теорема. Пусть выполнены следующие условия: матрицы M, N не имеют общих характеристических чисел, $\varphi_2(\rho) < \rho$, $q_2(\rho) < 1$. Тогда при $|\lambda| < \varepsilon_0$ решение задачи (1), (2) в области D_ρ существует и единственно, при этом справедлива оценка $\|X\|_C \leq \varphi(\rho, \varepsilon)$.

Для построения решения задачи (1), (2) предложен алгоритм с явной вычислительной схемой в классе допустимых функций, т. е. функций класса $C^1(I, \mathbb{R}^{n \times n})$, удовлетворяющих условию (2),

$$\begin{aligned} X_{k+1}(t, \lambda) = & \Phi^{-1} \left\{ \lambda \left[\int_0^\omega A(\tau) d\tau \int_\tau^t \left[A(\sigma) X_k(\sigma, \lambda) + X_k(\sigma, \lambda) B(\sigma) + \right. \right. \right. \\ & + Q_1(\sigma) X_{k-1}(\sigma, \lambda) Q_2(\sigma) X_{k-1}(\sigma, \lambda) Q_3(\sigma) + \\ & \left. \left. + F(\sigma, X_{k-1}(\sigma, \lambda)) \right] d\sigma + \int_0^\omega \left(\int_\tau^t \left[A(\sigma) X_k(\sigma, \lambda) + X_k(\sigma, \lambda) B(\sigma) + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. + Q_1(\sigma) X_{k-1}(\sigma, \lambda) Q_2(\sigma) X_{k-1}(\sigma, \lambda) Q_3(\sigma) + F(\sigma, X_{k-1}(\sigma, \lambda)) \right] d\sigma \right) B(\tau) d\tau \right] - \\ & \left. - \int_0^\omega \left[Q_1(\tau) X_k(\tau, \lambda) Q_2(\tau) X_k(\tau, \lambda) Q_3(\tau) + F(\tau, X_k(\tau, \lambda)) \right] d\tau \right\}, \quad k = 1, 2, \dots, \quad (3) \end{aligned}$$

где $X_0 = 0$, $X_1 = -\Phi^{-1} \int_0^\omega F(\tau, 0) d\tau$.

Изучены вопросы сходимости, скорости сходимости алгоритма (3).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Маковецкая, О. А.** Алгоритмы построения решений периодической краевой задачи для матричного уравнения Ляпунова – Риккати / О. А. Маковецкая // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя: Фізіка-матэматычныя навукі. – 2014. – № 1. – С. 43–50.
2. **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. 937–946.
3. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Мн. : ИМ НАН Беларуси, 1998. – 300 с.
4. **Лаптинский, В. Н.** Матричные дифференциальные уравнения Ляпунова и Риккати / В. Н. Лаптинский, И. И. Маковецкий, В. В. Пугин. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2012. – 167 с.
5. **Murty, K. N.** Two (multi) point nonlinear Lyapunov systems – existence and uniqueness / K. N. Murty, G. W. Howell, S. Sivasundaram // Journal of mathematical analysis and applications. – 1992. – Vol. 167. – P. 505–515.
6. **Демидович, Б. П.** Лекции по математической теории устойчивости / Б. П. Демидович. – М. : Наука, 1967. – 472 с.

УДК 517.927.4

ДВУХТОЧЕЧНАЯ КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ВОЗМУЩЕННОГО МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ РИККАТИ

И. И. МАКОВЕЦКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Рассматривается задача

$$\frac{dX}{dt} = A(t)X + XB(t) + P_1(t)X^2Q_1(t) + P_2(t)XQ_2(t)XP_3(t) + P_4(t)X^2Q_3(t) + F(t, X), \quad (1)$$

$$MX(0) + NX(\omega) = 0, \quad (2)$$

где $A, B, Q_i, P_j \in C(I, \mathbb{R}^{n \times n})$ ($i = \overline{1, 3}; j = \overline{1, 4}$), $F \in C(D_{\tilde{\rho}}, \mathbb{R}^{n \times n})$, $I = [0, \omega]$, $D_{\tilde{\rho}} = \{(t, X) : t \in I, \|X\| < \tilde{\rho}\}$, $\omega > 0$, $0 < \tilde{\rho} \leq \infty$; функция $F(t, X)$ удовлетворяет в области $D_{\tilde{\rho}}$ условию Липшица относительно X (локально); $F(t, 0) \neq 0$, M и N – вещественные $n \times n$ -матрицы. В [1] эта задача изучалась только при $Q_i(t) \equiv P_j(t) \equiv 0$ ($i = \overline{1, 3}; j = \overline{1, 4}$), $\tilde{\rho} = \infty$.

Данная задача изучается, как и в [2], в конечномерной банаховой алгебре $\mathcal{B}(n < \infty)$ непрерывных $n \times n$ -матричных функций с нормой $\|X\|_C = \max_{t \in I} \|X(t)\|$, где $\|\cdot\|$ – какая-либо норма матрицы в рамках определения этой алгебры.

Обозначения:

$$\tilde{H}(\omega) = \int_0^\omega H(\tau) d\tau, \quad H \in \{A, B\}, \quad D_\rho = \{(t, X) : t \in I, \|X\| \leq \rho < \tilde{\rho}\},$$

$$R = M^{-1}(M\tilde{A}(\omega) - M - N), \quad S = -\tilde{B}(\omega), \quad \Psi(t)X = A(t)X + XB(t),$$

$$\Phi X = RX - XS, \quad m = \|M^{-1}(M + N)\|, \quad \gamma = \|\Phi^{-1}\|, \quad \alpha = \max_t \|A(t)\|, \quad \beta = \max_t \|B(t)\|,$$

$$\delta_i = \max_{t \in I} \|Q_i(t)\| \quad (i = \overline{1, 3}), \quad p_j = \max_{t \in I} \|P_j(t)\| \quad (j = \overline{1, 4}),$$

$$q = q(\rho) = \gamma\omega \left[(\alpha + \beta + 2\delta\rho + L) \left(m + \frac{1}{2}(\alpha + \beta)\omega \right) + 2\delta\rho + L \right],$$

$$p = \gamma\omega h \left(m + \frac{1}{2}(\alpha + \beta)\omega + 1 \right), \quad \delta = \delta_1 p_1 + \delta_2 p_2 p_3 + \delta_3 p_4, \quad h = \max_{t \in I} \|F(t, 0)\|,$$

где $L = L(\rho) > 0$ – постоянная Липшица для $F(t, X)$ в области D_ρ , при этом оператор Φ и при каждом $t \in I$ оператор $\Psi(t)$ – линейные операторы $\mathbb{R}^{n \times n} \rightarrow \mathbb{R}^{n \times n}$.

Данная работа дополняет результаты [2] в рамках условия $\det M \neq 0$ в задаче (1), (2).

Теорема. Пусть выполнены следующие условия: $\det M \neq 0$, матрицы R и S не имеют общих характеристических чисел, $q < 1$, $p / (1 - q) \leq \rho$.

Тогда в области D_ρ решение $X = X(t)$ задачи (1), (2) существует и единственно. Это решение представимо в виде предела равномерно сходящейся на отрезке I последовательности матричных функций, определяемых рекуррентным интегральным соотношением с неявной вычислительной схемой и удовлетворяющих условию (2), при этом справедлива оценка $\|X\|_C \leq \frac{\rho}{1 - q}$.

Для построения решения задачи (1), (2) разработан алгоритм

$$\begin{aligned} X_k(t) = & M^{-1} (M + N) \int_t^\omega (\Psi(\tau) X_k(\tau) + Q_1(\tau) X_{k-1}^2(\tau) P_1(\tau) + \\ & + P_2(\tau) X_{k-1}(\tau) Q_2(\tau) X_{k-1}(\tau) P_3(\tau) + P_4(\tau) X_{k-1}^2(\tau) Q_3(\tau) + F(\tau, X_{k-1}(\tau))) d\tau + \\ & + \int_0^\omega \left[K_A(t, \tau) (\Psi(\tau) X_k(\tau) + Q_1(\tau) X_{k-1}^2(\tau) P_1(\tau) + \right. \\ & + P_2(\tau) X_{k-1}(\tau) Q_2(\tau) X_{k-1}(\tau) P_3(\tau) + P_4(\tau) X_{k-1}^2(\tau) Q_3(\tau) + F(\tau, X_{k-1}(\tau))) + \\ & + (\Psi(\tau) X_k(\tau) + Q_1(\tau) X_{k-1}^2(\tau) P_1(\tau) + \\ & + P_2(\tau) X_{k-1}(\tau) Q_2(\tau) X_{k-1}(\tau) P_3(\tau) + P_4(\tau) X_{k-1}^2(\tau) Q_3(\tau) + F(\tau, X_{k-1}(\tau))) \left. \right] K_B(t, \tau) - \\ & - \int_0^\omega F(\tau, X_{k-1}(\tau)) d\tau, \quad k \in \mathbb{N}, \end{aligned} \quad (3)$$

где

$$K_H(t, \tau) = \begin{cases} \int_0^\tau H(\sigma) d\sigma, & 0 \leq \tau \leq t \leq \omega, \\ -\int_\tau^\omega H(\sigma) d\sigma, & 0 \leq t < \tau \leq \omega. \end{cases}$$

В качестве начального приближения X_0 может быть взята любая функция из $C(I, \mathbb{R}^{n \times n})$ такая, что $\|X_0\|_C \leq \rho$.

Изучены вопросы сходимости, скорости сходимости алгоритма (3).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Murty, K. N.** Two (multi) point nonlinear Lyapunov systems – existence and uniqueness / K. N. Murty, G. W. Howell, S. Sivasundaram // Journal of mathematical analysis and applications. – 1992. – Vol. 167. – P. 505–515.
2. **Маковецкий, И. И.** К построению решения двухточечной краевой задачи для матричного уравнения ляпуновского типа / И. И. Маковецкий // Дифференциальные уравнения. – 2025. – Т. 61, № 3. – С. 422–432.

УДК 535.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ

И. У. ПРИМАК, Р. Ю. РЫЖАНКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рассмотрена задача о многоугловом внутрирезонаторном просвечивании анизотропной пластины, схема которого представлена на рис. 1. Здесь генерируемое в гелий-неоновом лазере излучение проходит многократно через трубку с активной средой 4, исследуемую анизотропную пластину 3, отражается от «полупрозрачного» и «глухого» зеркал 1 и 2 соответственно. Просвечиваемая анизотропная пластина может вращаться вокруг осей y_p и x_p . При этом она ориентируется так, чтобы излучение падало на ее поверхность под углами θ , близкими к углу Брюстера.

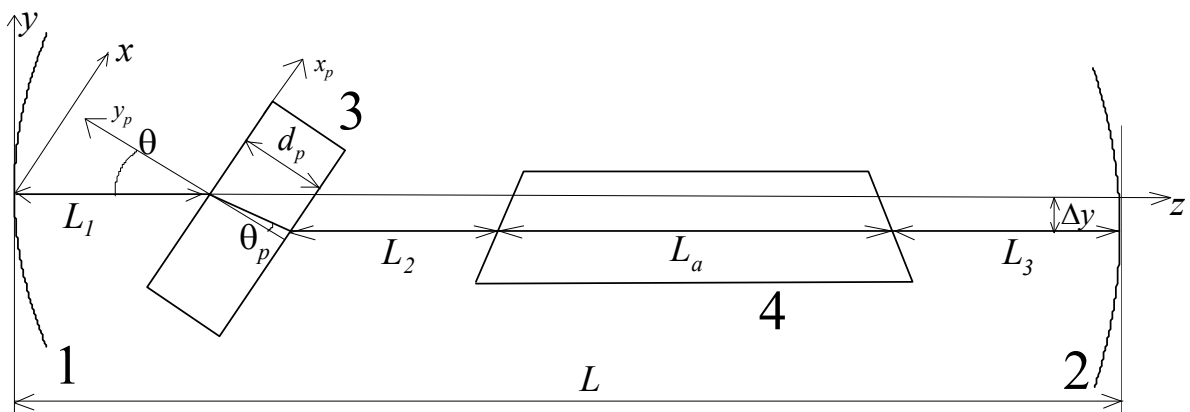


Рис. 1. Схема внутрирезонаторного просвечивания пластины

Модель просвечивания (интенсивность излучения на выходе из резонатора) строилась в рамках одночастотного приближения на основе методов лучевых матриц и последовательных приближений. Начальное приближение было получено при решении линейной задачи описания распространения излучения в резонаторе в отсутствие усиления. Последующее приближение было получено при решении нелинейной задачи усиления проходящего активную среду 4 излучения, а также анализе уравнений амплитудного и фазового балансов. При этом с использованием метода Берремана была разработана процедура численного расчета коэффициента пропускания одноосно-анизотропной пластины.

На основе моделирования многоуглового внутрирезонаторного просвечивания анизотропной пластины, получаемого при вращении её вокруг оси y_p , были оценены возможности и погрешности определения углов ориентации оптической оси.

УДК 535.1

О РАЗДЕЛЕНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАКАЛЕННОМ СТЕКЛЕ

И. У. ПРИМАК, А. В. ХОМЧЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Данная работа посвящена исследованию возможностей оптической рефлектометрии по раздельному определению главных значений напряжений в закаленных стеклах. Рассматривалось отражение и пропускание света закаленной пластиной стекла в схеме измерения, представленной на рис. 1.

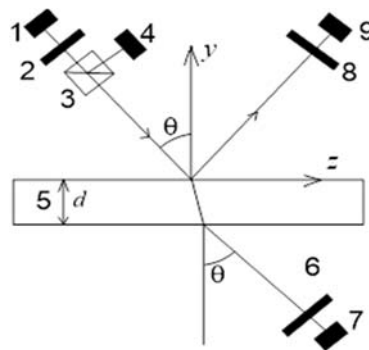


Рис. 1. Схема измерительного устройства: 1 – источник света; 2 – поляризатор; 3 – светоделительный куб; 4, 7, 9 – фоторегистрирующие устройства; 5 – исследуемое стекло; 6, 8 – анализаторы

Анализировались мембранные (однородные по толщине стекла) напряжения. В этом случае диэлектрическая проницаемость закаленного стекла ϵ_{ij} ($i = x, y, z; j = x, y, z$) имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}\epsilon_{xx} &= \epsilon_{yy} + C'_{11}(\sigma_1 \sin^2 \varphi' + \sigma_2 \cos^2 \varphi'), \quad \epsilon_{yy} = \epsilon_0 + C_{12}(\sigma_1 + \sigma_2), \\ \epsilon_{zz} &= \epsilon_{yy} + C'_{11}(\sigma_1 \cos^2 \varphi' + \sigma_2 \sin^2 \varphi'), \quad \epsilon_{zx} = \epsilon_{xz} = C_{44}(\sigma_1 - \sigma_2) \sin \varphi' \cos \varphi', \\ \varphi' &= \varphi + \alpha, \quad \epsilon_{zy} = \epsilon_{yz} = \epsilon_{xy} = \epsilon_{yx} = 0,\end{aligned}$$

где σ_1 и σ_2 – главные напряжения; φ – угол между осями x и z и направлениями, соответствующими главным напряжениям (параметр изоклины); α – угол поворота пластины вокруг оси y ; ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость стекла до закалки; C_{11} , C_{12} и C_{44} – фотоупругие постоянные, $C'_{11} = C_{11} - C_{12}$.

С использованием метода Барремана была разработана процедура численного расчета коэффициентов отражения и пропускания анизотропной пластины стекла.

Предложена процедура раздельного определения главных напряжений на основе построения и обработки угловых спектров отражения или пропускания света стеклом, получаемых при вращении стекла вокруг оси y . Продемонстрирована возможность определения напряжений с погрешностью менее 5 %.

УДК 517.925

ЛЕВОСТОРОННЯЯ РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ СИСТЕМЫ МАТРИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА РИККАТИ

Д. В. РОГОЛЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рассматривается задача типа [1]

$$dX/dt = A_1(t)X + C_1(t)XB_1(t) + D_1(t)YK_1(t) + X(S_1(t)X + S_2(t)Y) + F_1(t), \quad (1)$$

$$dY/dt = A_2(t)Y + C_2(t)YB_2(t) + D_2(t)XK_2(t) + Y(P_1(t)X + P_2(t)Y) + F_2(t), \quad (2)$$

$$X(0) = X(\omega), \quad Y(0) = Y(\omega), \quad (3)$$

где X, Y – $n \times n$ -матрицы, коэффициенты в (1), (2) определены и непрерывны при $t \in I = [0, \omega]$; $\omega > 0$.

Система (1), (2), как и уравнения Риккати, играет важную роль в теории и приложениях дифференциальных уравнений.

С помощью метода регуляризации [2] получены коэффициентные достаточные условия однозначной разрешимости задачи (1)–(3) и разработан алгоритм построения решения в классе допустимых функций – функций из $C^1(I, \mathbb{R}^{n \times n})$, удовлетворяющих условиям (3).

Этот алгоритм представляет собой рекуррентные интегральные соотношения

$$\begin{aligned} X_{k+1}(t) = & \tilde{A}_1^{-1}(\omega) \left\{ \int_0^t \left(\int_0^\tau A_1(\sigma) d\sigma \right) \left(A_1(\tau)X_k(\tau) + C_1(\tau)X_{k-1}(\tau)B_1(\tau) + \right. \right. \\ & + D_1(\tau)Y_{k-1}(\tau)K_1(\tau) + X_{k-1}(\tau)(S_1(\tau)X_{k-1}(\tau) + S_2(\tau)Y_{k-1}(\tau)) + F_1(\tau) \Big) d\tau - \\ & - \int_t^\omega \left(\int_\tau^\omega A_1(\sigma) d\sigma \right) \left(A_1(\tau)X_k(\tau) + C_1(\tau)X_{k-1}(\tau)B_1(\tau) + \right. \\ & + D_1(\tau)Y_{k-1}(\tau)K_1(\tau) + X_{k-1}(\tau)(S_1(\tau)X_{k-1}(\tau) + S_2(\tau)Y_{k-1}(\tau)) + F_1(\tau) \Big) d\tau - \\ & - \int_0^\omega \left[C_1(\tau)X_k(\tau)B_1(\tau) + D_1(\tau)Y_k(\tau)K_1(\tau) + \right. \\ & \left. + X_k(\tau)(S_1(\tau)X_k(\tau) + S_2(\tau)Y_k(\tau)) + F_1(\tau) \right] d\tau \Big\}, \\ Y_{k+1}(t) = & \tilde{A}_2^{-1}(\omega) \left\{ \int_0^t \left(\int_0^\tau A_2(\sigma) d\sigma \right) \left(A_2(\tau)Y_k(\tau) + C_2(\tau)Y_{k-1}(\tau)B_2(\tau) + \right. \right. \\ & + D_2(\tau)X_{k-1}(\tau)K_2(\tau) + Y_{k-1}(\tau)(P_1(\tau)X_{k-1}(\tau) + P_2(\tau)Y_{k-1}(\tau)) + F_2(\tau) \Big) d\tau - \\ & - \int_t^\omega \left(\int_\tau^\omega A_2(\sigma) d\sigma \right) \left(A_2(\tau)Y_k(\tau) + C_2(\tau)Y_{k-1}(\tau)B_2(\tau) + \right. \\ & + D_2(\tau)X_{k-1}(\tau)K_2(\tau) + Y_{k-1}(\tau)(P_1(\tau)X_{k-1}(\tau) + P_2(\tau)Y_{k-1}(\tau)) + F_2(\tau) \Big) d\tau - \\ & - \int_0^\omega \left[C_2(\tau)Y_k(\tau)B_2(\tau) + D_2(\tau)X_k(\tau)K_2(\tau) + \right. \end{aligned}$$

$$+Y_k(\tau)(P_1(\tau)X_k(\tau)+P_2(\tau)Y_k(\tau))+F_2(\tau)]d\tau\}, k=1,2,\dots,$$

при этом

$$X_0=0, Y_0=0, X_1=-A_1^{-1}(\omega)\int_0^\omega F_1(\tau)d\tau, Y_1=-A_2^{-1}(\omega)\int_0^\omega F_2(\tau)d\tau.$$

Исследование выполнено в конечномерной банаховой алгебре $\mathfrak{B}(n < \infty)$ непрерывных $n \times n$ -матричнозначных функций.

Обозначения:

$$\begin{aligned} D &= \{(t, X, Y): 0 \leq t \leq \omega, \|X\| \leq \rho_1, \|Y\| \leq \rho_2\}, \tilde{A}_i(\omega) = \int_0^\omega A_i(\tau)d\tau, \gamma_i = \|\tilde{A}_i^{-1}(\omega)\|, \\ \alpha_i &= \max_t \|A_i(t)\|, \beta_i = \max_t \|B_i(t)\|, \sigma_i = \max_t \|C_i(t)\|, d_i = \max_t \|D_i(t)\|, k_i = \max_t \|K_i(t)\|, \\ \delta_i &= \max_t \|S_i(t)\|, \mu_i = \max_t \|P_i(t)\|, h_i = \max_t \|F_i(t)\|, t \in I, \rho_1, \rho_2 > 0, \\ \varphi_{11} &= \gamma_1 \left[\frac{1}{2} \alpha_1 (\alpha_1 + \sigma_1 \beta_1 + 2\delta_1 \rho_1 + \delta_2 \rho_2) \omega^2 + (\sigma_1 \beta_1 + 2\delta_1 \rho_1 + \delta_2 \rho_2) \omega \right], \\ \varphi_{12} &= \gamma_1 \omega (\delta_2 \rho_1 + d_1 k_1) \left(\frac{1}{2} \alpha_1 \omega + 1 \right), \varphi_{21} = \gamma_2 \omega (\mu_1 \rho_2 + d_2 k_2) \left(\frac{1}{2} \alpha_2 \omega + 1 \right), \\ \varphi_{22} &= \gamma_2 \left[\frac{1}{2} \alpha_2 (\alpha_2 + \sigma_2 \beta_2 + \mu_1 \rho_1 + 2\mu_2 \rho_2) \omega^2 + (\sigma_2 \beta_2 + \mu_1 \rho_1 + 2\mu_2 \rho_2) \omega \right], \\ \varphi_1(\rho_1, \rho_2) &= \gamma_1 \left\{ \frac{1}{2} \alpha_1 [(\alpha_1 + \sigma_1 \beta_1) \rho_1 + d_1 k_1 \rho_2 + \delta_1 \rho_1^2 + \delta_2 \rho_1 \rho_2 + h_1] \omega^2 + \right. \\ &\quad \left. + [\sigma_1 \beta_1 \rho_1 + d_1 k_1 \rho_2 + \delta_1 \rho_1^2 + \delta_2 \rho_1 \rho_2 + h_1] \omega \right\}, \\ \varphi_2(\rho_1, \rho_2) &= \gamma_2 \left\{ \frac{1}{2} \alpha_2 [d_2 k_2 \rho_1 + (\alpha_2 + \sigma_2 \beta_2) \rho_2 + \mu_2 \rho_2^2 + \mu_1 \rho_1 \rho_2 + h_2] \omega^2 + \right. \\ &\quad \left. + [d_2 k_2 \rho_1 + \sigma_2 \beta_2 \rho_2 + \mu_2 \rho_2^2 + \mu_1 \rho_1 \rho_2 + h_2] \omega \right\}, \quad \varphi = colon(\varphi_1, \varphi_2), \quad \rho = colon(\rho_1, \rho_2), \\ \Phi &= (\varphi_{ij}), \quad \Phi = \partial \varphi / \partial \rho - \text{матрица Якоби для } \varphi. \end{aligned}$$

Теорема. Пусть выполнены следующие условия: $\det \tilde{A}_i \neq 0$ ($i=1,2$); $\varphi(\rho) \leq \rho$; $\varphi_{11} < 1$, $\det(E - \Phi) > 0$, где $E = \text{diag}(1,1)$.

Тогда задача (1)–(3) однозначно разрешима в области D , при этом последовательность $\{X_i(t), Y_i(t)\}_0^\infty$ сходится равномерно по $t \in I$.

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. – Мн. : ИМ НАН Беларуси, 1998. – 300 с.

УДК 681.7.068

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ БОЛЬШИХ ПОРЯДКОВ В ТЕОРИИ ИЗГИБОВ ОТКРЫТЫХ ВОЛНОВОДОВ

Л. И. СОТСКАЯ¹, М. А. МАТКОВ¹, Д. Е. ПРОЧУХАНОВ²¹Белорусско-Российский университет²Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова
Могилев, Беларусь

В электродинамике открытых волноводов имеется проблема вытекания излучения на участках изгибов волноводов. Особенно остро она стоит в терагерцовом диапазоне частот, где приемлемое затухание передаваемого сигнала достигается за счет значительной площади, занимаемой полем моды. Поэтому оптимизация оптических волноводных элементов требует учёта изгибных потерь энергии мод.

Поскольку механизм вытекания энергии из изгибов открытых трехмерных и двумерных волноводов имеет одну и ту же природу, то характеристики данного вытекания могут быть оценены в рамках теории планарных волноводов. Для таких волноводов поля на участках изгибов могут быть проанализированы методом разделения переменных.

Для ТЕ-мод этот метод использует представление $E = R(r) \exp(-i\nu\phi)$, где E – компонента электрического поля данных мод, r и ϕ – цилиндрические координаты, $\nu = \beta k_0 r_0$, β – безразмерная постоянная распространения моды, $k_0 = 2\pi / \lambda$ – волновое число вакуума, r_0 – радиус изгиба оси волновода. Функция $R(r)$ подчиняется уравнению

$$\nabla_r^2 R + \frac{\nabla_r R}{r} + [k_0^2 \varepsilon(r) - \frac{\nu^2}{r^2}] R = 0, \quad (1)$$

где $\varepsilon(r)$ – диэлектрическая проницаемость слоистой среды.

Вне волновода толщины d имеем $\varepsilon = \varepsilon_s = \text{const}$ и уравнение (1) переходит в уравнение Бесселя. Решение уравнения должно быть конечным при $r \rightarrow 0$ и описывать при $r \rightarrow \infty$ уходящую волну. Поэтому

$$R = a J_\nu(z) \quad \text{при} \quad r \leq r_0 - d/2, \quad R = b H_\nu^{(2)}(z) \quad \text{при} \quad r \geq r_0 + d/2, \quad (2)$$

где $z = k_0 \sqrt{\varepsilon_s} r$, a и b – некоторые константы.

Уравнение (1) решается при условиях непрерывности R и $\nabla_r R$ на границах раздела сред. При этом возможные значения β находятся из характеристического уравнения

$$\nabla_r R(r_0 + d/2) / R(r_0 + d/2) = k_0 \sqrt{\varepsilon_s} H_\nu^{(2)'}(z_+) / H_\nu^{(2)}(z_+), \quad (3)$$

где $H_\nu^{(2)'}(z) = \nabla_z H_\nu^{(2)}(z)$, $z_+ = k_0 \sqrt{\varepsilon_s} (r_0 + d/2)$, а $\nabla_r R$ и R находят путем численного решения уравнения (1) при начальных условиях

$$R(r_0 - d/2) = 1, \quad \nabla_r R(r_0 - d/2) = k_0 \sqrt{\varepsilon_s} [-\nu / z_- + J_{\nu-1}(z_-) / J_\nu(z_-)], \quad (4)$$

где $z_- = k_0 \sqrt{\varepsilon_s} (r_0 - d/2)$.

В случае ТМ-мод уравнения (1), (3), (4) принимают вид

$$\varepsilon(r)\nabla_r \frac{1}{\varepsilon(r)} \nabla_r R + \frac{\nabla_r R}{r} + [k_0^2 \varepsilon(r) - \frac{\nu^2}{r^2}]R = 0, \quad (5)$$

$$\varepsilon_s \nabla_r R(r_0 + d/2) / R(r_0 + d/2) = \varepsilon(r_0 + d/2 - 0) k_0 \sqrt{\varepsilon_s} H_\nu^{(2)'}(z_+) / H_\nu^{(2)}(z_+), \quad (6)$$

$$R(r_0 - d/2) = 1, \quad \nabla_r R(r_0 - d/2 + 0) = \frac{k_0 \varepsilon(r_0 - d/2 + 0)}{\sqrt{\varepsilon_s}} [-\nu / z_- + J_{\nu-1}(z_-) / J_\nu(z_-)]. \quad (7)$$

Для практически используемых волноводов характерны условия $k_0 r_0 \gg 1$, $|z_\pm| \gg 1$, т. е. в задачах (1), (3), (4) и (5)–(7) фигурируют цилиндрические функции $J_\nu(z)$ и $H_\nu^{(2)}(z)$ комплексного порядка ν и аргумента z , удовлетворяющих условиям $|\nu| \gg 1$, $|z| \gg 1$. Это затрудняет использование стандартных алгоритмов вычисления цилиндрических функций. Решение проблемы было найдено на пути вычисления отношения $J_{\nu-1}(z) / J_\nu(z)$ через цепные дроби, а отношение $H_\nu^{(2)'}(z) / H_\nu^{(2)}(z)$, записанное в представлении Пуассона

$$H_\nu^{(2)'}(z) / H_\nu^{(2)}(z) = \int_0^\infty d\tau (\nu / z - i - \tau) \exp[f(\tau)] / \int_0^\infty d\tau \exp[f(\tau)],$$

$$f(\tau) = z\{-\tau + \zeta[\ln \tau + \ln(1 - i0,5\tau)]\}, \quad \zeta = (\nu - 0,5) / z,$$

рассчитывалось путем деформации исходного контура интегрирования (вещественная ось) в прямолинейный контур, проходящий через начало координат и седловую точку функции $f(\tau)$. Такой прием позволил устранить проблему быстрых колебаний подынтегральных функций.

Результаты расчётов представлены на рис. 1.

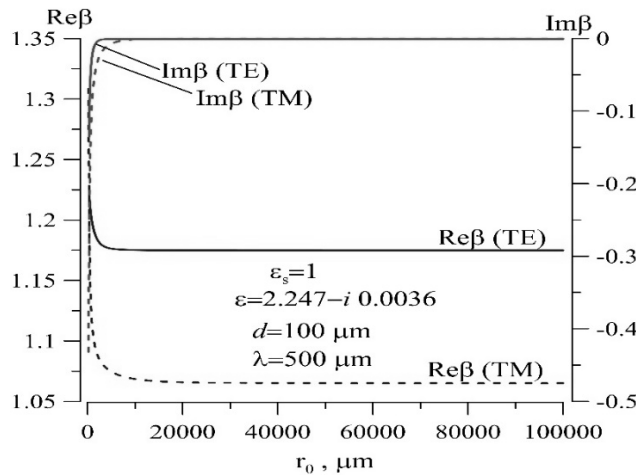


Рис. 1. Зависимости постоянных распространения мод полипропиленового планарного волновода, окруженного воздухом, от радиуса его изгиба

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований РБ «1.15 Фотоника и электроника для инноваций».

УДК 681.7;535.8

ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА В ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

А. Б. СОТСКИЙ, А. В. ШИЛОВ, И. А. ГАРКОВСКИЙ

Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова
Могилев, Беларусь

В настоящее время интенсивно развивается спектроскопия газовых сред и растворов во временной области. Она основана на фурье-анализе широкополосных электромагнитных импульсов, прошедших исследуемую среду. Ключевое значение для таких измерений имеет отношение сигнал / шум, которое определяется энергией импульса в среде. Поэтому актуален вопрос о максимизации этой энергии, или о согласовании фотоантенны, генерирующей импульс, со средой, его принимающей.

В докладе рассматривается модель, в которой импульс на входе в полупространство $z \geq 0$ линейно поляризован вдоль оси Oy и описывается функцией

$$E_y(x, y, z = 0, t) = A \exp[-(x^2 + y^2) / w^2] P(\tau),$$

где A – амплитуда; w – радиус гауссова пучка; $\tau = t / T$; t – время; T – масштабный фактор порядка длительности импульса, который может регулироваться условиями фокусировки лазерного импульса на фотоантенну и конфигурацией ее электродов.

Если полупространство $z > 0$ заполнено однородной средой с диэлектрической проницаемостью ϵ , то полная энергия импульса, вошедшего в него,

$$E_0 = \frac{A^2 w^3}{\mu_0 c^2} \pi^2 \frac{w}{cT} \int_0^1 dv (1 + v^2) \int_0^\infty d\Omega \Omega^2 \exp\left[-\frac{\Omega^2 (1 - v^2) \epsilon}{2} \left(\frac{w}{cT}\right)^2\right] |P'(\Omega)|^2, \quad (1)$$

где $\hat{P}'(\Omega) = (2\pi)^{-1} \int_{-\infty}^\infty \exp(-i\Omega\tau) P(\tau) d\tau$; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума,

c – скорость света. Выражение (1) получается интегрированием z – компоненты вектора Пойнтинга по x , y и t в бесконечных пределах. Если же импульс поступает на вход прямоугольного металлического волновода со сторонами a и b (рис. 1), то энергия, вошедшая в волновод,

$$E = \frac{A^2 w^3}{\mu_0 c^2} 8\pi \sqrt{\epsilon} \frac{cT}{w} \sum_{k=0}^\infty \sum_{j=0}^\infty \frac{C_k^{(x)} C_j^{(y)}}{\Delta_k^{(x)} \Delta_j^{(y)}} \int_0^1 dv \frac{[\Omega^2 - (\Omega_k^{(x)})^2] |P'(\Omega)|^2}{v^2 \Omega \sqrt{\Omega + \sqrt{(\Omega_k^{(x)})^2 + (\Omega_j^{(y)})^2}}}, \quad (2)$$

где $\Omega = u^2 + \sqrt{(\Omega_k^{(x)})^2 + (\Omega_j^{(y)})^2}$, $u = 1/v - 1$, $\Omega_k^{(x)} = \frac{\pi(2k+1)cT}{a\sqrt{\epsilon}}$, $\Omega_j^{(y)} = \frac{2\pi jcT}{b\sqrt{\epsilon}}$,

$$C_k^{(x)} = \Delta_k^{(x)} \int_{-a/(2w)}^{a/(2w)} \exp(-\xi^2) \cos\left(\frac{\xi \Omega_k^{(x)} w \sqrt{\varepsilon}}{cT}\right) d\xi,$$

$$C_j^{(y)} = \Delta_j^{(y)} \int_{-b/(2w)}^{b/(2w)} \exp(-\eta^2) \cos\left(\frac{\eta \Omega_j^{(y)} w \sqrt{\varepsilon}}{cT}\right) d\eta,$$

$$\Delta_k^{(x)} = 2w/a, \Delta_j^{(y)} = w/b \text{ при } j=0, \Delta_j^{(y)} = 2w/b \text{ при } j>0.$$

Отношение E/E_0 является функцией безразмерных параметров ε , $w/(cT)$, a/w , b/w . Представляет интерес исследование зависимости E/E_0 от формата импульса $w/(cT)$ при оптимальном выборе отношений a/w и b/w , обеспечивающем максимум E . Результаты расчета этой зависимости при $\varepsilon=1$ для распространенной в терагерцовой оптике модели Астона $P(\tau) = -1,229U(-2, -\tau\sqrt{2})\exp(-0,5\tau^2)$ ($U(\dots)$ – функция параболического цилиндра) приведены на рис. 1.

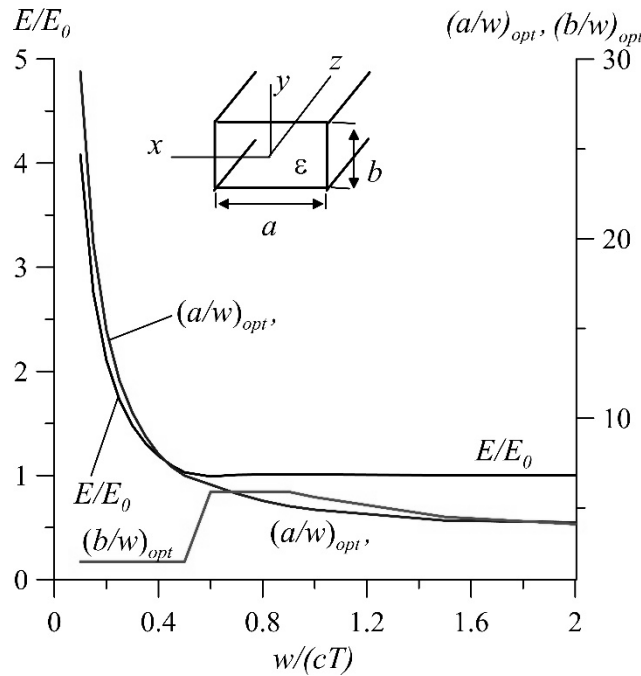


Рис. 1. Зависимость отношения энергий импульса Астона в прямоугольном волноводе и однородном полупространстве от формата импульса при оптимальных размерах волновода. На вставке – прямоугольный волновод

Как видно из рис. 1, для импульсов малых форматов ($w/(cT) < 1$) использование волновода дает существенный энергетический выигрыш. Это означает, что при $w/(cT) < 1$ эванесцентные волны, не переносящие энергию, имеют меньший вес в волноводе по сравнению с однородным полупространством. Но при $w/(cT) > 1$ оптимизированный волновод и однородное полупространство энергетически практически эквивалентны.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований РБ «1.15 Фотоника и электроника для инноваций».

УДК 681.7.068;535.8

МОДОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ВОЛОКОН
С НЕСОПРИКАСАЮЩИМИСЯ КАПИЛЛЯРАМИ В ОБОЛОЧКЕ

А. В. ШИЛОВ, П. А. ШОЛКОВ

Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова

Могилев, Беларусь

Одним из знаковых достижений в области микроструктурных волокон (МВ) с полый сердцевинной является введение концепции отрицательной кривизны [1], которая привела к разработке семейства волокон с одним рядом соприкасающихся/несоприкасающихся капилляров оболочки. Особенностью таких МВ является возможность минимизировать пространственное перекрытие между оптическим полем основных мод полый сердцевинной и микроструктурой оболочки, что позволило стать им хорошей платформой для передачи терагерцового (ТГц) излучения [1, 2]. Например, в [1] представлено МВ, напечатанное на относительно дешевом 3D-принтере с разрешением $\sim 400 \text{ }\mu\text{m}$ дешевым ABS-полимером, длиной 10 см и внешним диаметром порядка 2...3 см. В [2] численно исследовали пропускание терагерцовых полых антирезонансных волокон (НС-ARF) с внутренними капиллярами. Авторы показали, что такие волокна имеют антирезонансную проводимость в диапазоне 0,1...1,6 THz, подтвержденную численно, а эллиптические внутренние элементы снижают потери на утечку.

Анализ [1, 2] позволяет сделать вывод об отсутствии строгих и универсальных методов расчета МВ с полый сердцевинной и элементами отрицательной кривизны. Кроме того, экспериментальные образцы таких волокон, как правило, печатаются на 3D-принтерах, имеют достаточно высокие потери при малой длине и большом поперечном диаметре.

В докладе представлены результаты решения волноводных задач для вытекающих мод (МВ) с полый сердцевинной и несоприкасающимися капиллярами в оболочке методом функций Грина [3]. На языке Fortran 90 разработаны программы, позволяющие выполнить детальный расчет дисперсионных характеристик МВ указанного типа, а также построить пространственные распределения оптической плотности направляемых ими мод и диаграммы излучения энергии поля моды на внешней границе волокна.

На рис. 1, а приведены рассчитанные зависимости потерь основной и высших мод на частоте $f = 1 \text{ THz}$ для полипропиленовых волокон с начальным внешним радиусом сборки R_0 (внутренний радиус оболочки) $R_0 = 4200 \text{ мкм}$ от величины зазора d_z , нормированного на первоначальный радиус капилляров b .

На рис. 1, б представлены распределение оптической плотности поля основной моды и диаграмма излучения ее энергии на внешней границе оболочки. Расчет выполнен при величине зазора $d_z = 580 \text{ мкм}$, что составляет 50 % первоначальной величины внешнего радиуса капилляра $b = 1160 \text{ мкм}$. Новый внешний радиус «сборки капилляров» $R_0 = 3900 \text{ мкм}$. Расстояние между

центрами соседних капилляров r было фиксировано и составляло $2b = 2320$ мкм. В качестве материала оболочки использован полипропилен с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2,247 - i0,0036$.

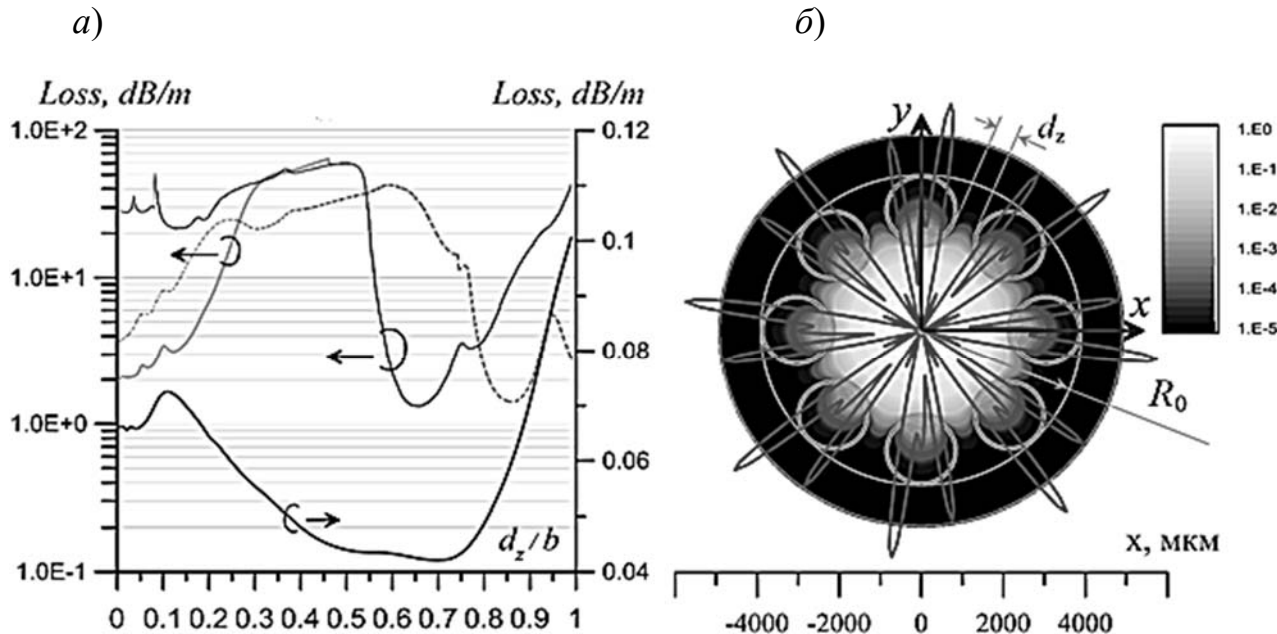


Рис. 1. Зависимость потерь основной и первых высших мод капиллярного МВ от величины зазора между капиллярами (а), а также оптическая плотность поля основной моды и диаграмма излучения ее энергии (б)

Анализ поведения кривых, представленных на рис. 1, а, показывает, что уменьшение потерь основной моды приводит к повышению степени одномодовости МВ с несоприкасающимися капиллярами. Так, при $d_z/b \approx 50\% \dots 75\%$ потери основной моды уменьшаются в 1,5 раза. Однако при этом наблюдается резкое увеличение потерь высших мод примерно в 20–40 раз ($d_z/b \approx 30\% \dots 55\%$).

Из анализа оптической плотности моды, представленной на рис. 1, б, следует, что зазоры между капиллярами способствуют удержанию основной моды, но позволяют при этом ее полю занимать большее пространство. Однако данный эффект не безграничен и при величине $d_z/b > 55\%$ степень одномодовости начинает резко уменьшаться.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Ф25М-032 от 02 мая 2025 г.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alice, L. 3D printed hollow core fiber with negative curvature for terahertz applications / L. Alice, S. Cruz // Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications. – 2015. – Vol. 14, № 1. – P. 45–53.
2. Alice, L. Exploring THz hollow-core fiber designs manufactured by 3D printing / L. Alice, S. Cruz // IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC). – 2017.
3. Сотский, А. Б. Теория оптических волноводных элементов: монография / А. Б. Сотский. – Могилев : МГУ им. А. А. Кулешова, 2011. – 456 с.

УДК 330.341

PESTEL-АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИННОВАЦИОННУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

А. В. АЛЕКСАНДРОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Республика Беларусь последовательно придерживается избранного пути на инновационное развитие экономики. Для корректного планирования, управления рисками и повышения устойчивости мероприятий по активизации инновационной деятельности организаций необходимо исследование внешних факторов, влияющих на данный процесс. Такая оценка предполагает применение системного подхода – в частности, метода PESTEL-анализа (табл. 1).

Табл. 1. PESTEL-анализ факторов, влияющих на инновационную деятельность

Группа факторов	Уровень влияния	Характер	Угрозы	Возможности для адаптации
Политические	Высокий	Негативный	Санкции, недоверие со стороны партнеров	Фокус на внутренний рынок, импортозамещение
Экономические	Высокий	Смешанный	Нестабильность, дефицит капитала	Низкая стоимость труда, господдержка
Социальные	Средний	Позитивный	«Утечка мозгов», консерватизм топ-менеджеров	Высокий уровень образования, молодые кадры
Технологические	Высокий	Негативный	Зависимость от импорта ПО и оборудования	Сильная ИТ-база, опыт работы с «открытым кодом»
Правовые	Средний	Негативный	Несовершенство законодательства, бюрократия	Возможность реформ, цифровизация процедур
Экологические	Низкий	Нейтральный / Растущий	Риск отставания от «зеленых» трендов	Развитие «зеленых» цифровых решений

Политические факторы оказывают наиболее сильное и преимущественно негативное влияние. Ключевой вызов заключается в санкционном режиме и международной изоляции со стороны ряда стран, что ограничивает доступ к зарубежным технологиям, оборудованию, облачным сервисам и платформам искусственного интеллекта, а также сужает возможности для экспорта инновационной продукции и привлечения иностранных инвестиций. Одновременно модель централизованного государственного управления с высоким уровнем административного контроля может вызывать некоторое недоверие со стороны потенциальных инвесторов. С другой стороны, эта ситуация создает возможность для укрепления технологического суверенитета через целенаправленную политику импортозамещения и цифровизации внутреннего рынка, что подтверждается наличием соответствующей политической воли и нормативной базы. Поэтому основные усилия должны быть

направлены на фокусирование инновационных проектов на внутренний рынок и сотрудничество с «дружественными странами», усиление государственной поддержки локализации критически важных технологий и внедрение антикризисных механизмов в проектную документацию.

Экономические факторы также обладают высоким, но смешанным влиянием. С одной стороны, нестабильность мировых рынков, сокращение инвестиций и финансовая изоляция повышают риски для долгосрочных инновационных проектов. С другой стороны, рост внутреннего спроса на цифровизацию со стороны государства и крупных предприятий, относительно низкая стоимость квалифицированной рабочей силы и наличие государственных институтов поддержки инноваций создают определенные возможности. Это требует акцента на разработке экономичных решений с высокой отдачей, развития механизмов негосударственного софинансирования для малого и среднего бизнеса.

Социальные факторы могут быть оценены как имеющие среднее и в целом позитивное влияние, основанное на высоком уровне образования населения, активности молодежи в IT-сфере и растущей цифровой грамотности. Основным вызовом здесь остается эмиграция IT-специалистов, что требует реализации специальных программ по их удержанию и возвращению, а также усиления образовательных программ для руководителей предприятий.

Технологическая среда характеризуется сильным и в основном негативным влиянием из-за большой зависимости от импортных решений, ограничений на обновление программного обеспечения (ПО). Однако сильная база в области программной инженерии и опыт работы с открытым кодом представляют потенциал для переориентации на внутренние проекты. В качестве корректировок предлагается создание национального реестра отечественных и открытых аналогов критического ПО, стимулирование локализации открытых решений и развитие проектов цифровых двойников.

Правовые факторы оказывают среднее по силе и преимущественно сдерживающее влияние вследствие юридической неопределенности в сфере интеллектуальной собственности и коммерциализации технологий, сложных процедур лицензирования и недостаточной защиты прав инвесторов. Для смягчения этих барьеров требуется совершенствование законодательства об инновационной деятельности (в том числе в отношении современных информационных технологий), разработка типовых открытых договоров для трансфера технологий.

Экологические факторы, несмотря на глобальную актуальность, в краткосрочной перспективе оказывают небольшое влияние на инновационную деятельность в Беларуси, хотя в среднесрочном периоде их роль будет возрастать. Угроза заключается в возможном снижении конкурентоспособности белорусских инноваций на внешних рынках из-за отсутствия четкой «зеленой» повестки. В то же время, это открывает возможность для опережающего развития и экспорта специализированных решений в области «цифровой экологии», энергоэффективности и устойчивого развития, спрос на которые в мире будет только возрастать. Уже сейчас целесообразно интегрировать экологические критерии в государственные закупки инноваций и поддерживать проекты в области ресурсосберегающих технологий и цифровой экологии.

А. В. АЛЕКСАНДРОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Процесс цифровизации бизнеса и государственных учреждений является ключевым драйвером развития современной экономики. На основании статистических данных [1] проанализирован текущий уровень цифрового развития организаций Республики Беларусь.

К 2024 г. базовые цифровые технологии стали практически повсеместными (доступ в интернет имели 99,3 % обследованных организаций, локальные вычислительные сети (ЛВС) – 79,0 %, веб-сайты – 71,0 %), их распространенность за последние 5 лет практически не изменилась. В то же время внедрение более сложных решений происходит неравномерно. Так, доля организаций, использующих облачные сервисы, выросла с 30,5 % в 2020 г. до 41,2 % в 2024 г., но при этом наблюдается значительный разрыв между секторами экономики (табл. 1).

Табл. 1. Отрасли-лидеры и аутсайдеры по уровню цифровизации в 2024 г.

Вид экономической деятельности	Процент организаций, использующих			Средний процент
	ЛВС	интернет	облачные сервисы	
Лидеры				
Финансовая и страховая деятельность	100,0	100,0	73,6	91,2
Горнодобывающая промышленность	100,0	100,0	66,7	88,9
Образование	94,7	100,0	66,7	87,1
Аутсайдеры				
Сельское, лесное и рыбное хозяйство	80,7	100,0	22,7	67,8
Информация и связь	63,8	98,4	40,7	67,6
Ремонт компьютеров, предметов личного пользования и бытовых изделий	50,0	98,8	16,1	55,0

Можно констатировать, что формируется «цифровая элита» национальной экономики с полным охватом базовых информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Лидирующие отрасли достигли практически полной доступности базовой цифровой инфраструктуры. Высокий показатель внедрения облачных сервисов указывает, что эти секторы перешли от простого наличия интернета к его активному использованию для оптимизации бизнес-процессов.

Как видно из табл. 1, основной цифровой разрыв в экономике связан с глубиной использования технологий. Даже в отстающих отраслях доступ в интернет имеют почти все организации. Критическая разница наблюдается по двум другим компонентам. Низкий уровень развития локальной ИКТ-инфраструктуры свидетельствует о фрагментированности внутренних цифровых процессов. Но главным индикатором разрыва является минимальное внедрение облачных сервисов – «аутсайдеры» слабо используют современные модели предоставления ИТ-услуг для повышения гибкости и эффективности своей деятельности.

Использование передовых цифровых технологий в 2024 г. в большинстве организаций находится на начальной стадии, но демонстрирует рост. Наиболее распространен «Интернет вещей» (21,5 % организаций), за ним следуют RFID-технологии и «Большие данные». Лидерами по внедрению являются финансовая сфера и образование, однозначным аутсайдером – деятельность по ремонту компьютеров, предметов личного пользования и бытовых изделий (табл. 2).

Табл. 2. Использование цифровых технологий в организациях в 2024 г.

Технология	Отрасль-лидер	Отрасль-аутсайдер
Большие данные (в среднем 13,7 %)	Финансовая и страховая деятельность (47,2 %); горнодобывающая промышленность (33,3 %)	Ремонт компьютеров, предметов личного пользования и бытовых изделий (3,6 %)
Интернет вещей (в среднем 21,5 %)	Снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой и кондиционированным воздухом (66,2 %); водоснабжение, сбор, обработка и удаление отходов, деятельность по ликвидации загрязнений (62,9 %)	Ремонт компьютеров, предметов личного пользования и бытовых изделий (3,3 %)
Искусственный интеллект (в среднем 5,8 %)	Финансовая и страховая деятельность (30,2 %); образование (24,6 %)	Ремонт компьютеров, предметов личного пользования и бытовых изделий (0,7 %)
Радиочастотная идентификация (RFID) (в среднем 15,3 %)	Образование (54,4 %); финансовая и страховая деятельность (47,2 %)	Ремонт компьютеров, предметов личного пользования и бытовых изделий (1,7 %)
Цифровой двойник (в среднем 0,5 %)	Горнодобывающая промышленность (16,7 %), образование (5,3 %)	Услуги по временному проживанию и питанию; финансовая и страховая деятельность; операции с недвижимым имуществом; деятельность в сфере административных и вспомогательных услуг; творчество, спорт, развлечения и отдых; предоставление прочих услуг (по 0,0 %)

Таким образом, базовый уровень цифровизации белорусских организаций является высоким, но цифровая трансформация идет неравномерно. Сформировался разрыв между отраслями, которые интенсивно используют цифровые технологии для повышения эффективности своей деятельности, и отраслями, которые лишь имеют к ним доступ. Государственная и корпоративная политика цифровизации должна сместить фокус с обеспечения всеобщего доступа в интернет на стимулирование внедрения продвинутых ИКТ-решений (облачные технологии, искусственный интеллект, аналитика больших данных) в отстающих, но значимых для экономики секторах, таких как сельское хозяйство и сфера услуг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационное общество в Республике Беларусь, 2025 : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Мн. : Белстат, 2025. – 58 с.

УДК 656.07

АКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧНЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ТРЕНДЫ В РАЗВИТИИ
ЛОКАЛЬНОЙ И МЕЖДУНАРОДНОЙ ЛОГИСТИКИ

С. А. АЛЕКСАНДРОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современная логистика находится в стадии технологической трансформации, тесно связанной с информационными технологиями. Несвоевременное и неадекватное реагирование на происходящие изменения будет приводить к потере гибкости и эффективности бизнеса и в конечном счете – конкурентоспособности на мировом рынке. Можно выделить следующие ключевые тренды и оценить их внедрение в отечественную логистику:

– *автоматизация и роботизация* погрузки, сортировки и доставки решает проблемы высокой трудоемкости, характерной для отрасли на данный момент времени, снижает риск человеческих ошибок, ускоряет процесс обработки грузопотоков и снижает текущие затраты. Для белорусского бизнеса применимо в ограниченном масштабе, т. к. максимальный эффект достигается при больших масштабах бизнеса, а капитальные затраты высоки по сравнению с относительно невысокой стоимостью рабочей силы внутри страны;

– *телематика и интернет вещей* внедряются максимально высокими темпами в процесс управления и становятся рутиной, прежде всего, в международных перевозках – датчики, устанавливаемые на транспортных средствах и грузе, позволяющие в режиме реального времени контролировать состояние и местоположение груза. Такие технологии позволяют снизить потери, повысить «прозрачность» цепей поставок, что само по себе является мировым стратегическим трендом. Инициировать применение датчиков и пломб может не только бизнес, но и государственные структуры, желающие повысить контроль за движением, как правило транзитом, отдельных товаров. Однако на практике в последнем варианте организация не всегда оптимальна, что вызывает непроизводительные расходы и простои, а в некоторых случаях и нерациональное транспортное плечо;

– *цифровизация документооборота* – это долгоиграющий тренд, который присутствует на рынке уже какое-то время и продолжает совершенствовать работу отрасли; он позволяет ускорить и сделать «прозрачным» документооборот, финансовые и грузовые потоки, снизить потери времени, связанные с информированием бизнес-партнеров и заинтересованные государственные и международные организации. В максимально полном варианте данный тренд позволяет создать единое цифровое пространство между странами, интеграцию с таможней, терминалами и перевозчиками, сквозной трекинг транспорта и грузов. На данный момент в отечественной логистической практике этот тренд реализуется достаточно активно, как на внутреннем рынке, так и в международных перевозках, однако внедрению недостает комплексности. Такая проблема актуальна не только для белорусской, но и для международной логистики, т. к. глобально существует множество платформ, на которых в цифровом виде создаются разные группы документов для разных

задач и разных пользователей, их интеграция и объединение являются пока перспективной задачей;

– *data-тренды и аналитика* также, как и автоматизация, позволяют существенно снизить трудоемкость и влияние человеческого фактора на управление потоками, снизить риски, повысить скорость и производительность, а также качество логистических процессов за счет предсказания задержек, сбоев в поставках и изменений в спросе, своевременной корректировке планов. Один из сильнейших глобальных трендов, который ограниченно применяется в отечественной практике. Дело в том, что системы аналитики базируются на системе «больших данных», что требует базы данных, а отечественная логистика представлена в том числе большим количеством мелких и средних компаний, которые не могут создать такие базы из-за недостатка информации, а также относительно высокой стоимости систем обработки данных для малого и среднего бизнеса. В то же время развитие и оптимизация логистики невозможны без укрупнения бизнеса и продвинутой аналитики, поэтому для основной массы участников логистического рынка это направление должно стать одним из приоритетных;

– *искусственный интеллект (ИИ)* как отдельный тренд, так и в комбинации с рассмотренными выше можно назвать «супертрендом». Он используется для анализа больших данных, управления заказами, перевозками, прогнозирования ситуации и снижения рисков, формирования документов и др. Наряду со сложными задачами он справляется с текущими трудоемкими процессами, например, коммуникации с клиентами, снижая транзакционные издержки. С одной стороны, широкая сфера применения ИИ определяет его высокую ценность. С другой стороны, это инструмент, который не до конца изучен и понятен, вызывает недоверие со стороны одних пользователей и излишнюю веру в его компетенции со стороны других, что на данный момент чревато ошибками при интеграции в систему управления бизнесом, существуют риски ошибок, утечки и потери данных. Таким образом, несмотря на то, что имеется положительный мировой опыт его внедрения, отечественный бизнес, включая логистический, занимает пока выжидательную позицию;

– *устойчивое развитие и «зеленая» логистика* уже не первый год влияют на логистический рынок путем ужесточения существующих и введения новых требований к подвижному составу, сертификацию маршрутов и перевозок, учет экологических показателей и отчетность по ним перед общественными и государственными структурами. Данный тренд актуален для белорусского рынка, но в большей степени проявляется в международных перевозках, он требует своевременного обновления и модернизации транспортных средств.

Таким образом, логистика находится на острие множества технологичных и информационных трендов, не все из них одинаково актуальны для отечественного бизнеса, однако для сохранения конкурентоспособности следует их постоянно отслеживать и своевременно внедрять для решения текущих и перспективных задач.

УДК 656.072:004.738

РАЗВИТИЕ ФУНКЦИОНАЛА И ИНТЕРАКТИВНОСТИ САЙТА ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТУПНОСТИ И КАЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

С. А. АЛЕКСАНДРОВА, Е. С. ЗАДОЛЯ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современный бизнес, функционирующий в условиях цифровой трансформации, должен обеспечить качественную работу не только в реальном, но и в информационном пространстве. В современном мире официальный сайт любой компании выполняет разнообразные функции:

- является «визиткой» организации в сети и обеспечивает первое представление о компании для потенциальных клиентов и партнеров;
- это точка контакта с потребителем, позволяющая ему удовлетворить свои информационные потребности, а также быстро и эффективно самостоятельно выполнить отдельные или комплексные действия, позволяющие удовлетворить свои потребности;
- это инструмент оптимизации для самой компании – возможность распределения, автоматизации и делегирования разнообразных функций и задач между сотрудниками и клиентами.

С учетом цифровой трансформации общества и бизнеса требования к сайту постоянно растут. Это определяет актуальность поддержания работоспособного и функционального сайта в том числе для транспортной компании, работающей в сегменте пассажирских перевозок.

В рамках проведенного исследования был изучен сайт Могилевского филиала Автобусный парк № 1 ОАО «Могилевоблавтротранс» по ключевым критериям: дизайн, удобство пользования и функционал. Оценка проводилась на предмет соблюдения современных стандартов и подходов с использованием экспертного и потребительского опроса, а также путем сравнения с конкурентами.

В результате были сделаны следующие выводы:

- оценка оформления и дизайна выявила, что сайт выполнен в официально-деловом стиле, но оформление устарело – используемые цвета, шрифты, другие визуальные компоненты, а также способ организации страницы соответствуют стандартам 2000-х гг, т. е. устарели;
- меню навигации в целом интуитивно понятное для пользователя, но нет разделений для определенных групп посетителей;
- оценка возможности доступа к сайту с разных устройств показала, что сайт не оптимизирован для мобильных устройств; данный недостаток критичен, т. к. пользователи чаще всего пользуются мобильными устройствами, особенно если транспортная проблема или задача возникает уже в пути;
- отсутствуют интерактивные сервисы, что снижает функционал сайта;
- в качестве положительного момента была отмечена достаточно высокая скорость загрузки (менее 1 с);

– низкие доступность и полнота информации для пассажиров; как источник информации для пассажиров сайт не выполняет свои задачи – главная страница не предоставляет немедленного доступа к ключевым данным для потребителя транспортной услуги: расписанию, схеме маршрутов, информации о стоимости и опциях покупки билетов.

Таким образом, сайт не позволяет решать задачи, с которыми он должен справляться – быстро предоставлять пользователю полную информацию и позволять ему самостоятельно совершать необходимые действия – найти расписание движения, выбрать или построить маршрут, приобрести билет, определить время ожидания автобуса и т. п. Главная страница данного сайта – по сути это просто обложка, а следует превратить ее в стартовую панель, с которой пользователь должен получить мгновенный доступ к необходимым логистическим операциям.

Сайт требует комплексного обновления по следующим направлениям:

- общий редизайн под современные стандарты;
- выведение часто используемых элементов на главную страницу;
- оптимизация сайта для мобильных устройств;

– увеличение размеров элементов навигации. Пользователи могут испытывать затруднения при работе с меню навигации, особенно на сенсорных экранах мобильных устройств, где точность нажатия ниже, чем при использовании курсора мыши. В связи с этим предлагается отказаться от мелких текстовых ссылок в пользу крупных, визуально выделенных кнопок. Увеличение площади активной зоны клика минимизирует вероятность ошибочных нажатий и существенно повысит эргономичность ресурса;

– добавление возможности покупки билетов. Реализация данной функции возможна напрямую перевозчиком при соответствующей организационной подготовке. Если разработка собственной системы на данном этапе финансово нецелесообразна или организационно сложна, стоит пойти по пути интеграции с крупными транспортными агрегаторами. В качестве быстрого решения предлагается разместить прямые виджеты или реферальные ссылки на проверенные платформы по продаже билетов (например, TicketBus и аналоги);

– добавление интерактивной карты маршрутов, табло ожидания, а также добавление опции построения сложных маршрутов. Данная составляющая функционала также может быть организована собственными силами либо путем интеграции со сторонними ресурсами (например, maps.yandex.by или transport.by).

Предложенный вариант редизайна с учетом представленных выше рекомендаций не просто обновляет «картинку», а решает конкретные логистические задачи: ускоряет обслуживание клиентов, снижает нагрузку на справочную службу за счет понятной навигации и обеспечивает доступность услуг с любых устройств. В отличие от старой версии, которая функционирует как статичный информационный ресурс, новый макет трансформирует сайт в интерактивный инструмент обслуживания пассажиров.

УДК 338.001.76

ИНВЕСТИПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ЮГО-ВОСТОЧНОГО РЕГИОНА МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

А. Г. БАРАНОВСКИЙ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Инвестиционная привлекательность региона – это совокупность факторов, условий и обстоятельств, которые оказывают влияние на решение инвестора о целесообразности и выгоды инвестировать в его (региона) развитие. Очевидно, что среди этих факторов будут факторы, стимулирующие инвестиции, и факторы, снижающие интерес инвесторов к инвестированию.

Характеристика инвестиционной привлекательности Юго-Восточного региона Могилевской области в виде SWOT-анализа представлена на рис. 1.

Сильные стороны	Слабые стороны
Государственная поддержка развития региона. Программа «Один район – один проект». Наличие инвестиционного портфеля важных проектов. Значительные лесные массивы. Развитое сельское хозяйство. Наличие крупных цементных заводов. Наличие границ с Российской Федерацией. Положительная динамика увеличения средств населения в инвестиции в основной капитал. Увеличение числа коммерческих организаций в регионе	Уменьшение численности населения. Радиоактивное заражение значительной территории. Отсутствие залежей важнейших полезных ископаемых. Регион находится на периферии основных транспортных потоков. Низкая доля иностранных инвестиций в основной капитал и её снижение. Слабая вовлеченность региона в глобальную экономику. Недостаточное развитие жилищного строительства
Возможности	Угрозы
Активизация инвестиционной деятельности в форме привлечения средств населения. Развитие зеленой энергетики. Развитие сельского хозяйства. Формирование кластеров в деревообработке, рыбном хозяйстве. Активизация торговли с регионами РФ. Активизация инновационной деятельности	Дальнейшее сокращение внешних источников инвестирования. Дефицит квалифицированных рабочих и управленцев. Дальнейшая депопуляция населения. Стагнация социальной сферы, в частности жилищного строительства

Рис. 1

К числу факторов, стимулирующих инвестиции, прежде всего следует отнести государственную поддержку развития региона и наличие инвестиционного портфеля важных проектов. Привлечению инвестиций способствуют формирование кластеров в деревообработке, рыбном хозяйстве и активизация торговли с регионами РФ. Сдерживают инвестиции уменьшение численности населения и радиоактивное заражение значительной территории.

Анализ инвестиций в основной капитал Могилевской области по источникам финансирования за период 2018–2024 гг. представлен в табл. 1.

Табл. 1

В процентах

Финансирование	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100
В том числе: консолидирован- ный бюджет	23,9	16,2	15,6	16,8	17,4	18,8	21,9	27,3	27,2
внебюджетные фонды	0,4	0,6	0,7	0,9	0,5	0,5	0,4	0,3	—
собственные средства организаций	38,6	47,3	43,9	36,2	39,5	43,2	38,9	38,1	34,6
заемные средства организаций	2,9	3,5	3,5	1,8	2,0	2,2	1,1	1,2	1,7
средства населе- ния	8,9	9,5	9,5	13,1	12,7	12,1	15,5	13,7	15,6
иностранные инвестиции	8,0	8,7	8,7	7,9	7,1	2,9	2,4	2,4	2,5
кредиты (займы) банков	15,0	10,3	12,3	14,2	14,0	14,0	13,1	10,4	11,2
Прочие источники	7,3	3,9	4,8	5,3	6,8	6,4	6,6	6,8	7,2

Основным источником инвестиционных средств являются собственные средства предприятий и фирм. Их доля по годам не меньше 34,6 % и достигает 47,3 %. Следующий значимый источник – консолидированный бюджет. Его доля колеблется от 15,6 % до 27,3 %. Доля займов (кредитов) за период 2016–2022 гг. была сравнительно стабильной и составляла 13 %...15 %, но в 2023 г. снизилась до 10,4 %. Положительной тенденцией следует считать рост доли средств населения с 8,9 % до 15,6 % в 2024 г. Доля иностранных инвестиций была невелика (8,7 % в 2017 и 2018 гг. и 7,1 % в 2020 г.) и стабильно снижается. Причем резкое снижение почти в 3 раза произошло после 2020 г. В 2022–2023 гг. эта доля составила всего 2,4 % [1].

Можно сделать вывод, что рейтинг инвестиционной привлекательности в реальности является вторичным по отношению к инвестированию в развитие региона, т. к. внешние источники финансирования ограничены. В данной ситуации резервом инвестирования в развитие Юго-Восточного региона Могилевской области следует считать более активное привлечение средств населения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистический ежегодник Могилевской области 2024. – Могилев : Гл. стат. упр. Могилев. обл., 2024. – 341 с.

УДК 330

ОПТИМИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Т. А. БОРОДИЧ, А. М. ТАРАСОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В современных рыночных условиях ключевой задачей для автотранспортной компании становится снижение издержек и рациональное использование ресурсов без ущерба для качества сервиса. Достичь этой цели позволяет системная оптимизация логистических бизнес-процессов.

Для компании ООО «ПРОТОС АВТО» основные процессы напрямую связаны с ее профильной деятельностью и охватывают два ключевых направления: привлечение клиентской базы и непосредственное выполнение грузовых перевозок.

Оценка существующих бизнес-процессов, связанных с основной деятельностью предприятия, позволяет сделать следующие выводы.

1. Сложность процессов невысока и имеет тенденцию к снижению в анализируемом периоде.

2. Модель процессов является процессно-ориентированной: все ее элементы связаны причинно-следственными связями и горизонтально интегрированы.

3. Уровень контролируемости процессов со стороны ответственных лиц оценивается как средний.

4. Ресурсоемкость процессов низкая, однако ее рост указывает на снижающуюся эффективность использования ресурсов в логистической деятельности предприятия.

5. Степень регулируемости процессов избыточна, хотя в 2024 г. отмечается ее некоторое сокращение. Высокий уровень регламентации обусловлен большим массивом нормативно-правовых актов, регулирующих автомобильные грузоперевозки.

Таким образом, исследуемые бизнес-процессы в целом можно считать эффективными благодаря их относительно простой структуре, соответствию процессному подходу и приемлемому уровню контролируемости. Однако эти преимущества компенсируются негативной динамикой эффективности использования ресурсов и чрезмерной зарегламентированностью деятельности.

Для количественной оценки эффективности бизнес-процессов автопарка применен квалиметрический метод. Расчет интегрального показателя показал следующие значения:

– за 2023 г.: 0,246. Это соответствует хорошему уровню выполнения требований с незначительными отклонениями;

– за 2024 г.: 0,199. Значение снизилось, что указывает лишь на частичное выполнение требований и наличие заметных несоответствий.

Проведенная оценка четко фиксирует снижение эффективности логистических процессов в 2024 г. и выявляет проблемы в управлении

перевозками и распоряжении ресурсами предприятия.

Так, проведенный анализ использования автопарка и логистических затрат позволяет сделать следующие выводы:

- коэффициент использования грузоподъемности в среднем по автопарку в 2024 г. составил 81,2 %. Наилучшие показатели зафиксированы у автомобилей, работающих с прицепами-бочками;

- факторный анализ грузооборота показал, что его рост в 2024 г. в наибольшей степени обеспечен увеличением суточного времени работы транспорта на линии (+6 ч, прирост 6504,09 т·км) и сокращением времени простоя под погрузочно-разгрузочными операциями (+6239,03 т·км). Основные потери грузооборота вызваны сокращением численности автопарка (–656,27 т·км) и снижением на 4 % эффективности использования грузоподъемности;

- структура логистических затрат в 2024 г. возросла на 433,73 тыс. р. Рост обусловлен увеличением амортизационных отчислений, фонда оплаты труда и в значительной степени расходов на топливо.

Поскольку значительную часть перевозок ООО «ПРОТОС АВТО» составляют перевозки в Российскую Федерацию, а компания теряет заказы из-за ограничений на каботажные перевозки, для повышения эффективности организации бизнес-процессов предлагается следующий комплекс мер.

1. Активное применение цифровых платформ для диспетчеризации и повышения количества перевозок.

2. Повышение клиентоориентированности за счет создания личных кабинетов для клиентов с возможностью онлайн-заказа, отслеживания груза и получения электронных документов, что позволит повысить уровень сервиса.

3. Создание на территории РФ дочерней компании и регистрация на российские номера трех автомобилей из состава автопарка.

4. Организация склада временного хранения для оптимизации планирования перевозок по России.

Для реализации проекта требуется инвестиция в размере 765 000 долл. США при горизонте планирования 5 лет.

Оценка эффективности проекта проведена для трех сценариев.

1. Оптимистический сценарий: доля прибыли от нового направления достигнет 70 % от общей. Простой срок окупаемости – 3,5 года, дисконтированный – 3 года.

2. Пессимистический сценарий: доля прибыли от нового направления составит 10 %. Простой срок окупаемости – 4 года, дисконтированный – 5 лет.

3. Базовый (плановый) сценарий занимает промежуточное положение между указанными вариантами.

Таким образом, оптимизация бизнес-процессов автопарка позволяет сократить затраты, повысить эффективность использования транспорта, улучшить качество обслуживания клиентов и увеличить прибыль за счет устранения неэффективных операций, автоматизации рутинных задач (планирование маршрутов, учет ГСМ) и внедрения цифровых технологий (GPS-мониторинг, интеллектуальные системы управления).

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА

М. Н. ГРИНЕВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Надежность работы транспортного комплекса Могилевской области является важной характеристикой развития региона и удовлетворения потребностей населения. Существующие проблемы связаны в основном с износом подвижного состава и дорожной инфраструктуры.

Среди ключевых аспектов надежности можно выделить:

– надежность общественного транспорта. Для ее повышения необходимо снижать износ подвижного состава, предпринимать меры по его обновлению и учитывать влияние погоды. По состоянию на середину 2025 г. около 82,5 % троллейбусов в Могилеве были признаны устаревшими. Это напрямую влияет на регулярность рейсов и риск поломок. Для повышения надежности в конце 2025 г. в город поступили новые троллейбусы «Ольгерд», что является частью планомерной замены старого парка на более современный и надежный транспорт. Работа общественного транспорта, особенно электрического, может нарушаться из-за неблагоприятных погодных явлений, таких как сильный ветер, который приводит к падению деревьев и нарушению электроснабжения;

– надежность дорожной сети, которая зависит от проведения масштабных ремонтов дорожного покрытия, применения системного подхода и внедрения цифровизации процессов. В 2025 г. в Могилевской области отремонтировано более 1042 км местных дорог и свыше 600 п. м искусственных сооружений (мостов, путепроводов). В конце 2025 г. утверждена новая госпрограмма «Дороги Беларуси» на 2026–2030 гг., которая предусматривает реконструкцию и ремонт 25 тыс. км дорог общего пользования в течение пятилетки, что заложит основу для долгосрочной надежности дорожного сообщения. Внедрение систем GPS/ГЛОНАСС мониторинга транспорта позволяет в режиме реального времени отслеживать движение и оперативно реагировать на сбои, что повышает общую управляемость и надежность системы.

Таким образом, надежность транспортного комплекса Могилевской области является приоритетом для местных и республиканских властей. Для повышения надежности необходимо инвестировать в инфраструктуру и обновление парка для снижения рисков и обеспечения бесперебойного сообщения.

УДК 332.8

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

М. Н. ГРИНЕВИЧ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Повышение эффективности транспорта в Могилевской области базируется на реализации новых государственных программ и внедрении интеллектуальных систем управления. Основными направлениями стратегии развития транспортного комплекса являются:

- интеллектуализация и цифровая трансформация за счет расширения использования цифрового документооборота (полный переход на цифровые путевые листы для исключения бумажной волокиты и автоматизации контроля за состоянием водителей и машин), умной оплаты (масштабирование систем бесконтактной оплаты (валидаторов) на все виды транспорта, включая маршрутные такси, что ускоряет посадку и повышает прозрачность выручки), спутникового мониторинга (использование систем GPS/ГЛОНАСС для оптимизации графиков движения в режиме реального времени и минимизации простоев);

- обновление и экологизация парка за счет перехода на электротягу (массовая замена дизельных автобусов на электробусы и троллейбусы с автономным ходом (как это реализовано в г. Шклове и планируется для г. Могилева), что снижает затраты на энергию и обслуживание) и технологического обновления;

- оптимизация дорожной инфраструктуры за счет снижения нагрузки на центр г. Могилева (завершение строительства внутригородской кольцевой магистрали в Могилеве (3,6...4 км с эстакадами и наклонными развязками), что позволит вывести транзитные потоки и повысить скорость движения общественного транспорта) и повышения качества покрытия дорог (акцент делается на использовании бетонных покрытий, которые имеют больший срок службы и требуют меньших затрат на текущий ремонт);

- институциональные и кадровые меры за счет кластерного подхода (внедрение кооперации между транспортными предприятиями и промышленными гигантами региона для оптимизации логистических цепочек), безопасности и охраны труда, привлечения инвестиций.

Таким образом, реализация данных направлений позволит удовлетворить растущий спрос на перевозки (более 10 тыс. автомобилей в сутки на ключевых артериях) при одновременном снижении себестоимости 1 км пробега.

УДК 330.336

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Е. С. ЖЕСТКОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время для предприятий Республики Беларусь все более актуальным становится вопрос обеспечения его экономической безопасности, т. е. способности противостоять разнообразным угрозам его экономическому благополучию, которые возникают как во внутренней, так и во внешней среде.

Для успешного формирования и поддержания системы экономической безопасности предприятия (ЭБП) необходимо периодически выполнять оценку и анализ текущего состояния этой системы. Эта задача относится к классу многокритериальных задач, т. к. ЭБП включает несколько функциональных составляющих, которые обеспечивают различные направления защиты экономических интересов предприятия от тех или иных видов угроз.

Большинство исследователей относят к функциональным составляющим ЭБП следующие:

- 1) финансовая, связанная с обеспечением финансовой устойчивости и платежеспособности предприятия;
- 2) кадровая, предполагающая формирование и развитие кадрового и интеллектуального потенциала организации;
- 3) производственная, отвечающая за техническое и технологическое развитие предприятия;
- 4) информационная, заключающаяся в обеспечении безопасности информационных процессов, протекающих в организации;
- 5) экологическая, обеспечивающая защиту от угроз, возникших в результате природных и техногенных чрезвычайных ситуаций;
- 6) правовая, связанная с правовым обеспечением деятельности предприятия и соблюдением норм законодательства;
- 7) силовая, отвечающая за сохранность имущества предприятия, безопасность его персонала.

Для того чтобы оценить состояние ЭБП, необходимо провести оценку состояния каждой из перечисленных составляющих. Эта оценка также является многокритериальной, т. к. на функциональные составляющие влияют различные факторы.

Таким образом, для оценки состояния ЭБП необходимо сформировать интегральный показатель, который позволит оценить и учесть состояние каждой функциональной составляющей, учесть их вклад в общий показатель и даст возможность анализировать и управлять ЭБП.

Логика построения интегрального показателя может быть отражена в виде причинно-следственной диаграммы, представленной на рис. 1.

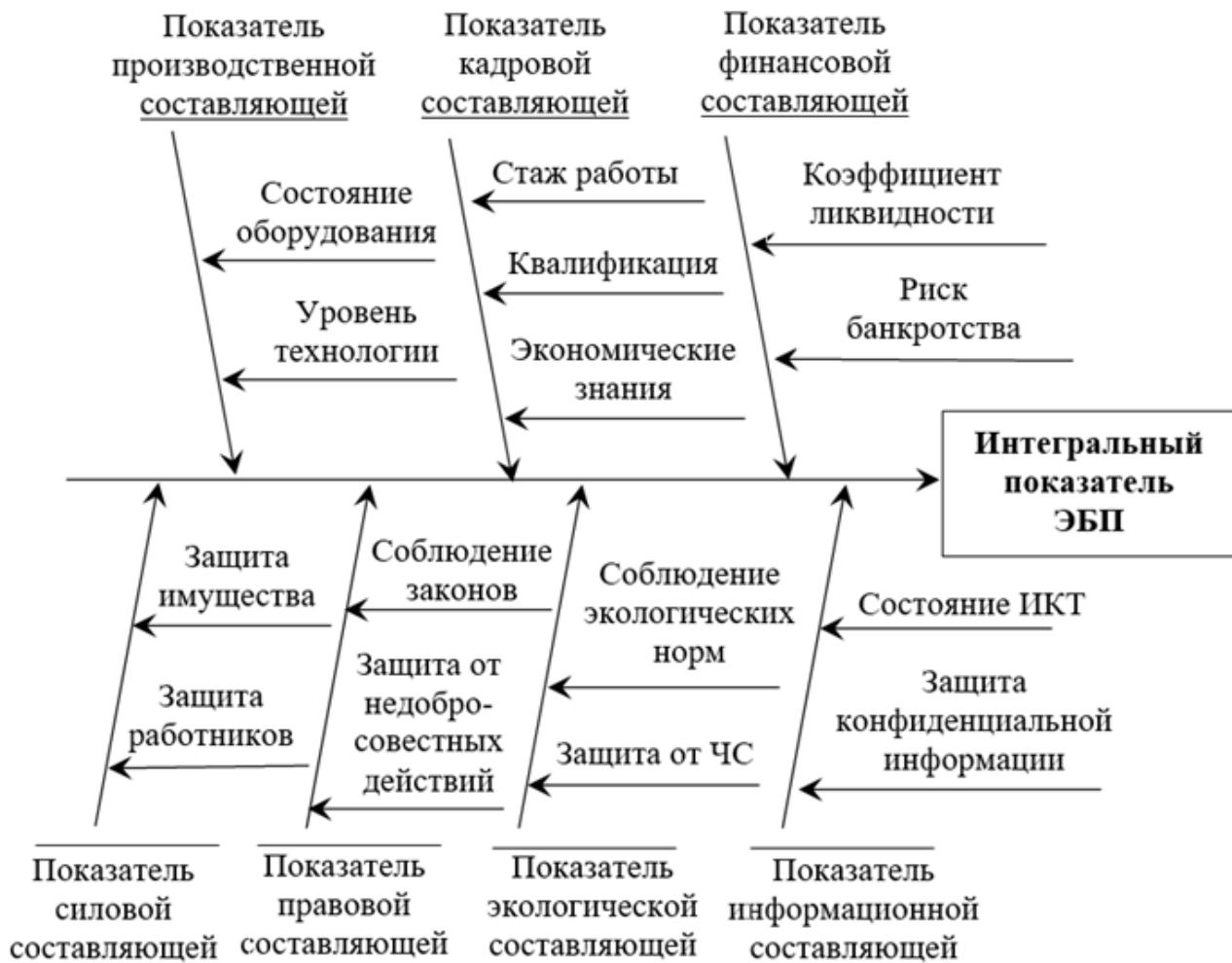


Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма построения интегрального показателя ЭБП

Причинно-следственная диаграмма содержит два уровня факторов, участвующих в формировании интегрального показателя ЭБП. На первом уровне расположены функциональные составляющие ЭБП, на втором – второстепенные факторы, влияющие на состояние факторов первого уровня. При необходимости можно добавлять в диаграмму факторы третьего уровня для того, чтобы оценить факторы второго (например, уровень технологии может оцениваться несколькими показателями: эффективность, прогрессивность, экологичность) и т. д.

Формирование интегрального показателя ЭБП следует проводить путем свертки указанных на причинно-следственной диаграмме факторов начиная с самого нижнего уровня с применением коэффициентов относительной важности каждого фактора. В результате будут рассчитаны оценки факторов более высокого уровня, которые, в свою очередь, сворачиваются с учетом своей важности в показатель более высокого уровня. В итоге будет получен интегральный показатель ЭБП, на основании которого можно принимать управленческие решения.

УДК 656.62

ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

А. М. ЖИДКОВА¹, Е. О. ОЛЬХОВИК²

¹ ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

² Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С. О. Макарова
Санкт-Петербург, Россия

Интеллектуальные системы управления в настоящее время активно развиваются в транспортной отрасли. Их преимущества – повышение безопасности, оптимизация скорости движения, сокращение воздействия на окружающую среду, а также экономические преимущества по мере масштабирования данных технологий. На внутреннем водном транспорте подобные цифровые системы, в том числе в области логистики [1], практически отсутствуют в странах с незначительной долей в общем грузообороте, что, в свою очередь, является одним из сдерживающих факторов для наращивания конкурентоспособности речного транспорта. Базовые проблемы цифровизации внутреннего водного транспорта раскрываются в [2].

В цикле научных статей [3, 4] предлагается технология изменения конфигурации (перегруппировки) барже-буксирных составов судов при их движении по маршрутам в целях наилучшей адаптации к габаритам внутренних водных путей и, как следствие, обеспечения возможности наилучшей загрузки состава. Успешная реализация данного предложения невозможна без создания цифровой платформы, позволяющей получать информацию о рекомендуемых действиях как на этапе планирования [5], так и при выполнении рейса.

Основой реализации такой платформы могут быть следующие формализованные положения: судовой ход подразделяется на прямолинейные и криволинейные участки, сам водный путь формируется из множества путевых точек, каждая путевая точка/участок водного пути относится к одному из уровней, определяющих действие, которое должно выполнить судно (состав) на данном участке/в данной путевой точке. Уровень исходит из так называемой трехуровневой модели, характеристика которой представлена в табл. 1. При этом уровень более высокого порядка включает базовые действия предыдущих уровней. Основные ограничения для создания такой цифровой платформы: отсутствуют необходимые данные, которые могут быть учтены в автоматическом режиме и в полном объеме на ЭКНИС (например, распоряжение Росморречфлота от 27 декабря 2024 г. № АТ-531-р «Об установлении категорий внутренних водных путей»).

Создание платформы, обеспечивающей получение рекомендаций по движению и формированию барже-буксирных составов, позволяет максимально полно использовать габариты внутренних водных путей при организации рейса, что при наличии постоянного грузопотока повышает эффективность перевозок на речном транспорте (табл. 1).

Табл. 1. Характеристика трехуровневой системы, определяющей действие состава судов при движении по внутренним водным путям

Уровень и его характеристика	Основной фактор, определяющий действие состава судов	
	Прямолинейный участок ВВП 	Криволинейный участок ВВП 
Уровень 0 (метауровень): изменение скоростного режима и конфигурации состава не совершается	—	
Уровень 1: изменение скоростного режима движения судов	Естественное или искусственное сужение ширины участка	Угол поворота
Уровень 2: переформирование состава судов (барж в составе)	Естественное или искусственное сужение ширины участка	Угол поворота, радиус поворота
Уровень 3: изменение расположения буксира в составе	—	

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домнина, О. Л. Современное состояние, проблемы и основные направления развития логистики на водном транспорте / О. Л. Домнина, В. Н. Костров, А. О. Ничипорук // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 76. – С. 141–165.
2. Проблемы цифровизации внутреннего водного транспорта / И. И. Ганчеренок, Н. Н. Горбачев, А. О. Ничипорук [и др.] // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 70. – С. 110–124.
3. Жидкова, А. М. Оптимизация конфигурации барже-буксирных составов в зависимости от габаритных и навигационных характеристик внутренних водных путей / А. М. Жидкова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2022. – Т. 14, № 5. – С. 722–735.
4. Жидкова, А. М. Моделирование работы барже-буксирных составов методом матричной маршрутизации / А. М. Жидкова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2023. – Т. 15, № 6. – С. 1015–1029.
5. Жидкова, А. М. Дискретно-событийное моделирование прохода составов судов по внутренним водным путям с применением навигационных систем / А. М. Жидкова, Е. О. Ольховик, А. П. Беспалов // Морская радиоэлектроника. – 2025. – № 4 (94). – С. 17–21.

УДК 338.24:004.41/42

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В БУХГАЛТЕРСКОМ УЧЕТЕ

А. С. ЗУБКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Технологии искусственного интеллекта (далее – ИИ) начинают активно использоваться в такой специфичной сфере управленческой деятельности, как бухгалтерский учет. Их применение позволяет высвободить рабочее время специалистов от рутинного труда, уменьшает вероятность ошибок и сосредоточиться на аналитической и прогностической работе. По оценкам специалистов [1], ИИ уже сегодня способен выполнять 30 %...50 % бухгалтерской работы. Можно выделить следующие направления применения ИИ в сфере бухгалтерского учета.

Автоматизация рутинных операций. В частности, технологии распознавания символов в первичных учетных документах способны в короткое время извлекать необходимые реквизиты из счёта-фактуры, акта приема-передачи или накладной, сверять их с условиями договоров (номера налогоплательщиков, суммы сделки, в том числе НДС) и вводить данные в соответствующие поля программ «1С Бухгалтерия», SAP и др. Также ИИ способен взять на себя функцию создания шаблонных документов, таких, например, как приказ о продлении договора аренды, типовой договор лизинга, трудовой контракт.

Нейросеть может произвести ускоренную проверку контрагента: регистрацию в государственном реестре юридических лиц или ИП, данные налоговых органов (долги, штрафы, внеплановые проверки), информацию из СМИ (упоминания о несостоятельности и судебных спорах) и др. В результате будет представлен отчет с определением возможных рисков.

Современные алгоритмы ИИ позволяют производить автоматическое начисление авансов, заработной платы, отпускных, выплат по листкам временной нетрудоспособности. FFN-сети производят расчеты по соответствующим формулам, а RNN способны учитывать сезонность, географические и исторические тенденции в области оплаты труда.

Программы ИИ позволят повысить точность и качество ведения бухгалтерского учета. Это может выражаться, в частности, в проведении автоматической сверки платежных документов и банковских выписок с расчётных счетов, соблюдении очередности платежей по расчетам с контрагентами и бюджетом, нахождении некорректных проводок и т. д.

Важной частью аналитической работы, которую может выполнять ИИ, является проверка договоров. Многостраничный текст договора может быть быстро проанализирован по ключевым параметрам: цена, сроки выполнения, ответственность сторон, штрафы и др. В ходе анализа программа сравнивает

параметры договора с нормативными (допустимыми) и предоставляет отчет с расчетом возможных рисков.

Весьма полезным может быть использование ИИ для выявления возможного мошенничества. В частности, алгоритм Isolation Forest может выявлять аномальные транзакции (например, поставщик по сумме договора вошел в десятку самых крупных, но зарегистрирован только месяц назад).

ИИ способен проводить скоростной финансово-экономический анализ результатов деятельности для целей управленческого учета. Соответствующие алгоритмы и программы могут за несколько секунд рассчитать коэффициенты оборачиваемости, ликвидности, финансовой устойчивости и др. Кроме того, он может сопоставить их с отраслевыми медианами, выявить отклонения и построить диаграммы.

В некоторых ситуациях ИИ может оказать существенную помощь при подготовке ответов на запросы контрольных органов. В частности, алгоритм GigaChat может проанализировать требования в запросе, подобрать соответствующие данные и бухгалтерские проводки, сформулировать ответ со ссылками на действующие нормативные правовые акты. Главному бухгалтеру остаётся только проверить и подписать документ.

ИИ может выполнять прогнозирование денежного потока на ближайшие месяцы. В частности, рекуррентная нейронная сеть (RNN) может спрогнозировать остатки на расчетном счете на 4–12 недель вперед с точностью 92 %...96 %. Кросс-валидация проводится по фактическим данным за предыдущие три года.

Нейросети могут быстро выполнять периодический анализ по сопоставлению плановых и фактических затрат при контроле за себестоимостью продукции, на основании чего определить статьи затрат, которые нужно сократить или, наоборот, увеличить. Программы ИИ также могут самостоятельно производить классификацию затрат, т. е. распределять затраты по статьям, экономическим элементам, проектам и партнерам. На основе данной классификации ИИ может выполнить анализ динамики затрат по их направлениям и структуре за несколько предыдущих лет с построением соответствующих графиков и диаграмм.

Нейросеть может помочь решить такую важную задачу, как оптимальное налоговое планирование путем выполнения сценарного анализа уплаты НДС и налога на прибыль. Модель рассчитывает, к примеру, три варианта поступления выручки от реализации и показывает, какая стратегия дает минимальную налоговую нагрузку без риска претензий со стороны налоговых органов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. URL: <https://secrets.tbank.ru/blogi-kompanij/buhgalterskij-uchet-s-ii/?ysclid=mjqus1lpo374096127>.

УДК 338.24:004.41/42

ЦИФРОВОЙ БУХГАЛТЕРСКИЙ УЧЕТ: ЭТАПЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

А. С. ЗУБКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Процесс автоматизации бухгалтерского учета развивался поэтапно. С конца 1980-х гг. можно выделить четыре этапа данного процесса.

На *первом этапе* осуществлялась автоматизация отдельных участков (задач) процесса бухгалтерского учета. В первую очередь автоматизировались те из них, на которых происходило ежедневное движение однотипных первичных учетных документов (ПУД) в значительных объемах: передача готовой продукции из производства на склад и ее отгрузка покупателям, складской учет сырья и материалов, учет заработной платы работников и др. На данном этапе большая часть ПУД составлялись на бумажных носителях (товарные и товаротранспортные накладные, акты выполненных работ, приходные и расходные ордера и др.). Затем данные документы вручную вводились в компьютерную программу, которая их обрабатывала и формировала различные учетные регистры в электронном виде. Масштаб и скорость автоматизации учета различались по отраслям экономики. Более быстрыми темпами автоматизация происходила в торговле и общественном питании, для которых характерно преобладание малых и средних организаций. На крупных предприятиях учет автоматизировался выборочно, начиная с наиболее трудоёмких участков.

Второй этап – комплексная автоматизация всех учетных операций в масштабе организации. Такие программы создавались в первую очередь для организаций торговли и общественного питания. На крупных и средних предприятиях других отраслей был автоматизирован учет основных снабженческих, производственных, сбытовых и расчетных операций. При этом построение документооборота сочеталось с применением бумажных ПУД и документов в электронной форме (преимущественно учетных регистров). Программы бухучета позволяли автоматически формировать бухгалтерскую отчетность и часть статистической отчетности.

Третий этап характеризуется переходом на полный электронный документооборот с автоматизацией всех участков учетной работы и составлением отчетности. На данном этапе практически весь внешний документооборот производится посредством электронных документов (товарные и товаротранспортные накладные, счета-фактуры, платежные поручения и требования, налоговые декларации, бухгалтерская отчетность). При составлении их в форме электронного документа они должны соответствовать требованиям законодательства об электронных документах и электронной цифровой подписи [1]. Для этого в Республике Беларусь были созданы соответствующие организации и техническая инфраструктура, посредством которых осуществляется электронный документооборот. Внутренний документооборот также постепенно

переводится в электронный вид. Для этого в Закон о бухгалтерском учете и отчетности [2] были внесены изменения и дополнения в части способов подписания ПУД. Согласно п. 2 ст.10 Закона документ может быть подписан с использованием средств связи и иных технических средств, компьютерных программ, информационных систем или информационных сетей, если такой способ подписания позволяет достоверно установить, что этот документ подписан лицом, ответственным за совершение хозяйственной операции и (или) правильность ее оформления. Это дало право организациям разрабатывать собственные технические способы и регламенты подписания внутренних учетных документов и тем самым осуществить перевод внутреннего документооборота в электронный вид.

В настоящее время можно констатировать начало *четвертого этапа* автоматизации бухгалтерского учета, в основе которого лежит бурное развитие цифровой экономики с 2020-х гг. Характерными чертами данного этапа являются: переход на полностью электронный документооборот (как внешний, так и внутренний), автоматическое формирование учетных регистров на основе электронных ПУД, проведение расчетных операций на основе смарт-контрактов и электронных ПУД, автоматическое составление бухгалтерской и статистической отчетности. Анализ результатов финансово-хозяйственной деятельности также может проводиться путем применения соответствующих компьютерных программ и искусственного интеллекта.

При этом общим правилом становится использование электронного обмена данными, который исключает ручные и бумажные операции. В настоящее время бухгалтерские программы уже используют облачные сервисы. Это позволяет войти в собственную бухгалтерскую программу через веб-сайт и дистанционно создавать первичные учетные документы. Среди преимуществ такого способа – использование нескольких компьютеров одновременно и простой обмен данными. Онлайн-программные решения с помощью смартфонов и мини-программ синхронизируют и отправляют данные в облачное хранилище. Таким образом, комплексное использование компьютерных программ, сервисов интернета, смартфонов и искусственного интеллекта превращает бухгалтерский учет в сферу высокоинтеллектуальной аналитической деятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об электронном документе и электронной цифровой подписи: Закон Респ. Беларусь от 28 дек. 2009 г. № 113-З: в ред. Закона Респ. Беларусь от 14 окт. 2022 г. № 213-З // Бизнес-Инфо: аналит.-правовая система / ООО «Профессиональные правовые системы». – Мн. , 2025.
2. О бухгалтерском учете и отчетности: Закон Респ. Беларусь от 12 июля 2013 г. № 57-З: в ред. Закона Респ. Беларусь от 11 окт. 2022 г. № 210-З // Бизнес-Инфо: аналит.-правовая система / ООО «Профессиональные правовые системы». – Мн. , 2025.

УДК 338.24

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ «ДОРОГИ БЕЛАРУСИ» НА 2026–2030 ГГ.

А. В. КАЗАНСКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Совет Министров Республики Беларусь постановлением № 776 от 29 декабря 2025 г. утвердил Государственную программу «Дороги Беларуси» на 2026–2030 гг. (далее – Программа 2026–2030). Программа 2026–2030 является важнейшим программно-целевым документом, который позволяет государству комплексно решать приоритетные задачи и достигать цели в области дорожного хозяйства. Целью Программы 2026–2030 является усовершенствование и поддержание автомобильных дорог общего пользования в состоянии, обеспечивающем комфортную жизнь населения в любой точке страны. Программа 2026–2030 направлена на достижение целей и выполнение задач, определенных Программой социально-экономического развития Республики Беларусь на 2026–2030 гг.

Центральным вопросом при разработке программ является формирование источников финансирования. На реализацию Государственной программы в 2026–2030 гг. запланированы средства в размере 18 884,960 млн р., в том числе: средства республиканского бюджета – 16 703,935 млн р., средства местных бюджетов – 2 039,006 млн р., собственные средства заказчиков (инвестиционного фонда Минтранса) – 15,135 млн р., средства организаций дорожного хозяйства – 126,884 млн р. Структура финансирования приведена на рис. 1. С целью анализа изменения источников финансирования приведем структуру финансирования Программы 2021–2025 на рис. 1.

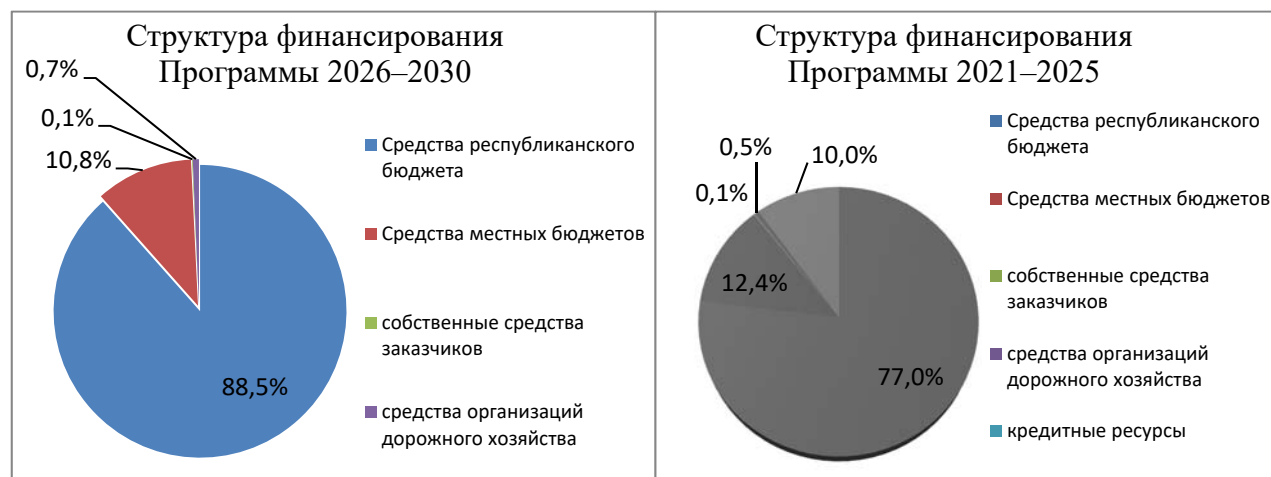


Рис. 1. Источники финансирования Государственных программ «Дороги Беларуси»

Отметим, что одним из источников финансирования ранее действовавшей Программы 2021–2025 гг. были кредитные ресурсы, они покрывали 10 % потребности в финансовых средствах. В действующей программе этот источник

не востребован, он замещен средствами республиканского бюджета. На погашение ранее полученных кредитов и процентов за пользование ими в программе предусмотрен значительный объем финансирования – 305,048 млн р., их полное погашение предусмотрено в 2026–2027 гг. Начиная с 2028 г. кредитование и операции, связанные с ним, в дорожном хозяйстве не предусмотрены.

В структуре финансирования снизилась доля местных бюджетов с 12,4 % до 10,8 %, при этом объем финансирования за счет местных бюджетов вырос с 1 299,999 до 2 039,006 млн р. Как и ранее, собственные средства дорожных организаций и заказчиков являются второстепенным источником, в сумме на них приходится порядка 0,8 %.

Важнейшим источником финансирования дорожного хозяйства остается республиканский бюджет, за его счет пополняется республиканский дорожный фонд. На рис. 2 показано соотношение источников формирования пополненного республиканского дорожного фонда.

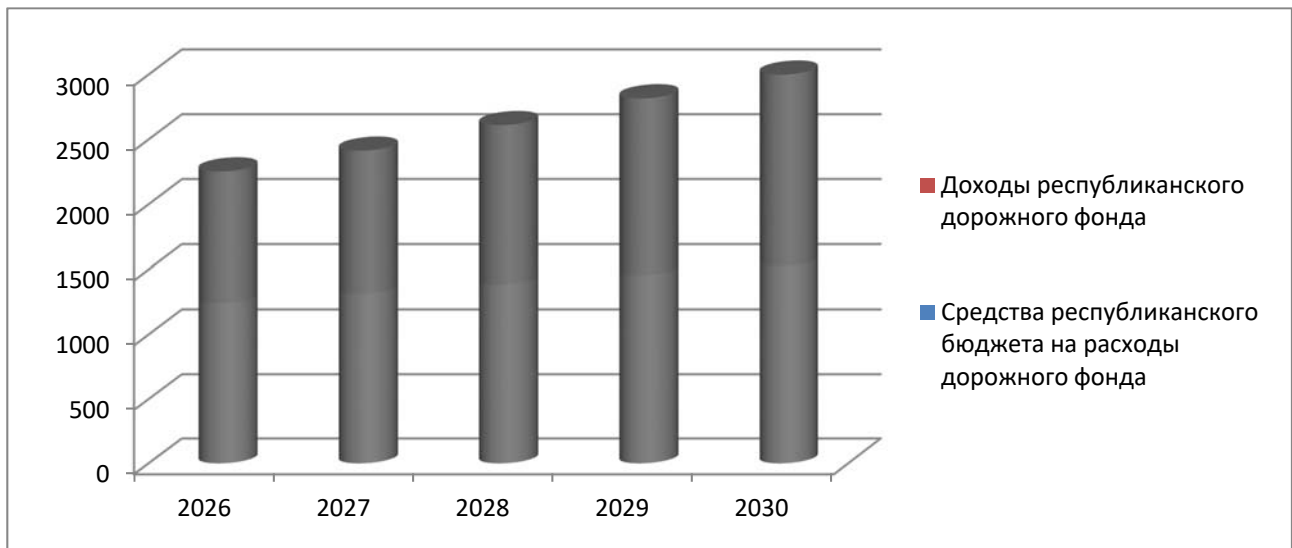


Рис. 2. Источники финансирования республиканского дорожного хозяйства

Отметим ежегодное увеличение объемов финансирования на 6 %...8 %. 52,8 % от общего объема финансирования на пятилетку занимают средства государственного бюджета, направляемые на пополнение республиканского дорожного фонда. Доходы республиканского дорожного фонда покрывают только 47,2 % расходов, соответственно, пользователи автомобильных дорог недостаточно финансируют дорожное хозяйство страны.

Необходимо вернуться к вопросу о поиске дополнительных источников финансирования дорожного хозяйства: увеличение ставки транспортного налога, стоимости проезда по платным дорогам, платы за проезд тяжеловесных и крупногабаритных транспортных средств, государственной пошлины за выдачу разрешений на проезд, введение оплаты проезда по платным дорогам для транспортных средств с допустимой общей массой не более 3,5 т.

УДК 330.16

ИНФОРМАЦИОННО-СЕНСОРНАЯ ПЕРЕГРУЗКА КАК ФАКТОР ОГРАНИЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА ПОТРЕБИТЕЛЯ

Л. А. КЛИМОВА, Д. А. КОЗЛОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Согласно теории рационального выбора, потребитель всегда стремится к максимальной выгоде и оптимальной полезности приобретаемых товаров. В данном контексте наиболее качественно и последовательно описать человека как экономического субъекта можно при помощи модели REMM, которая характеризует человека как активного, оценивающего максимизатора, который в процессе потребления товара тщательно ищет, экспериментирует, анализирует и действует так, чтобы приобретаемые им товары и услуги обладали наибольшей полезностью. Однако в современных условиях действие данной модели существенно затрудняется ввиду активного использования цифровой среды, которая, в свою очередь, создает условия для возникновения информационной и сенсорной перегрузок. Современному человеку часто приходится обрабатывать и запоминать очень большие объёмы информации в короткие промежутки времени. Избытки каналов, мнений, стимулов приводит к тому, что мозг человека перегружается и переходит в состояние стресса. Кроме того, любое действие потребителя часто сопровождается фоновыми звуками, которые могут проявляться, например, через музыку или рекламу в магазине, на улице или в машине. Все это приводит к тому, что органы чувств человека перегружаются, падает концентрация и способность адекватно оценивать ситуацию. В результате он уже не может в полной мере оценить полезность и рациональность покупки.

Результаты социологического исследования, в ходе которого сравнивалось восприятие двух рекламных роликов с разным уровнем сенсорной нагрузки, показали, что тот ролик, в котором сенсорная плотность выше, легче воспринимался (51,4 %), лучше запоминался (76,5 %) и вызывал больше положительных эмоций (64,7 %). Однако при этом более сбалансированный ролик быстрее доносил основное сообщение (60 %) и формировал более чёткое представление об услуге (62,9 %). Кроме того, большинство респондентов (55,9 %) отметили, что вероятнее всего воспользовались бы услугой, предлагаемой во втором видеоролике. Данные результаты свидетельствуют о том, что в современном обществе активно происходит адаптация к информационно-сенсорной перегрузке: мышление людей становится клиповым, более яркие и насыщенные рекламные элементы воспринимаются проще, но при этом потребитель не может в полной мере уловить и проанализировать ту информацию, которую до него пытаются донести.

Таким образом, информационно-сенсорная перегрузка делает классическую модель теории рационального выбора нереалистичной. Потребитель уже не может в полной мере оценить полезность предлагаемого ему товара, а его внимание становится дефицитным ресурсом.

УДК 004.8:658.8.012.12

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО ПОВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Л. А. КЛИМОВА, Д. А. КОЗЛОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Искусственный интеллект – это совокупность адаптивных вычислительных систем, способных к автономному обучению и неалгоритмическому решению задач для достижения результатов, качественно аналогичных продукту человеческого мышления. В условиях современного мира искусственный интеллект достаточно часто воспринимается как «технология общего назначения» и «технология общего решения», которая способна решать управленческие, коммерческие и социальные задачи [1]. Так, например, уже сегодня различные коммерческие компании активно внедряют ИИ в свою деятельность: доля организаций, использующих инструменты искусственного интеллекта как минимум в одном из бизнес-процессов, составляет около 78 % [2].

Помимо того, опираясь на исследование MIT Sloan Management Review, можно заключить, что для более 80 % компаний искусственный интеллект является новой стратегической перспективой и эффективным методом достижения некоторых преимуществ среди конкурентов [3].

Ключевым звеном бизнес-системы является потребитель, влияющий на устойчивость и благосостояние организации, ввиду чего именно вокруг него компании должны строить свою деятельность. На поведение потребителя влияет широкий спектр факторов, которые можно классифицировать по следующим группам: культурные, социальные, личностные и внешние.

В контексте влияния на потребительское поведение искусственный интеллект играет ключевую роль. При его помощи появляется возможность видоизменять бизнес-модели и создавать новые пути совершенствования деятельности организации, что, в свою очередь, позволит контролировать и трансформировать поведение потребителя.

Искусственный интеллект способен изменять потребительское поведение в следующих ключевых аспектах.

1. Мыслительные процессы и принятие решений. Ввиду частого использования искусственного интеллекта желание потребителя самостоятельно анализировать что-либо снижается, т. к. ИИ берет на себя «трудную» часть мышления и предлагает быстрые, готовые ответы. Благодаря этому компании могут успешно использовать поведенческие искажения, например, «эффект якоря» – когнитивное искажение, при котором потребителями товар со скидкой считается априори выгодным, несмотря на то, что реальная цена на рынке может свидетельствовать об обратном.

2. Когнитивная нагрузка. При помощи искусственного интеллекта нередко создается ложная и/или манипулятивная информация, впоследствии проникающая в цифровую среду, создающая информационную перегрузку и снижающая способность к критическому мышлению. Все это в совокупности

приводит к тому, что люди дезориентируются и испытывают стресс, рациональное сравнение товаров и принятие решений становится проблематичным. В результате возникает две крайности потребления: отложенное или интенсивное. Это, в свою очередь, приводит к снижению предсказуемости спроса.

3. Процесс принятия решений. При помощи искусственного интеллекта формируется направленное поведение: потребитель движется по заранее спланированной траектории, хотя ему кажется, что он делает выбор самостоятельно. Происходит это благодаря персонализации предложений и, как следствие, формированию устойчивых моделей потребления: пользователь регулярно получает предложения, которые соответствуют его предыдущему выбору.

4. Сужение спектра возможностей потребителя. Поле выбора становится меньше в результате персонализации предложений, и потребитель видит только то, что соответствует его первоначальному профилю, а та часть рынка, которую искусственный интеллект счел менее релевантной, остается невидимой.

Результаты социологического исследования показали, что около 52 % респондентов иногда принимают решения с опорой на искусственный интеллект, 12 % делают это часто, а 32 % – никогда, что свидетельствует о том, что ИИ воспринимается как вспомогательный механизм. Также было выявлено, что 12 % опрошенных чувствуют, что искусственный интеллект ограничивает способность принимать самостоятельные решения, 20 % испытывают такое чувство иногда, а 64 % – никогда. Кроме того, важным является то, что 36 % респондентов считают, что искусственный интеллект оказывает влияние на личную ответственность за решения, принятые ими, что свидетельствует о возможной утере контроля в будущем и перенаправлении ответственности от человека к алгоритмам. Помимо того, было выявлено, что искусственный интеллект может восприниматься как помощник в познании себя и собственных предпочтений: 24 % опрошиваемых согласились с тем, что ИИ может помочь человеку понять себя.

Таким образом, искусственный интеллект в значительной степени изменяет поведение потребителя, трансформирует мыслительные процессы, влияющие на принятие решений и выбор, вследствие чего возникает необходимость адаптировать маркетинговые подходы по современным цифровым реалиям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долженко, И. Б. Цифровые технологии, искусственный интеллект и поведение потребителей / И. Б. Долженко // Вестник науки и образования. – 2022. – № 24 (138). – С. 40–45.
2. The State of AI. How organizations are rewiring to capture value. – New York: McKinsey and Company, 2025.
3. Цифровая экономика: 2023: краткий стат. сб. / под ред. Г. И. Абдрахмановой, С. А. Васильковского, К. О. Вишневого [и др.]. – М. : ВШЭ, 2023. – 120 с.

УДК 338

БЕНЧМАРКИНГ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАК ОСНОВА ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТНЫХ ПОЗИЦИЙ ВУЗОВ

С. Л. КОМАРОВА, М. Д. САКОВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Конкурентоспособность высшего учебного заведения в условиях трансформации рынка образовательных услуг Беларуси во многом определяется результативностью научно-исследовательской деятельности студентов. На рис. 1 представлен метод бенчмаркинга с приведенными к единой шкале результатами конкурса научно-исследовательской работы студентов по количеству работ, удостоенных звания лауреата, 1, 2 и 3-й категории.

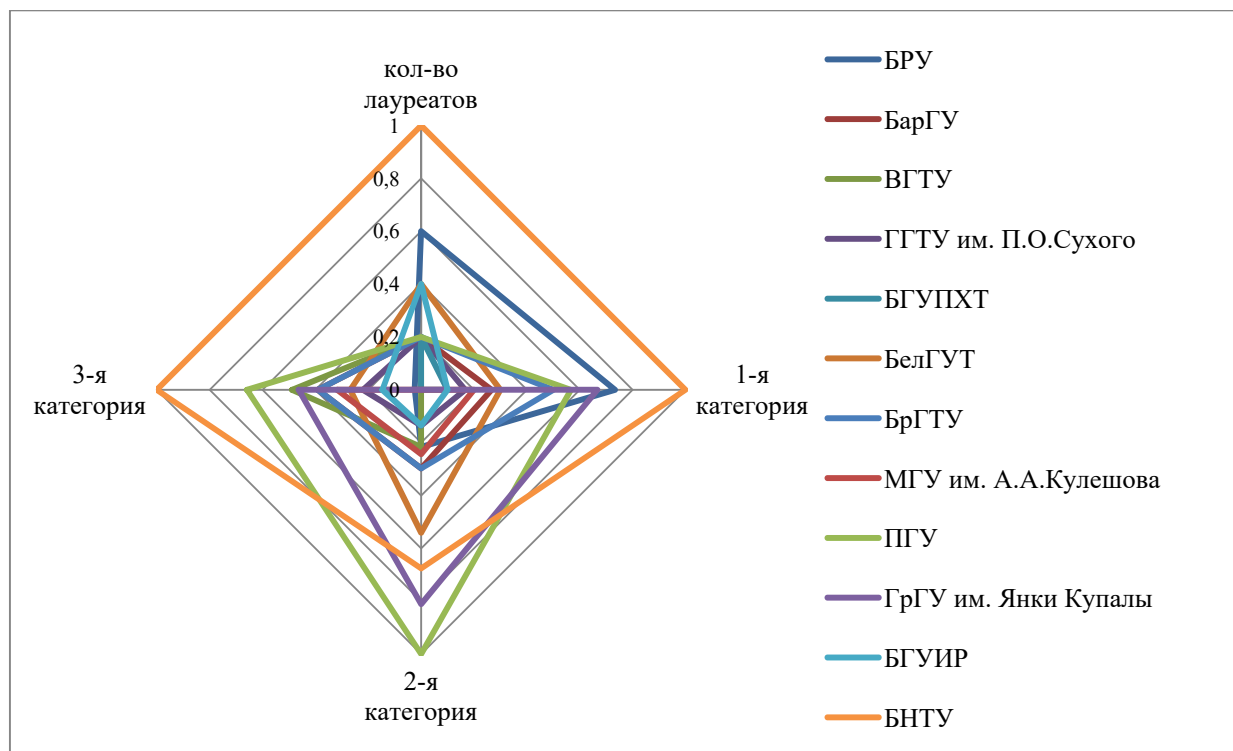


Рис. 1. Результаты конкурса научных работ 2025 г.

По результатам оценки конкурентоспособности технических высших учреждений образования методом бенчмаркинга можем видеть наилучшие показатели у Белорусского национального технического университета, а на втором месте – учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», у которых было отправлено 140 и 128 работ соответственно, из них лауреаты и занявшие категории – 112 и 93 соответственно. Численность студентов БНТУ больше, чем в ПГУ, почти в 4 раза, поэтому можно сделать вывод об отсутствии прямой зависимости между масштабами вуза и интенсивностью его научно-исследовательской деятельности.

УДК 519.8

МОДЕЛЬ УЧЕТА ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ К РИСКУ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОРТФЕЛЯ

Т. М. ЛОБАНОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Принятие решения о выборе объекта инвестирования происходит в условиях неопределенности, которая влечет за собой определенные риски достижения ключевых показателей проектов.

При формировании инвестиционного портфеля возникает следующая задача. Имеется набор из n проектов $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$. Вектор $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, где $x \in \{0, 1\}$, содержит признак включения проекта в портфель. Если x_j примет значение 0, то проект отклоняется, если 1, то проект включается в портфель.

Показатели результативности проекта могут быть как количественные (доход, прибыль), так и качественные, сигнализирующие о достижении определённого социально значимого эффекта. Для формализации качественной результативности и получения по всем проектам сопоставимой оценки в рассматриваемом подходе предлагается использовать метод экспертных оценок.

Матрица $A (a_{i,j})$ содержит оценки j -го проекта i -м экспертом, $i \in \overline{1, m}$, $j \in \overline{1, n}$. R_P – риск портфеля рассчитывается как вариация баллов, выставяемых экспертами портфелю проектов.

Формирование инвестиционного портфеля проектов – это двухкритериальная модель: с одной стороны, необходимо минимизировать риск, а с другой – максимизировать доходность портфеля.

При этом необходимо учитывать и психологический аспект, а именно склонность инвестора к риску. Для этого в целевую функцию вводится переменная $\gamma \in [0, 1]$, характеризующая предрасположенность лица, принимающего решение, к риску [1]. Значение около нуля означает предпочтение не рисковать, около единицы – напротив.

Для приведения многокритериальной задачи к однокритериальной был сформирован новый параметр совокупной эффективности как мультипликативная свертка вариации и условной эффективности с учетом коэффициента предрасположенности к риску. Модель примет вид

$$\min \left((1 - \gamma) \cdot R_P - \gamma \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (a_{i,j} \cdot x_j) \right).$$

Если рассмотреть крайние варианты отношения к риску, то целевая функция трансформируется следующим образом:

1) при полном отсутствии склонности рисковать переменная γ примет значение 0, тогда задача сведётся к формированию такого портфеля, который будет гарантировать минимальный уровень риска. Целевая функция будет иметь вид

$$\min(R_p).$$

Математическое ожидание доходности портфеля в данном случае будет невысоким;

2) при абсолютной склонности к риску переменная γ примет значение 1, тогда задача сведётся к формированию такого портфеля, который будет гарантировать максимальный доход. Целевая функция будет иметь вид

$$\max \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^q (a_{i,j} \cdot x_j) \right).$$

Задача оптимизации усложняется при наличии ограничений на ресурсы, которые в реальности присутствуют всегда. Рассмотренная модель предназначена для формирования и управления портфелем независимых проектов в условиях риска с ограничением на финансовые ресурсы.

Под неопределённостью инвестор понимает неполноту или неточность информации об условиях выполнения проекта, а риск воспринимается как отношение к неблагоприятному исходу. С точки зрения такого подхода риск рассматривается как субъективная категория, т. к. различные лица по-разному относятся к возможности финансовых потерь. Неопределенность же, как следствие недостатка информации, можно снизить, проведя дополнительные исследования. Повысить склонность инвестора к риску (увеличить значения переменной γ) и тем самым увеличить доходность всего портфеля возможно за счёт разработки комплекса компенсационных мероприятий как для снижения вероятности наступления рискованных событий, так и уменьшения негативных последствий. Для этого сначала классифицируют неопределенность и соответствующие ей риски на внешние и внутренние. Внешняя неопределенность может быть рыночной, технологической, регуляторной, форс-мажорной. Она не поддается управлению, и усилия направляются на снижение потерь от негативного внешнего воздействия. Внутренние риски связаны с организационным, техническим, кадровым, финансовым обеспечением проекта. В данном случае усилия направляются на недопущение возникновения негативных событий.

Классическими приемами снижения инвестиционного риска считаются диверсификация, страхование, создание финансовых, временных и ресурсных резервов, распределение потерь между участниками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности / В. М. Аньшин, И. В. Демкин, И. М. Никонов [и др.]. – М. : МАТИ, 2007. – 117 с.

УДК 338.45:69

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ И ДЕТЕРМИНАНТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Д. М. МАКАРЕВИЧ, Н. В. РУБАНОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

С целью разработки направлений развития строительства как вида экономической деятельности, детализированных конкретными мероприятиями, необходимо проводить аналитический обзор статистических показателей работы строительных организаций Республики Беларусь как минимум за пятилетку. В рамках данного исследования использован детерминированный анализ как метод оценки влияния различных внутренних и внешних факторов на ключевые показатели строительства, который позволяет определять ключевые моменты, обеспечивающие рост уровня экономической безопасности отрасли.

Для анализа использовалась информация за 2020–2024 гг. из статистического буклета «Инвестиции и строительство в Республике Беларусь» [1], по результатам динамической оценки которой были сделаны следующие выводы:

1) индексы объема подрядных работ в сопоставимых ценах демонстрируют волнообразную динамику. В 2020 г. зафиксировано умеренное снижение – показатель составил 98,4 % к предыдущему году. В 2021 г. объем подрядных работ резко сократился до 86,7 %, что стало самым глубоким спадом за весь период. В 2022 г. наблюдалось незначительное восстановление – 89,3 %, но отрасль оставалась в зоне пониженной активности. С 2023 г. начался рост: индекс достиг 111,7 %, а в 2024 г. – 113,5 %, что свидетельствует о восстановлении строительной активности. В 2024 г. общий объем подрядных работ достиг 21 744,5 млн р., из которых 27,4 % приходится на капитальный и текущий ремонт;

2) численность занятых в строительстве в 2020–2024 гг. демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению: за пять лет численность работников в строительстве сократилась почти на 40 тыс. человек, а удельный вес отрасли в занятости населения снизился на 0,6 процентного пункта;

3) показатели производительности труда по ВДС и реальной заработной платы в строительстве демонстрируют неоднозначную динамику. В 2020 г. производительность выросла на 7,3 %, тогда как зарплата снизилась до 97,9 % от уровня предыдущего года, что отражает рост эффективности при падении доходов. В 2021 г. ситуация ухудшилась: производительность составила лишь 98,3 %, а зарплата упала до 90,5 %, что стало самым глубоким спадом за весь период. В 2022 г. показатели немного стабилизировались, а с 2023 г. началось восстановление: производительность резко выросла до 119,0 %, а зарплата поднялась до 115,7 %, что свидетельствует о росте спроса и повышении эффективности. Однако в 2024 г., несмотря на дальнейший рост производительности до 120,8 %, реальная заработная плата выросла лишь до уровня 110,1 % к предыдущему году;

4) валовая добавленная стоимость строительства в ВВП демонстрирует нисходящую тенденцию в 2020–2022 гг. и восстановление в последующие годы. Общая валовая добавленная стоимость строительства в 2024 г. составила 14 172,2 млн р., что составляет 109,8 % от уровня 2023 г.;

5) структура затрат на производство и реализацию продукции (работ, услуг) организаций строительства показывает, что материальные затраты – самая значительная статья расходов, в 2020 г. составляла 53,4 % и увеличилась до 54,2 % в 2024 г. при условии государственного регулирования цен на строительные материалы. В целом данные показывают относительную стабильность структуры затрат с небольшими изменениями в сторону увеличения материальных затрат;

6) в анализируемом периоде наблюдается существенное улучшение финансовых результатов организаций. Так, прибыль от реализации продукции демонстрирует положительную динамику: после снижения в 2022 г. до 1 406,2 млн р. в 2024 г. она выросла до 3 421,2 млн р., или на 68,8 % к уровню предыдущего года. Чистая прибыль организаций подверглась значительным изменениям: если в 2020 г. получен убыток в размере 1 350,4 млн р., то к 2024 г. достигнута прибыль 2 333,4 млн р., что соответствует росту более чем на 3,6 млрд р. к уровню 2020 г. Рентабельность продаж в целом повысилась с 9,6 % в 2020 г. до 11,7 % в 2024 г.;

7) организации строительной отрасли укрепили свою долгосрочную финансовую независимость благодаря росту коэффициента автономии, однако сохраняют проблемы с ликвидностью и обеспеченностью собственными оборотными средствами, что повышает риск для текущей деятельности.

Таким образом, анализ деятельности строительных организаций за 2020–2024 гг. свидетельствует о выраженной положительной динамике восстановления отрасли после кризисного периода. Отмечен значительный рост объёмов подрядных работ, выручки и чистой прибыли, а также повышение рентабельности продаж. Финансовая устойчивость организаций отрасли укреплена, о чем говорит рост коэффициента автономии. Вместе с тем отрасль продолжает сталкиваться с рядом внутренних проблем. К ним относятся: устойчивая тенденция к снижению численности занятых, колебания в уровне платёжеспособности и недостаточная обеспеченность собственными оборотными средствами, а также сохраняющийся разрыв в эффективности деятельности между регионами. Как итог, даже при положительных тенденциях, долгосрочная конкурентоспособность строительного сектора возможна лишь при реализации дополнительных мер по рациональному использованию ресурсов, росту производительности и укреплению финансового положения субъектов хозяйствования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инвестиции и строительство в Республике Беларусь: стат. буклет / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Мн. : Белстат, 2025. – 40 с.

УДК 657.22

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАЛОГОВОГО КОНТРОЛЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Т. В. МЕДВЕДСКАЯ, А. В. БЛИННИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В Республике Беларусь наблюдается существенная трансформация подходов к организации налогового контроля. Главная тенденция – значительное сокращение количества проверок при одновременном повышении их результативности. По данным первого полугодия 2024 г., количество проверок сократилось на 27,8 %, а сумма дополнительно начисленных налогов возросла на 14,9 %. Этот парадоксальный факт объясняется внедрением более совершенных методов аналитической работы, переходом от массовых проверок к целенаправленному риск-ориентированному подходу.

Налоговые органы теперь сосредотачивают свои усилия на наиболее проблемных участках, используя комплексный анализ различных факторов: отраслевую специфику, финансовые показатели, историю налоговых отношений и другие параметры. Такой подход позволяет более эффективно распределять ресурсы и концентрировать внимание на самых рискованных объектах контроля. Специалисты могут уделять больше внимания каждому конкретному случаю, проводить более глубокий анализ документации и операций налогоплательщиков, что дает возможность выявлять сложные и скрытые схемы уклонения от уплаты налогов.

Значительное внимание уделяется развитию камерального контроля. За первое полугодие 2024 г. сумма выявленных по результатам камеральных проверок налогов увеличилась на 25,4 %. Это стало возможным благодаря совершенствованию методик анализа налоговой отчетности и внедрению автоматизированных систем мониторинга. Современные программные средства позволяют оперативно обрабатывать большие объемы информации и выявлять аномалии в данных.

Отмечается рост добровольной налоговой дисциплины – сумма добровольно уплаченного подоходного налога увеличилась на 75 % в сравнении с аналогичным периодом прошлого года. Параллельно снизилось количество выявленных фактов неуплаты налогов на 18 %. Это свидетельствует о повышении осознанности налогоплательщиков и их доверия к налоговой системе.

Совершенствуются методы налогового администрирования через развитие электронных сервисов и цифровых технологий. Внедрены новые сервисы, такие как «Информация о суммах налогов и платежей» (с 2022 г.), «Книга учета доходов и расходов» для плательщиков УСН (с 1 февраля 2023 г.), приложение «Налог на профессиональный доход» (с 2024 г.), создана база данных земельных участков организаций.

С 2026 г. вступил в силу новый указ о совершенствовании контрольной деятельности, который оптимизирует надзорную работу и повышает уровень цифровизации процессов. Устанавливается четкий порядок проведения проверок, отменяется книга учета проверок, а все данные будут вноситься в автоматизированную систему. Также у проверяющих появляется новая обязанность: устанавливать срок для устранения нарушений с учетом специфики деятельности и реальных возможностей.

Особое внимание уделяется контролю за правильностью начисления и перечисления налогов, что является фундаментальным аспектом налогового администрирования. Современные технологии позволяют осуществлять непрерывный мониторинг налоговых платежей в режиме реального времени, что значительно повышает эффективность контрольных мероприятий. Автоматизированные системы контроля обеспечивают своевременное выявление задержек в уплате налогов, ошибок в расчетах и других нарушений порядка перечисления обязательных платежей. При этом контроль осуществляется не только за фактом уплаты, но и за правильностью применения налоговых ставок, льгот и других элементов налогообложения. В случае выявления отклонений или потенциальных нарушений система автоматически формирует предупреждения как для налогоплательщиков, так и для сотрудников контролирующих органов. Это позволяет оперативно реагировать на возникающие проблемы, минимизировать возможные финансовые потери бюджета и предоставлять налогоплательщикам возможность своевременно исправить ошибки. Использование цифровых технологий также снижает вероятность человеческого фактора при проверке документов и расчетов, обеспечивая более объективный и точный контроль за соблюдением налогового законодательства.

Таким образом, налоговый контроль в Беларуси развивается в направлении повышения его эффективности при снижении административной нагрузки на налогоплательщиков. Формируется более зрелая система налогового администрирования, основанная на современных методах анализа, управлении рисками и укреплении доверия между государством и налогоплательщиками. Развитие электронных сервисов и цифровых технологий создает основу для дальнейшего совершенствования системы налогообложения, делая ее более прозрачной и удобной для всех участников налоговых отношений.

Налоговые органы все больше внимания уделяют профилактической работе, консультированию налогоплательщиков и предупреждению нарушений. Это способствует формированию атмосферы взаимного доверия и партнерства между государством и плательщиками налогов. Внедрение новых технологий и методов работы позволяет не только повысить эффективность контроля, но и создать условия для легального ведения бизнеса.

УДК 330.341

АНАЛИЗ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПРИОРИТЕТОВ ПО ВИДАМ УСЛУГ АУДИТОРСКОЙ КОМПАНИИ

Л. В. НАРКЕВИЧ, К. И. ЖИВЕЛЮК
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Информационно-аналитическая система управления прибылью аудиторской организации широкого и глубокого спектра услуг предусматривает сегментный анализ по видам услуг, позволяющий: выявить стратегические приоритеты среди видов аудиторских услуг в системе поддержки принятия решений при управлении прибылью; оптимизировать номенклатуру услуг с акцентом на комплексные взаимосвязанные аудиторские услуги с долгосрочной перспективой развития деловых отношений; сформировать информационно-аналитический блок управления перечнем видов аудиторских услуг по критериям роста прибыли и рентабельности предприятия; повысить эффективность системы управления прибылью и рентабельностью услуг организации; перераспределить усилия персонала в системе управления прибылью и рентабельностью в зависимости от его квалификации и имеющегося опыта по критерию значимости отдельных видов услуг.

Сформирован информационный динамический базис системы исходных оперативных данных в разрезе видов аудиторских услуг ООО «Б1 Аудиторские услуги». Анализ структурной динамики портфеля аудиторских услуг показал высокий уровень концентрации в сегменте аудиторских услуг (удельный вес в периоде 2021–2024 гг. 50 %; 51 %; 51 %; 50 %), услуг в области налогообложения (доля по годам 23 %; 24 %; 23 %; 23 %), консультационных услуг (доля по годам 19 %; 15 %; 15 %; 19 %), что соответствует стабильной структуре видов услуг и долгосрочностью делового обслуживания в отраслевых секторах. Отмечена структурная стабильность портфеля услуг организации: в 2024 г. относительно 2023 г. отмечено снижение доли аудиторских услуг на 1 п. п., консультационных услуг по сделкам на 3 п. п. за счет роста консультационных услуг в целом на 4 п. п. Для проведения АВС-анализа рассчитан кумулятивный процент по видам услуг в рамках исследуемого периода 2021–2024 гг. к группе продуктов А относятся аудиторские услуги (долевое участие соответственно 50 %; 51 %; 51 %; 50 %), услуги в области налогообложения (долевое участие соответственно 73 %; 75 %; 74 %; 73 %); к группе продуктов В отнесены консультационные услуги (долевое участие соответственно 92 %; 90 %; 89 %; 92 %); в группу продуктов С вошли специализированные услуги и консультационные услуги по сделкам. Отмечена особенность продуктового портфеля ООО «Б1 Аудиторские услуги», состоящая во взаимосвязях услуг, которые определяются как основные и сопутствующие, ориентированные на придание уверенности клиенту в ведении бизнеса по юридическим, учетным, документальным (составление различной отчетности) аспектам, аналитике деятельности в блоках бизнес-процессов и др. В связи с этим произведено исследование во всех укрупненных позициях продуктового портфеля организации. Динамический тренд объемов оказанных услуг по количеству договоров изучен во взаимосвязи с динамикой средних цен на услуги

в интервале 2021–2024 гг. Представленная аналитическая информация показывает значительный разброс индексов объема произведенных услуг в динамике: отмечено снижение показателей масштаба деятельности в 2023 г. и одновременно значительный рост цен в данном периоде (рис. 1).

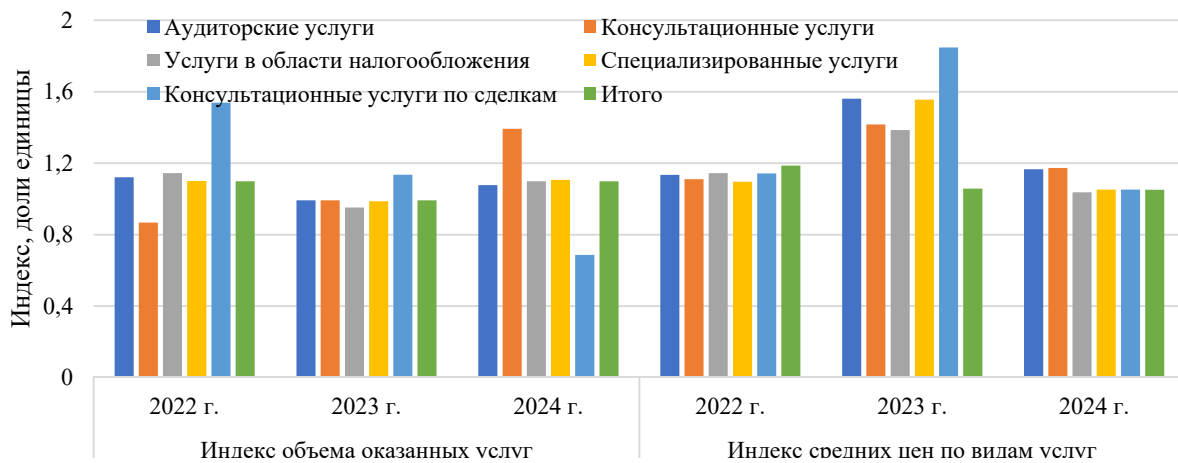


Рис. 1. Динамика индексов объема услуг и индексов цен по видам услуг

В 2024 г. установлен наибольший прирост консультационных услуг (цепной индекс роста 1,393) при одновременном росте цен на 17,3 %, при этом доля данного вида услуг составила 19 % и отнесена на группу В. Продукты группы А в отчетном периоде характеризуются опережающим ростом цен: аудиторские услуги (индекс объема и индекс цен: 1,077; 1,166); услуги в области налогообложения (1,099; 1,037). По аудиторским услугам, в период 2021–2022 гг., средняя цена выросла на 13,5 %, а в период 2023–2024 гг. – интенсивнее до 16,6 %. По консультационным услугам в период 2021–2022 гг. прирост средней цены составил 11,1 %, а в период 2023–2024 гг. – 17,3 %. По услугам в области налогообложения прирост в 2021–2022 гг. составил 14,5 %, а в следующий период еще на 38,6 %. По специализированным услугам прирост за период 2021–2022 гг. составил 9,6 %, а в период 2023–2024 гг. – 5,2 %. Наиболее яркое движение параметров динамики отмечено по аудиторским, консультационным услугам, консультационным услугам по сделкам. С позиций информационно-аналитической платформы управления прибылью к динамике изменений параметров объема и цен необходимо добавить динамику параметров затрат в разрезе маржинального анализа – переменных и постоянных.

Таким образом, информационно-аналитическая платформа показывает, что в качестве объектов развития продуктовых инноваций в системе управления прибылью целесообразно выбрать аудиторские услуги: в данном портфельном сегменте отмечены наибольшие значения средних цен на единицу оказанных услуг и наибольший маржинальный доход, при этом наиболее существенное значение постоянных затрат отнесено на аудиторские услуги. Данная группа услуг рассмотрена как стратегическая и с учетом высокого уровня маржинальности в перспективной линейке требует географической диверсификации интегрированной системы. Результаты исследования в данном блоке проектируют вектор развития продуктовых инноваций с точки зрения оценки и повышения конкурентоспособности, роста прибыли и рентабельности в инновационном поле развития ООО «Б1 Аудиторские услуги».

УДК 330.341

БЛОК АНАЛИЗА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИННОВАЦИОННОГО ОБНОВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ ОРГАНИЗАЦИИ

Л. В. НАРКЕВИЧ, С. В. ЖУКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Аналитический блок исследования выполнен в информационном поле ОАО «Можелит», крупнейшего производителя желатиновой продукции на территории стран СНГ и единственного в Республике Беларусь. Анализ динамики экономических параметров показал увеличение объема производства продукции на отрезке 2021–2023 гг. (цепные темпы роста соответственно составили 133,8 %; 130,7 %); в 2024 г. отмечено снижение объемов производства относительно 2023 г. на 19,35 %. В 2021–2024 гг. наблюдается тенденция роста себестоимости продукции: профиль темпов изменения 136,6 %; 122,0 %; 101,23 %. Приведенные пропорции обеспечили рост затрат на рубль произведенной продукции: в 2022 г. на 2,1 %; в 2024 г. – 25,52 %. Значение издержкоемкости производства в 2024 г. составило 0,92 р., что определяет существенный прирост относительно 2021 г. на 0,15 р./р. (или на 19,48 %). Объем экспорта растет в 2021–2023 гг.: цепные темпы роста в смежных периодах составили 107,8 %; 129,5 %; но набранный потенциал потерян в 2024 г. – отгрузка на экспорт снизилась наполовину 2023 г. (относительное снижение определено размером 50,0 %). Установлена высокая концентрация экспорта в Российскую Федерацию. Положительное внешнеторговое сальдо сохраняется в обозначенном временном интервале, но его значение снизилось в 2024 г. на 70,09 %, что связано с геополитической ситуацией, потерей ряда зарубежных рынков. На протяжении рассматриваемого периода материальные затраты на производство продукции также имеют тенденцию роста: линейка динамических темпов характеризуется следующими данными: 162,9 %; 123,8 %; 100,14 %. Диспропорции во взаимосвязи динамики объемов производства и материальных затрат определили значительный прирост материалоемкости: в 2024 г. – на 24,17 %, в 2022 г. – на 21,8 %. При этом доля материальных затрат в затратах в пределах временного ряда 2021–2024 гг. соответствует данным 48,05 %; 58,97 %; 58,90 %; 58,70 %, что определяет высокий уровень важности данного параметра в управлении производственными затратами и инновационной направленностью технологий производства желатиновой продукции. Отмечены: сокращение среднесписочной численности работников (цепные темпы изменения в периоде составили: 99,4 %; 103,7 %; 95,01 %) и одновременно прирост среднегодовой выработки персонала за исключением 2024 г. (цепные темпы изменения в периоде составили: 134,5 %; 126,0 %; 84,88 %). Прирост среднемесячной заработной платы работников списочного состава в периоде 2021–2024 гг. составил 29,6 %; 26,8 %; 18,28 %. Просматриваются отрицательные пропорции между темпами роста производительности труда и заработной платы (индексы опережения соответственно $I^{2023/2022} = 0,994$; $I^{2024/2023} = 0,718$), что соответствует перерасходу по фонду оплаты труда соответственно на 61,621 и 3099,412 тыс. р.

В рассматриваемом временном интервале показатели прибыли значительно варьируются; отмечена положительная динамика роста по всем уровням прибыли

предприятия в 2021–2023 гг., за исключением отчетного 2024 г.: наилучшие показатели динамики отмечены по 2023 г. – темпы роста прибыли от реализации продукции, прибыли до налогообложения, чистой прибыли определены данными 157,87 %; 178,16 %; 182,21 %. Динамика снижения прибыли по уровням в 2024 г. представлена темпами снижения соответственно 24,93 %; 9,86 %; 7,26 %. Рентабельность реализованной продукции, рентабельность продаж снижается по колонкам темпов изменения за 2021–2022 г., 2023–2024 гг.: темпы снижения соответственно (90,94 %; 95,83 %); (24,50 %; 30,99 %), что соответствует росту интенсивности снижения в отчетном периоде. Динамика параметров рентабельности совокупного капитала, рентабельности собственного капитала рассматривается положительной в 2021–2023 гг. (темпы роста соответственно в смежных периодах 2021–2022 гг. 134,87 %; 134,66 %; 2022–2023 гг. – 145,94 %; 145,15 %); в 2023–2024 гг. отмечен темп снижения 8,65 % для обоих показателей. Скорость обращения совокупных активов (коэффициент оборачиваемости совокупных активов) выросла в периоде 2021–2023 гг. (цепные приросты 11,20 %; 5,90 %), а в 2024 г. относительно 2023 г. снизилась на 29,44 %. Рентабельность совокупного капитала, рентабельность собственного капитала в отчетном периоде 2023–2024 гг. значительно снизилась (темп снижения для параметров 8,65 %), что определяет глобальные отрицательные тенденции по итогам работы 2024 г., подтверждает актуальность проектного менеджмента в производственной сфере управления основными средствами с базисом инновационных технологий объектного управления. Приведенная аналитика по динамике показателей финансовой устойчивости и платежеспособности характеризуют использование ОАО «Можелит» агрессивной политики финансирования и определяют статус предприятия с высоким уровнем финансовой надежности: коэффициент текущей ликвидности значительно превышает пороговое значение (1,3 для предприятий АПК): в 2024 г. составил 14,45 пунктов, что ниже значения 2023 г. на 5,70 пунктов, но выше 2021 г. на 0,63 пункта (рис. 1).

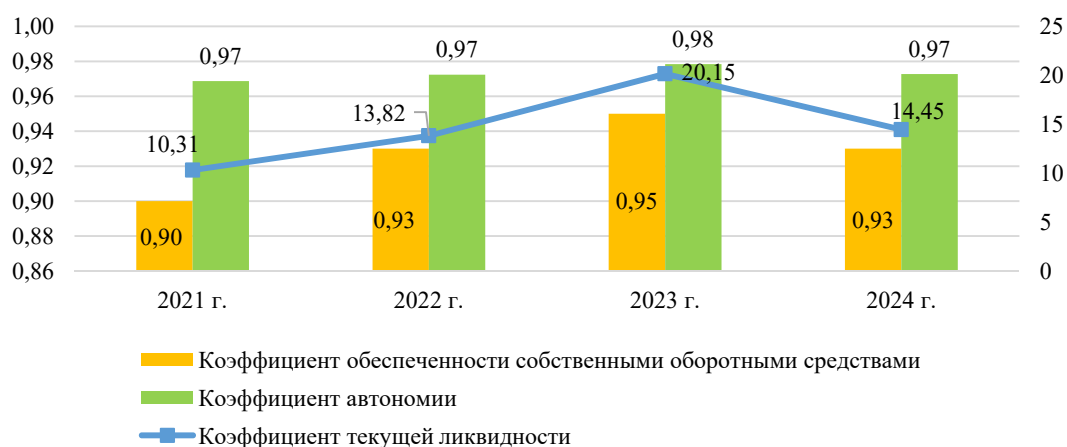


Рис. 1. Динамика ключевых параметров финансовой устойчивости

Сделан вывод о высоком уровне самофинансирования в системе инструментов обеспечения инновационно-инвестиционного развития ресурсной базы предприятия. Как результат отмечены: с одной стороны, снижение конкурентоспособности продукции, диспропорции в системе «объем производства (реализации) – затраты»; с другой стороны – значительный финансовый потенциал инновационно-инвестиционной активности по критериям финансовой безопасности.

УДК 658.27

**БЛОК АНАЛИЗА КАЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ
В СИСТЕМЕ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ****Л. В. НАРКЕВИЧ, Т. А. ПРОКОПЕНКО****Белорусско-Российский университет****Могилев, Беларусь**

Информационно-аналитическая платформа в блоке анализа качественных параметров основных средств ОАО «Можелит» за 2021–2023 гг. позволяет выделить ряд ключевых аспектов в проектном управлении при выборе стратегий инновационного развития предприятия. В период 2021–2023 гг. наблюдается устойчивая тенденция увеличения стоимости основных средств: в 2023 г. увеличилась относительно базисного 2021 г. на 41,71 %; относительно 2022 г. – на 14,17 %. В динамике не произошло существенных структурных изменений; отрицательным моментом рассмотрено снижение удельного веса машин и оборудования в структурной динамике основных средств. Анализ коэффициентов движения и технического состояния основных средств в системе управления их обновлением за 2021–2023 гг. показывает низкий уровень обновления активной части средств, который в динамике значительно снижается к 2023 г. Установлен прирост коэффициента выбытия машин и оборудования в 2023 г. относительно 2021 г. (прирост 0,0539 пунктов), снижение относительно 2022 г. – на 0,0637 пунктов, что указывает на рост устаревших, морально и физически изношенных активов. Параллельно обозначено значительное увеличение срока обновления основных средств: с 4,12 лет в 2021 г. до 11,403 лет в 2023 г. Особенно тревожна динамика по активной части – срок обновления вырос более чем в четыре раза, что указывает на задержку в замене оборудования, непосредственно влияющего на эффективность производственного процесса, определяющего производственную мощность предприятия. Коэффициент прироста активной части основных средств показал отрицательную динамику по показателям с присутствием переоценки, указывая на формальный рост активов предприятия. Тенденция роста отмечена по параметру срока обновления активной части основных средств в динамике, что свидетельствует о замедлении процесса обновления активов. Коэффициент износа машин и оборудования в периоде 2021–2023 гг. вырос, указывая на стабильно высокий уровень износа: профиль показателя по категории машин и оборудования составил 0,5660; 0,6730; 0,7140, что в 2023 г. соответствует превышению порогового уровня износа в 60 %. Техническое состояние основных средств демонстрирует признаки ухудшения: коэффициент износа по всем основным фондам увеличился с 0,419 до 0,523 за анализируемый период, а по активной части – с 0,566 до 0,714, что указывает на высокий уровень износа объектов основных средств, которое не компенсируется достаточным уровнем их обновления. К одному из значимых по объемам производства, выручки, важности в формировании прибыли ОАО «Можелит» отнесен цех по производству желатина, имеющий высокий уровень износа технологического

оборудования – реконструкция проходила в 2002 г. Наиболее высокий уровень морального и физического износа среди рассматриваемых видов производств отнесен на цех по производству желатиновой продукции: моральный и физический износ составил 94,5 %; 81,25 % соответственно.

С учетом спроса на желатин, ассортиментная линейка которого включает значительное количество различных марок (по заказу потребителя желатин может быть с различной вязкостью и прочностью студня, размерами частиц и их прозрачностью) и их долю в объемах производства (группа А в рамках АВС-анализа), низкий уровень технологий, реализуемых морально и физически изношенным оборудованием при его производстве, свидетельствует о том, что основные средства данного цеха составляют производственную угрозу экономической безопасности предприятия.

Таким образом, отмечены: низкий уровень обновления основных средств (даже с учетом переоценки); необходимость обновление парка машин и оборудования, оптимизации процесса выбытия; разработка проектов управления основных средств по критериям снижения издержкостности, в том числе сырьемкости, энергоемкости, роста параметров эффективности использования основных средств. Структурный ряд основных средств по функциональному признаку, соответствующий отраслевым особенностям ОАО «Можелит», является стабильным и не демонстрирует значительных структурных изменений.

Установлена незначительная доля машин и оборудования в структуре основных средств предприятия (порядка 19 % в интервале 2021–2023 гг.) и одновременно высокий уровень износа в данной категории основных средств, что актуализирует проектное управление основными средствами с инновационным базисом технико-технологического обновления, внедрения процессных инноваций. Определен наибольший вклад в общие цифры роста увеличение стоимости зданий, сооружений, в меньшей степени – машин и оборудования. ОАО «Можелит» демонстрирует отсутствие обновления активной части основных средств, особенно в категории машин и оборудования, что выражается низким значением в значительном уменьшении коэффициентов обновления и прироста. Соответственно коэффициенты износа и годности указывают на необходимость инвестиций для поддержания и улучшения состояния оборудования в контексте эффективного управления процессами инновационного обновления технологического базиса производства предприятия.

Ситуация с превышением срока полезного использования основных средств требует немедленных мер по их обновлению в соответствии с рисками возникновения аварийных ситуаций, сбоев в производстве и увеличения издержек на ремонт и обслуживание [1]. Разработка долгосрочной стратегии по обновлению основных средств ориентирована на поддержку их работоспособности на должном уровне и стабильность производственных процессов в будущем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хлынин, Э. В. Формирование комплекса экономических показателей, используемых для обоснования потребности в обновлении основных средств на промышленном предприятии / Э. В. Хлынин, А. В. Андрюхин // Известия ТГУ. – 2016. – № 2–1. – С. 201–211.

УДК 330

РАЗРАБОТКА НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Т. Г. НЕЧАЕВА, Т. А. БОРОДИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время деятельность автотранспортных предприятий и развитие транспортной инфраструктуры, как элементов транспортной системы, осуществляется в динамично развивающихся условиях с учетом нестабильной геополитической ситуации и цифровизации экономики. Отсутствие на предприятиях системы «прогноз – план» или неэффективное ее функционирование с позиции цифровизации экономических отношений приводит к росту уровня рисков и неопределенностей среды хозяйствования, генерируемых организацией.

Внедрение качественного прогнозирования позволяет повысить адаптивность предприятия к нестабильной среде функционирования, способствует повышению гибкости управления в целом и эффективно планировать свою деятельность на будущие периоды.

Можно предложить совершенствование прогнозирования на автотранспортных предприятиях как элемента тактического обоснования стратегии развития на основе адаптивных моделей, преимущества которых можно свести к следующему: построение самонастраивающихся моделей, учет информационной ценности различных членов временного ряда, достаточная точность оценки будущих членов ряда, быстрое получение прогноза на один период вперед, автоматическая корректировка любого прогноза с учетом различий между фактическими и спрогнозированными данными.

Для исследования динамики развития числа перевезенных пассажиров U_p применяется модель Брауна, которая после проведенных расчетов будет иметь вид

$$U_p = 16\,424,8 + 172,99 k. \quad (1)$$

Проверка качества построенной модели позволяет сделать вывод о ее адекватности и удовлетворительной точности.

Согласно табл. 1, с вероятностью 95 % прогнозное значение числа перевезенных пассажиров по прогнозируемому кварталу будет колебаться в пределах от 15 734,61 до 17 460,97 тыс. пассажиров.

Использование элементов прогнозирования в системе хозяйствования как инструмента тактического обоснования стратегии развития, как показывает практика, позволит в дальнейшем определять основные тенденции деятельности и показатели перевозочного процесса автопредприятия, например, прогнозное значение количества пассажиров на будущий период, и, как следствие, обобщить результаты исследования по стратегии эволюционирования транспортной системы в целом по региону.

Табл. 1. Расчет доверительного интервала прогноза

k	$C(k)$	$U(k)$	Нижняя граница Y_n	Прогнозное значение Y_p	Верхняя граница Y_v
1	0,66	863,18	15 734,61	16 597,79	17 460,97
2	0,82	903,82	15 866,95	16 770,77	17 674,59
3	0,98	942,71	16 001,05	16 943,76	17 886,47
4	1,14	980,06	16 136,68	17 116,74	18 096,81

Дальнейшее развитие транспортной системы региона обусловлено глобальными процессами цифровизации всех сфер экономики Могилевской области. Чтобы отвечать международным требованиям к транспортно-логистическим системам и эффективности на стадии внедрения цифровизации, следует уделять внимания таким направлениям, как:

- создание высокотехнологичных логистических объектов, соответствующих уровню логистического сервиса не ниже 3PL;
- развитие придорожного сервиса;
- активное использование современных информационных технологий мониторинга транспортных средств, программ оптимизации загрузки транспортных средств и планирования маршрутов;
- активное взаимодействие с субъектами малого предпринимательства по всем направлениям транспортно-логистической деятельности;
- привлечение частных инвестиций, обеспечение государственной поддержки, развитие частного партнерства;
- широкое внедрение цифровых технологий по направлению качества обслуживания («умные дороги», беспилотные и автономные виды транспорта, электронные билеты, электронные расчеты, доставка заказов с использованием дронов и т. д.);
- унификация транспортных процедур и облегчение транспортных приграничных перевозок;
- разработка общей транспортной политики на уровне регионов-партнеров;
- гармонизация в направлении разработки национальных транспортных стандартов по странам-партнерам;
- обеспечение устойчивого роста авиационного сектора Могилевской области и внутреннего водного транспорта;
- развитие высокоскоростных магистралей и сетей высокоскоростных поездов, связывающих населенные пункты;
- интеграция различных видов транспорта в единую сеть типа «Умный город»;
- создание единой цифровой платформы региона по направлению транспортно-логистические услуги.

УДК 330

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Т. Г. НЕЧАЕВА, К. В. МОРОЗОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В условиях рынка организация пассажирских перевозок развивается по двум взаимосвязанным направлениям. Первое заключается в адаптации работы транспорта к существующему спросу на услуги. Второе направлено на формирование спроса за счет развития и предложения новых возможностей транспортной системы. Данные подходы реализуются через комплекс технологий управления транспортным процессом.

В Республике Беларусь автомобильный пассажирский транспорт обладает значительными конкурентными преимуществами, такими как мобильность, надежность, гибкость и сравнительно невысокая стоимость услуг. С каждым годом его роль возрастает. Автобусы активно используются для городских, пригородных, междугородных и международных перевозок. Они особенно востребованы в пригородном сообщении на направлениях без железнодорожного сообщения, в сельской местности, на внутригородских маршрутах, где использование электротранспорта нецелесообразно, а также для доставки работников. В результате доля автобусных перевозок в общем пассажирообороте страны стабильно увеличивается, превышая 50 %.

Крупнейшим автотранспортным предприятием Могилевской области является Могилевский филиал «Автобусный парк № 1» ОАО «Могилевоблавтотранс», в состав которого также входят Мстиславский автопарк № 12 и Могилевский грузовой автопарк № 22. Общая численность персонала превышает 1300 человек.

Анализ перевозок филиала показывает снижение объемов регулярных перевозок при одновременном росте заказных. В структуре перевозок преобладают городские и пригородные маршруты. В 2024 г. наблюдается снижение затрат на рубль выполненных работ, что свидетельствует об общей экономии, однако рост материалоемкости услуг указывает на перерасход материальных ресурсов, в первую очередь – топлива.

Одним из резервов совершенствования городских перевозок является оптимизация использования автопарка: выпуск автобусов малой вместимости на непопулярные маршруты с низким пассажиропотоком вне часов пик. Например, для маршрута № 9 данная мера позволит снизить затраты на 14,395 тыс. р., а резерв сокращения затрат на рубль услуг составит 0,0003 р./р.

Для повышения эффективности междугородного сообщения предлагается организация нового маршрута «Могилев – Жлобин». Реализация этого проекта позволит предприятию увеличить прибыль и улучшить финансовое состояние. Ожидаемый рост выручки составит 64,24 тыс. р., или 0,19 %.

Ключевыми рисками при внедрении новых маршрутов могут стать: снижение качества услуг, рост их себестоимости, появление прямых

конкурентов, увеличение простоев и поломок, падение спроса. Для минимизации этих рисков необходим комплекс мер: снижение себестоимости, повышение качества услуг, четкое планирование и поиск эффективных решений возникающих проблем.

Исследование качества международных перевозок выявило основные претензии потребителей: недостаточный комфорт (температура в салоне, состояние кресел), несоблюдение расписания и графика санитарных остановок, вопросы безопасности, а также отсутствие актуальной информации о времени отправления.

Конкурентоспособность белорусских перевозчиков на международном рынке напрямую зависит от своевременного обновления парка. Критически важным является приобретение транспортных средств высокого экологического класса, что соответствует современным требованиям. Наличие современной, надежной, экономичной и простой в обслуживании техники стало обязательным условием для формирования положительной репутации и сохранения конкурентоспособности. Выбор моделей транспортных средств основывается на ряде ключевых факторов [1, с. 37]: сфера применения, экологический стандарт, грузоподъемность, стоимость подвижного состава, расход топлива и др.

В качестве варианта для обновления парка рассматривается приобретение автобуса МАЗ-251062. Расчеты экономической эффективности показывают, что проект является прибыльным: индекс прибыльности инвестиций превышает единицу, чистый приведенный доход составит 26,31 тыс. р. Простой срок окупаемости – 6 лет, дисконтированный – 9 лет.

Таким образом, автобусный транспорт сохраняет лидирующую роль в пассажирских перевозках Республики Беларусь, что обусловлено его универсальностью, гибкостью и доступностью. Однако рынок претерпевает изменения: наблюдается тенденция смещения спроса от регулярных перевозок к заказным, что требует от предприятия адаптации существующей бизнес-модели.

Для устойчивого развития и повышения конкурентоспособности автотранспортному предприятию необходим комплексный подход, сочетающий:

- оперативную оптимизацию текущих процессов для снижения издержек;
- стратегическое развитие услуг (развитие заказных и междугородних перевозок);
- последовательную техническую модернизацию парка;
- неуклонное повышение качества обслуживания во всех сегментах деятельности.

Это позволит не только адаптироваться к меняющемуся рыночному спросу, но и активно формировать его, укрепляя свои позиции на транспортном рынке региона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник / Л. Л. Афанасьев [и др.]; под ред. Н. Б. Островского. – М. : Транспорт, 2012. – 224 с.

УДК 338

ОБОСНОВАНИЕ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРОЕКТАМИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

Т. В. ПУЗАНОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Совершенствование процессов организации, планирования и управления проектами или комплексами работ различного назначения базируется на обработке и анализе больших объемов информации, что требует автоматизации моделирования процессов реализации комплексов работ. Особую актуальность приобретает задача обеспечения возможности оперативной оценки множества вариантов решений с целью выбора и обоснования наиболее эффективного, достигаемого путем перераспределения ресурсов или проведения реинжиниринга организации процесса. Решение задач организации, планирования и управления ограниченными ресурсами для выполнения комплекса работ может осуществляться на основе различных математических моделей и методов. Для автоматизации моделирования реализации комплексов работ и отработки вариантов управления ограниченными производственными ресурсами можно успешно использовать аппарат теории графов.

При описании процессов реализации проектов нагруженными сетевыми графами информация о структуре и параметрах моделируемого проекта представляется матрицами инцидентий и смежности вершин графа. Эта информация может использоваться для автоматизации получения математической модели процесса в виде системы алгебраических уравнений, связывающих выходные (временные) и внутренние (ресурсные) параметры комплекса работ.

В работе представлен созданный на основе Visual Basic for Application программный модуль, алгоритм которого реализует описанный подход и использует математическую модель в виде сетевого графа и матриц инцидентий и смежности вершин графа, и интерпретирует таким образом представленную информацию в виде конечных разностей для моделирования динамики процесса во времени. Внешними воздействиями на систему являются изменения в объеме доступных ресурсов, происходящие случайным образом, что требует принятия решений для эффективного управления процессом.

Текущие значения параметров моделируемого объекта и их изменения в модели представлены в табличном виде и в виде линейного графика, отражающего последовательность выполнения и длительности работ, скорость и долю их выполнения, что обеспечивает наглядность и легкость восприятия при анализе. Встроенными средствами Excel на полученной модели можно решать задачи определения длительности процесса выполнения каждой работы при заданных ограничениях на ресурсы и поиск минимальных ресурсов для выполнения комплекса работ в заданные сроки. При этом для учета вероятностного характера протекания процесса реализации проекта при управлении ресурсами можно осуществлять моделирование случайных

экстренных ситуаций, связанных с дефицитом ресурсов (выходом из строя оборудования, отсутствием персонала и т. п.).

Пользователь программного продукта на листе MS Excel создает моделирующий комплекс работ нагруженный сетевой граф с вершинами, в которых указан номер события и его временные параметры, рассчитываемые по формулам, записанным в ячейках. Далее заполняются отмеченные столбцы заранее созданной по определенным правилам таблицы соответствующими формулами, связывая значения временных параметров работ комплекса в таблице с параметрами событий на сетевой модели, представленной в графическом виде. Пользователь также вносит в таблицу данные о трудоемкости каждой работы, наличии ограничений на рабочие места и трудовые ресурсы, в соответствии с которыми определяется продолжительность каждой работы на сетевой модели в виде веса дуги.

Автоматически формируется линейный график, построенный по сетевой модели и отражающий выполнение работ комплекса, на котором можно видеть время начала и окончания, продолжительность и полный резерв времени каждой работы, а также плановый срок выполнения комплекса работ при условии его протекания без отклонений от заданного планового графика.

При загрузке программный продукт автоматически дополняет стандартное меню MS Excel пунктами, с помощью которых пользователь может инициировать начало процесса моделирования реализации проекта или продолжать его с модельным шагом в одну временную единицу (день, час и др.). Текущее время отражается в заполненной таблице, где также приведен плановый срок реализации проекта, определенный как критический срок сетевой модели при заданных параметрах.

Пользователь таким образом осуществляет имитационное моделирование процесса реализации комплекса работ от момента начала проекта до его завершения с заданным шагом изменения текущего времени. По результатам протекания очередного шага в таблице можно видеть какие работы выполняются в текущем интервале времени, данные о выполненной и невыполненной части каждой работы в единицах времени и в долях единицы, продолжительности каждой работы в соответствии с привлеченным персоналом, наличии полного и свободного резервов времени работ на данном этапе реализации проекта.

При возникновении экстренных ситуаций, которые могут быть заранее заданы для моделируемого проекта, возникает необходимость принятия управляющего воздействия с целью отражения появившихся ограничений ресурсов в таблице и перераспределения ограниченных ресурсов между выполняемыми на данном этапе работами проекта. При этом пользователь в каждой конкретной ситуации должен принимать обоснованный вариант управленческого решения на основе анализа текущей табличной и графической информации, отражающей ход моделируемого процесса, с целью выполнения комплекса работ в минимально возможные сроки. По завершении процесса реализации можно оценить эффективность принятых решений и оценить отклонение фактического срока выполнения комплекса работ от планового.

УДК 338

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА

Т. В. ПУЗАНОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современные условия ведения бизнеса требуют от предприятий, производящих продукцию, выполняющих работы и оказывающих услуги, постоянного совершенствования внутренних производственных бизнес-процессов. Оптимизация параметров производственных бизнес-процессов становится ключевым фактором для снижения производственных затрат, повышения качества и конкурентоспособности производимых продукции, работ, услуг и, как следствие, повышения эффективности функционирования и конкурентоспособности предприятий.

Выделяют два основных вида бизнес-процессов: процесс производства (основной и вспомогательный) и процесс управления (текущего и развития). Основные бизнес-процессы связаны с производством конечных продуктов, передаваемых во внешнюю среду потребителям, а вспомогательные не добавляют ценность продукту или услуге для потребителя, но увеличивают их стоимость. Оптимизация процессов может быть двух видов – постоянное совершенствование процессов (эволюционный путь) и радикальное периодическое изменение (революционный путь, реинжиниринг), при этом каждый из них требует определенных затрат производственных ресурсов, которые должны быть количественно обоснованы. Для каждого вида оптимизации необходимо процесс представить некоторой его моделью для проведения исследований с целью решения задач анализа процесса и синтеза вариантов его совершенствования. Производственный бизнес-процесс является сложной системой, декомпозиция которой выявляет взаимосвязанные, целенаправленно функционирующие элементы, и при этом он взаимодействует с окружающей внешней средой. Важнейшим требованием системного подхода для такого процесса является необходимость рассмотрения его существования и функционирования во времени и в пространстве.

При моделировании производственного бизнес-процесса учитывают его структуру (состав элементов и их взаиморасположение и взаимосвязи) и параметры. Выходные параметры (выходы бизнес-процесса) определяют его результативность и зависят от параметров элементов процесса (внутренних параметров бизнес-процесса) и параметров внешней среды (внешних входов и выходов бизнес-процесса).

Постоянное совершенствование производственного бизнес-процесса требует его математического моделирования и проведения одновариантного и многовариантного видов анализа с целью выявления факторов, в наибольшей степени влияющих на результативность процесса. Кроме того, многовариантный анализ позволяет получить зависимость выходных параметров от изменения

внутренних и внешних параметров в заданном диапазоне, на основе чего возможна также и параметрическая оптимизация производственного бизнес-процесса.

Проведенные в работе исследования с применением описанного подхода к производственному бизнес-процессу, заданному на основе его описания (технологии выполнения, требований к внутренним элементам и их взаимодействию, входам и выходам процесса), показали следующие результаты.

1. Важнейшим внутренним фактором является длительность операционных циклов основных технологических операций с учетом варианта организации производственного процесса во времени. Проведение многовариантного анализа влияния изменения каждого из операционных циклов выявило обратную зависимость производительности бизнес-процесса и наибольшее влияние операции с максимальным операционным циклом (главной) для любого варианта организации производственного процесса во времени. Это определяет основное направление совершенствования бизнес-процесса и соответствующие ему затраты. Эффект от сокращения операционного цикла главной операции существенно снижается, если это приводит к изменению структуры операционных циклов в технологическом цикле, и в результате главной становится другая операция, что приводит к нерациональному вложению средств и снижению эффективности совершенствования производственного процесса.

2. Анализ показал наличие прямой зависимости между производительностью и операционными циклами коротких операций при параллельно-последовательном виде движения предметов труда по операциям, что позволяет без дополнительных затрат или даже с их снижением повысить производительность совокупного процесса. Однако увеличение операционного цикла таких операций может также изменить их статус и дать обратный эффект.

3. Следующий фактор организационный – это последовательность операций с монотонным изменением длительности операционных циклов (возрастанием или убыванием по порядку выполнения операций). Такая последовательность при параллельно-последовательном виде движения предметов труда по операциям, обеспечивающем непрерывную загрузку оборудования, позволяет повысить производительность процесса до максимально возможного, соответствующего параллельному виду движения, но имеющему недостаток – прерывной режим работы оборудования. При отсутствии возможности изменения последовательности операций достичь таких же результатов можно путем соответствующего изменения длительности операционных циклов обеспечивая их монотонное изменение или равенство и определяя операции, которые требуют дополнительных затрат для их ускорения или высвобождают затраты при их замедлении.

Таким образом, моделирование и анализ производственных бизнес-процессов позволяет обосновать направления их оптимизации, оптимальные изменения операционных циклов и соответствующие затраты, а следовательно, обеспечить непрерывное их совершенствование, что весьма актуально в условиях серийного и массового производств.

УДК 338.18

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА

Т. В. РОМАНЬКОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Экономическая безопасность региона представляет собой состояние защищенности от угроз и опасностей, которое способствует стабильному развитию региона и повышению его конкурентоспособности.

Одной из составляющих экономической безопасности региона является экологическая, направленная на обеспечение минимальной экологической нагрузки на окружающую среду.

Источниками экологической нагрузки в регионе выступают промышленные организации, транспорт, сельское и жилищно-коммунальное хозяйства, население. Они осуществляют выбросы в атмосферный воздух, образование и размещение отходов, добычу ресурсов из естественного состояния и физическое воздействие.

Экологическую нагрузку в г. Могилеве и Могилевской области формируют три основные группы источников:

- 1) транспортный комплекс, который представлен грузовым и общественным транспортом, личными автомобилями населения;
- 2) промышленные организации;
- 3) жилищно-коммунальный сектор.

По результатам проведенной оценки источников, загрязняющих атмосферу в г. Могилеве, установлено, что основными источниками выбросов являются: автомобильный транспорт – 75 % от общей величины выбросов; промышленные организации – 20 %; жилищно-коммунальный сектор и население города – около 5 %.

Таким образом, в качестве основных направлений снижения экологической нагрузки в г. Могилеве по источникам выбросов предлагаются:

- 1) для транспорта – развитие электротранспорта; внедрение в процесс перевозки инструментов транспортной логистики, направленных на оптимизацию; развитие микромобильности (велопереезды, обособление от пешеходов, связанность веломаршрутов); внедрение интеллектуальных систем, обеспечивающих «зеленые волны» транспортным потокам и сокращение времени простоя;
- 2) для промышленных организаций – обновление и модернизация фильтров и систем очистки на предприятиях; переход на современные технологии; автоматизированный мониторинг выбросов загрязняющих веществ; перевод котельных на более экологичные виды топлива;
- 3) для жилищно-коммунального сектора и населения – развитие циркулярной экономики (рециклинг).

УДК 338.45:658.15

АНАЛИЗ ФИНАНСОВЫХ ТРЕНДОВ ДЛЯ БЕЛОРУССКИХ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н. В. РУБАНОВА, О. Д. МАКАРЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Современные белорусские предприятия функционируют в условиях постоянных внешних и внутренних вызовов: колебания валютных курсов, рост цен на сырье, изменение налоговой политики и требований со стороны партнёров требуют высокой гибкости и точности в управлении финансовыми потоками. Всё это делает тему данного исследования особенно значимой для промышленных предприятий Республики Беларусь.

Анализ динамики финансовых показателей промышленных организаций Республики Беларусь за период 2021–2023 гг. [1] показывает противоречивую картину. Рост выручки соседствует с сокращением чистой прибыли, что создает специфические вызовы для управления финансовыми потоками: требуется одновременно поддерживать объемы продаж и удерживать платежеспособность. В рамках данного исследования по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь проведен аналитический обзор агрегированных показателей, которые иллюстрируют общие отраслевые тренды и те факторы, которые напрямую влияют на планирование и контроль финансовых потоков.

Анализ темпов роста финансовых показателей промышленности за 2021–2023 гг. показывает неоднородную динамику. Так, выручка увеличилась на 7,17 % в 2022 г. и ускорила рост на 11,00 % в 2023 г., что указывает на расширение объемов продаж и, возможно, на выход на новые рынки или повышение объемов реализации у ключевых клиентов. Прибыль от реализации в 2022 г. выросла опережающими темпами (на 13,20 %), однако в 2023 г. ее темп снизился до 92,26 % от уровня 2022 г., что свидетельствует о сжатии операционной маржи – себестоимость и текущие затраты, по всей видимости, росли быстрее, чем выручка. Чистая прибыль показала обратную динамику: снижение до 97,36 % в 2022 г. и резкое уменьшение до 65,26 % в 2023 г., что указывает на возрастание финансовых или внереализационных расходов и на ухудшение способности аккумулировать чистый денежный поток. Рост рентабельности в 2022 г. (+6 %) сменился падением в 2023 году (минус 17 %), что подтверждает вывод о давлении на маржу в 2023 г.

Анализ показателей ликвидности предприятий промышленности показал, что наблюдаемые темпы роста свидетельствуют об общем укреплении платёжеспособности промышленности, но с важными нюансами. Коэффициент текущей ликвидности увеличился на 7,98 % в 2022 г. и еще на 7,46 % в 2023 г., что демонстрирует стабильно улучшающееся покрытие краткосрочных обязательств текущими активами. Значительный прирост коэффициента обеспеченности собственными оборотными средствами в 2022 г. (+33,71%) и последующий рост в 2023 г. (+22,27 %) говорят о системном наращивании доли собственных оборотных ресурсов. Однако сравнение темпов показывает

замедление интенсификации накопления собственных средств: прирост в 2023 г. существенно меньше, чем в 2022 г., что может означать исчерпание легких резервов на формирование дополнительных внутренних ресурсов или перераспределение средств в инвестиционные или операционные нужды. Для управления потоками это означает, что, несмотря на улучшение ликвидности, резервный потенциал для сглаживания кассовых пиков может уменьшаться при сохранении текущих темпов роста затрат.

Для оценки проблем у белорусских промышленных предприятий с расчетами проведен анализ информации по состоянию внешней просроченной задолженности как индикатора напряженности в цепочках расчетов и факторов риска для денежного цикла. Внешняя просроченная кредиторская задолженность выросла на 8,02 % в 2022 г. и резко ускорилась в 2023 г. – рост на 68,02 % по отношению к 2022 г. Такое ускорение может указывать на накопление обязательств и понижение уровня своевременных выплат, что прямо увеличивает кредитное давление на поставщиков и создает риски кассовых разрывов. Дебиторская просроченная задолженность снизилась в 2022 г. (темп 84,92 % к 2021 г.), что выглядело позитивно, но в 2023 г. наблюдается ее существенный рост до 137,65 % относительно 2022 г. Рост темпов дебиторской и кредиторской просроченной задолженности одновременно усиливает риск нарушений в платежной дисциплине и требует внимания к синхронизации сроков расчетов с контрагентами.

Сводный анализ темпов изменения финансовых показателей промышленности позволяет сделать следующий вывод: выручка предприятий устойчиво росла в 2022–2023 гг., но операционная и чистая прибыль показали падение темпов и абсолютного уровня в 2023 г.; ликвидность и доля собственных оборотных средств росли, однако с замедлением темпов накопления; просроченная задолженность, в особенности кредиторская, резко ускорили рост в 2023 г. Такое сочетание динамик означает усиление операционного давления на денежные потоки: при росте затрат и накоплении просрочек внутренние источники покрытия обязательств оказываются под напряжением, несмотря на общую положительную динамику ликвидности.

Практическая интерпретация выявленных тенденций развития сводится к оценке влияния на кассовый цикл: ускорение выручки на фоне падения прибыли увеличивает потребность в оборотном капитале, тогда как рост просроченной задолженности удлиняет цикл оборачиваемости средств. В таких условиях становится критичным сопоставлять темпы изменения дебиторской и кредиторской задолженности с темпами роста выручки и затрат, чтобы количественно оценить требуемые резервы ликвидности и определить временные окна, в которых возможно сглаживание кассовых колебаний за счет внутренних источников или инструментов краткосрочного финансирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Финансы Республики Беларусь : стат. буклет / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Мн. : Белстат, 2024. – 38 с.

УДК 338

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ВУЗОВ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

М. Д. САКОВИЧ, С. Л. КОМАРОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рынок образовательных услуг в Республике Беларусь меняется с каждым годом, а ключевым индикатором эффективности деятельности учреждений образования выступает их конкурентоспособность. Для высших учебных заведений одним из значимых факторов, формирующих репутацию и имидж, являются достижения в научно-исследовательской деятельности по результатам конкурса научно-исследовательских работ студентов. На рис. 1 представлены результаты конкурса среди технических вузов, а именно общее количество работ и количество победивших работ среди них.

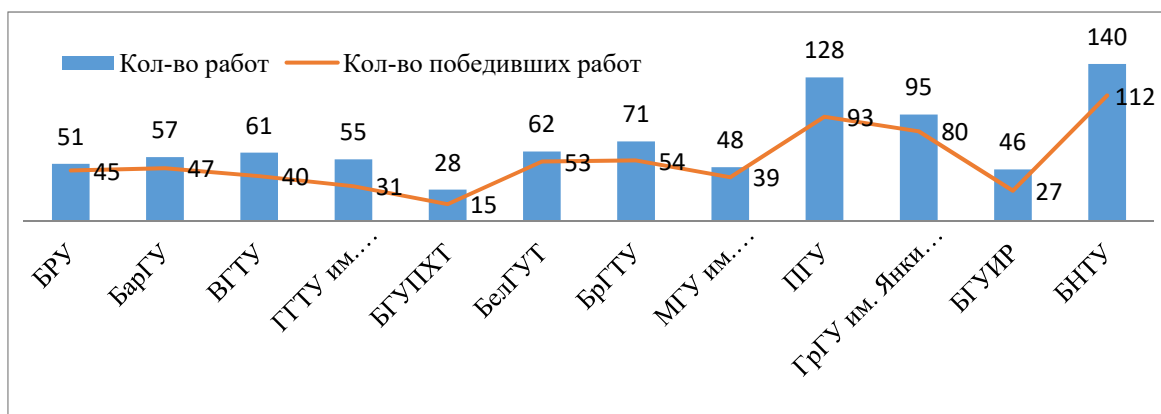


Рис. 1. Результаты конкурса научных работ 2025 г.

Можно сделать вывод об отсутствии прямой зависимости между масштабами вуза и интенсивностью его научно-исследовательской деятельности, которая оценивалась по количеству представленных и отмеченных наградами студенческих работ.

Определяющим условием продуктивности научной работы выступает не размер учреждения, а действенность его внутриорганизационной работы с кадрами, включая степень вовлеченности и заинтересованности преподавателей. Вероятно, успешное участие студентов в конкурсах в большей степени обусловлено функционированием в вузе продуманного механизма поощрения научного руководства. Данный механизм может предусматривать как финансовые, так и статусные льготы для наставников, а также формальное закрепление такой деятельности в индивидуальных планах и критериях оценки труда профессорско-преподавательского состава.

УДК 332.102

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПЕРИОД ДО 2040 Г.

А. В. ШАДРАКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Важнейшим стратегическим документом долгосрочного планирования Могилевской области, определяющим развитие всех сфер жизнедеятельности населения, является региональная стратегия устойчивого развития на период до 2040 г., утвержденная председателем Могилевского областного исполнительного комитета 16 апреля 2025 г.

Экономические приоритеты региональной стратегии включают:

- усиление цифровой трансформации экономики, стимулирование бизнес-среды, повышение эффективности реального сектора экономики для устойчивого роста доходов населения;
- обеспечение роста качества жизни населения, повышение социального благополучия, расширение инвестирования человеческого потенциала жителей региона;
- рост конкурентоспособности и сбалансированного равномерного развития сельских территорий и малых городов области.

Перспективные направления экономического развития городов и административных районов представлены в табл. 1.

Табл. 1. Перспективные направления развития городов и районов различных функциональных типов

Функциональный тип	Город и район	Направление развития
Многофункциональный	г. Могилев, г. Бобруйск, Бобруйский, Горецкий, Могилевский районы	Внедрение принципов «Индустрии 4.0»; развитие циркулярной экономики, цифровизации; комплексное развитие сферы услуг
Промышленно-аграрный	Климовичский, Костюковичский, Кричевский, Осиповичский районы	Развитие экспортоориентированных производств, туристско-рекреационного потенциала; вертикальная интеграция АПК
Аграрно-промышленный и аграрный	Бельничский, Быховский, Глусский, Дрибинский, Кировский, Кличевский, Краснопольский, Круглянский, Мстиславский, Славгородский, Хотимский, Чаусский, Чериковский, Шкловский районы	Развитие органического земледелия, локальных кластеров, туристской индустрии, поддержка местных инициатив; «умная специализация» сельских территорий и малых городов
Примечание – Таблица составлена автором с использованием [1, с. 66–90]		

Могилевская область формирует более 8,6 % республиканского объема промышленной продукции. Всего в области производством промышленной продукции занято 1638 предприятия (2024 г.) с общей численностью работающих более 97,1 тыс. человек (23 % от общей численности занятых в экономике области) [2, с. 211–213].

В структуре промышленности 90,5 % занимает обрабатывающая промышленность, которая формирует более четверти валового регионального продукта. Основными ее отраслями является производство пищевых продуктов, резиновых и пластмассовых изделий, а также химическое производство. Среди регионов республики Могилевская область является главным производителем цемента, железобетонных шпал и плодоовощных консервов. В области сосредоточен республиканский объем производства лифтов и шин.

За последние пять лет в области увеличилось производство трикотажных изделий, масел растительных, сыров, волокон химических, безалкогольных напитков, цельномолочной продукции, бумаги и картона.

Ключевыми предприятиями Могилевской области в химической отрасли являются ОАО «Белшина» – крупнейший в Европе производитель шин, ОАО «Могилевхимволокно» – ведущий производитель полиэфирной продукции. В машиностроении и приборостроении: ОАО «Бобруйский завод тракторных деталей и агрегатов» – трактора и запасные части к ним, ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш» – сельскохозяйственная техника, ОАО «Могилевский металлургический завод» – трубы стальные и т. д. В легкой промышленности: ОАО «Моготекс» – более 60 наименований тканей, ОАО «Лента» – лентоткацкая, тюлегардинная и плетельная продукция, ЗАО «Легпромразвитие» – пошив спецодежды, изготовление изделий из пластмасс и т. д.

Таким образом, реализация Стратегии позволит региону осуществить качественный переход к более сбалансированному (инновационной территориально-справедливой модели устойчивого роста) экономическому развитию. Это будет способствовать закреплению за Могилевской областью статуса одного из ключевых драйверов экономики Республики Беларусь. Данный стратегический курс будет содействовать системному повышению устойчивости и качества жизни населения в соответствии с принципами имплементации Целей устойчивого развития.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рейтинг административно-территориальных единиц Республики Беларусь по уровню социально-экономического развития за 2016, 2019, 2020, 2021 годы / Науч.-исслед. экон. ин-т М-ва экономики Респ. Беларусь. – URL: <https://niei.by/uploads/files/novyj.pdf> (дата обращения: 11.01.2026).
2. Статистический ежегодник Могилевской области: стат. сб. – Могилев : Гл. стат. упр. Могилев. обл., 2025. – 341 с.

УДК 159.99:378.178

ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ПЕРЕГРУЗКИ

Г. Я. АЛЕКСЮТИНА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Переход на цифровое образование, происходящий в наши дни в сфере высшей школы, помимо очевидных преимуществ, высветил также негативные составляющие актуальной цифровой революции в человеческой культуре. В условиях, когда информационная среда человека стала превращаться в тотальный цифровой мир, окружающий повсеместно и практически непрерывно, частыми сопутствующими явлениями прогресса стали информационная перегрузка, стресс, тревожность, эмоциональное выгорание. Все эти состояния особенно актуальны для учащейся молодежи в силу увеличения нагрузок в процессе профессионального образования.

В сложившейся ситуации именно гуманитарные практики отвечают потребностям высшей школы как инструментарий, способный смягчить давление, оказываемое на современного студента средой. Считаем, что очень важно привлекать их для формирования и поддержки психологической устойчивости личности, преодоления негативных последствий цифровой перегрузки.

В свете сказанного необходимо упомянуть теорию информационных неврозов (М. М. Хананашвили), согласно которой важными факторами невротизации человека выступают информационные перегрузки мозга в сочетании с постоянным дефицитом времени. Если к ним присоединяется высокий уровень учебной мотивации, не позволяющий уклоняться от высоких нагрузок, невротизирующее действие таковых усугубляется.

Современные исследования феномена цифровой перегрузки показывают его влияние на психоэмоциональную сферу и учебную мотивацию. Под цифровой перегрузкой при этом понимается состояние, возникающее вследствие постоянного воздействия информационных потоков, многозадачности, непрерывной онлайн-коммуникации и необходимости обработки большого объема информации [1, с. 132].

Рассмотрим, что представляет собой в этих условиях психологическая устойчивость. Это процесс, включающий в себя ответ человека на разнообразные стресс-факторы и облегчающий здоровое функционирование личности. Она предполагает формирование гибкости в ответ на ситуативные изменения, а также способность быстрого и эффективного восстановления эмоциональной сферы. Как свойство личности психологическая устойчивость может быть врожденной и приобретенной.

Психологическая устойчивость тесно связана с копинг-стратегиями, понимаемыми как ответы личности на воспринимаемую угрозу. В процессе применения продуктивных копинг-стратегий происходит регуляция эмоций и управление проблемами, вызывающими негативные изменения психики.

Ощущая тревогу и усталость от цифрового диктата в эпоху «великого истощения» (термин введен Кэлом Ньюпортом), представители разных поколений демонстрируют различные стратегии ее преодоления.

Зумеры (согласно теории поколений У. Штрауса и Н. Хоува) – а именно с ними работают нынешние преподаватели – пытаются найти выход через сознательное дистанцирование от цифровой среды, отдых, хобби, борясь с выгоранием через поиск аутентичности и подработки. Но при этом следует учитывать, что эти навыки студентам еще нужно приобрести. Далеко не каждый современный студент обладает психологической устойчивостью и владеет достаточным арсеналом средств для преодоления трудных психических состояний, вызванных цифровой перегрузкой. Ответом на информационный стресс может стать применение защитных механизмов психики (в частности, отрицание), вследствие чего работу со сложным информационным материалом человек перекладывает на «третьих лиц». Следует также отметить парадокс формальной вовлеченности, когда студенты лишь демонстрируют присутствие на цифровых платформах [2, с. 83].

Гуманитарное образование в техническом вузе является той средой, где наиболее оправдано и эффективно применение компенсирующих психологических практик, методик и приемов. Специалисты отмечают, что самыми эффективными гуманитарными практиками формирования психологической устойчивости личности являются рефлексия, арт-практики, групповые беседы, этические и коммуникативные тренинги. Их применение способствует развитию самосознания, навыков саморегуляции, эмоционального интеллекта, критического мышления. Грамотное, систематическое, профессиональное их внедрение прямо влияет на снижение стресса, усиление ощущения смысла деятельности, развитие гибкости мышления и устойчивости.

Для поддержки устойчивости студентов в условиях цифровой трансформации высшей школы необходимо создание поддерживающего образовательного пространства, способствующего развитию навыков саморегуляции, формированию осознанного отношения к цифровому потреблению, информационной культуры.

Внедрение в педагогический процесс учреждений высшего образования стратегий управления цифровой средой, технологий формирования метакогнитивных навыков и рефлексивных практик позволит значительно снизить вредоносное воздействие цифровизации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ярычев, М. У.** Формирование устойчивых мотивационных установок у студентов в условиях цифровой перегрузки / М. У. Ярычев // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2025. – № 6. – С. 131–135.
2. **Соколов, А. В.** Цифровое неучастие студенческой молодежи / А. В. Соколов, П. А. Бабаджанян // PolitBook. – 2025. – № 3. – С. 76–89.

УДК 061.1

О РАБОТЕ ПЕРВИЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ РОО «БЕЛАЯ РУСЬ» БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

С. В. БОЛОТОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В Белорусско-Российском университете первичная организация Республиканского общественного объединения «Белая Русь» была создана 28 апреля 2008 г. Первоначально ее численность составила 29 человек. Сегодня первичная организация университета насчитывает 300 членов, из них сотрудников – 178 (59,3 %), студентов – 122 (40,7 %).

Первичной организацией Белорусско-Российского университета ведется активная информационная работа. На сайте университета есть страница РОО «Белая Русь» (<http://bru.by/content/university/belayarus>). Информация о деятельности первичной организации регулярно размещается в группе «БЕЛАЯ РУСЬ в Могилеве» в мессенджере Telegram.

Активисты первичной организации Белорусско-Российского университета постоянно участвуют в мероприятиях, проводимых городской и районными организациями РОО «Белая Русь», акциях и проектах: «Белая Русь» – украшает Беларусь!», «Белая Русь» – за сильную и процветающую Беларусь!», «Белая Русь» – за здоровый образ жизни», «Белая Русь» – с любовью к детям», «Белая Русь» – с заботой о ветеранах», «Белая Русь» помнит».

Наиболее значимыми мероприятиями, проведенными в Белорусско-Российском университете при поддержке РОО «Белая Русь», стали: турнир по игре «ЧТО? ГДЕ? КОГДА?» среди первичных организаций РОО «Белая Русь» Ленинского района г. Могилева, областной финал турнира по интеллектуальным играм «80 лет Великой Победы!», областной отборочный этап турнира по интеллектуальным играм «Учись. Сберегай. Зарабатывай», белорусско-российский слёт военно-патриотических клубов и команд кадетских учебных заведений «Мы – защитники Отечества», открытый фестиваль творчества иностранных студентов «Дружба народов», открытый фестиваль «Палитра творчества», патриотический автопробег «Помним! Сохраняем! Чтим!» по местам боевой славы Могилевщины.

Члены первичной организации, сотрудники и студенты университета приняли участие в благотворительной акции «Спина к спине» по сбору гуманитарной помощи для пострадавших в результате военных действий в Курской области Российской Федерации. Собрано 30 коробок необходимых средств первой необходимости, продуктов питания. Студенты принимали участие в сортировке и погрузке гуманитарной помощи на областном сортировочном пункте.

Ежегодно члены первичной организации университета с детьми, которые идут в первый класс, участвуют в городском празднике «В школу – с Белой Русью», организованном Могилёвской городской организацией РОО «Белая

Русь». В рамках акции «В Новый год с Белой Русью» многодетные члены первичной организации участвуют с детьми в новогодних представлениях и получают подарки.

Члены первичной организации принимают активное участие в конкурсе работ творческой молодёжи «Золотое перо Белой Руси». Студент Белорусско-Российского университета Глеб Луньков является победителем Могилёвского областного этапа конкурса в 2024–2025 гг. в номинации «Студент».

В университете активно развивается дебатное движение. При поддержке РОО «Белая Русь» с 2023 г. работает дебат-клуб университета. Команда «Ориентир» Белорусско-Российского университета в составе студентов электротехнического факультета Марии Тереховой и Валерии Даревской заняла второе место в финале заключительного этапа республиканского конкурса «Всебелорусская Лига дебатов».

Члены первичной организации активно участвовали во всех фазах избирательной кампании по выборам Президента Республики Беларусь 26 января 2025 г., Едином дне голосования 25 февраля 2024 г., республиканском референдуме по вопросу внесения изменений и дополнений в Конституцию Республики Беларусь 27 февраля 2022 г. Многие члены первичной организации входили в состав инициативных групп по сбору подписей в поддержку кандидата в Президенты Республики Беларусь А. Г. Лукашенко, кандидатов в депутаты, работали в составе районной и участковых избирательных комиссий, наблюдателями. Студенты университета – члены первичной организации – проводили в декабре 2024 г. и январе 2025 г. встречи в общежитиях в рамках информационно-просветительского проекта «Президентская Республика: голос молодежи», участвовали в собраниях молодежного актива в рамках «Школы молодого избирателя» в общественной приемной Могилёвской городской организации РОО «Белая Русь».

Следует отметить активное участие в деятельности РОО «Белая Русь» сотрудников и студентов электротехнического и машиностроительного факультетов. Малую численность и низкую активность в работе первичной организации показывают автомеханический, строительный и факультет управления и инноваций. Требуется наладить более эффективное взаимодействие с первичной профсоюзной организацией и ОО «БРСМ».

К основным задачам, стоящим перед первичной организацией РОО «Белая Русь» Белорусско-Российского университета на ближайшее время, можно отнести: привлечение в свои ряды достойных, патриотически настроенных сотрудников университета и студентов; организация и участие в различных акциях и мероприятиях, проводимых в городе и университете; активное участие в избирательных кампаниях по выбору депутатов в Единый день голосования и выборах Президента Республики Беларусь.

М. Л. БУДАЕВ, М. Ф. ГРИГОРЬЕВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Особую актуальность в армрестлинге имеет проблема объективного судейства. В настоящее время в научной литературе этот вопрос активно обсуждается, ведущие специалисты в сфере армрестлинга предлагают различные варианты правил судейства.

Тренеры и спортсмены в своей подготовке ориентируются на правила, разработанные мировой федерацией армрестлинга, однако человеческий фактор в судействе по-прежнему остается актуальной проблемой [1].

Для повышения объективности судейства необходимо использовать технологии, которые позволяют объективно и безошибочно фиксировать нарушение правил борьбы. Судейство без использования технических средств контроля зачастую вызывает много вопросов и недовольства тренеров и спортсменов [2]. Причиной разногласий могут быть ограниченность обзора и предвзятость.

С целью конкретизации проблемы был проведен опрос с участием 100 спортсменов, занимающихся армрестлингом. Было предложено ответить на два вопроса: сталкивались ли вы с судейскими ошибками в вопросе отрыва локтя от подлокотника (да, нет) и есть ли необходимость совершенствовать процесс определения отрыва локтя от подлокотника с помощью технических средств контроля (да, нет).

Диаграмма 1. Сталкивались ли вы с судейскими ошибками в вопросе отрыва локтя от подлокотника (рис. 1).

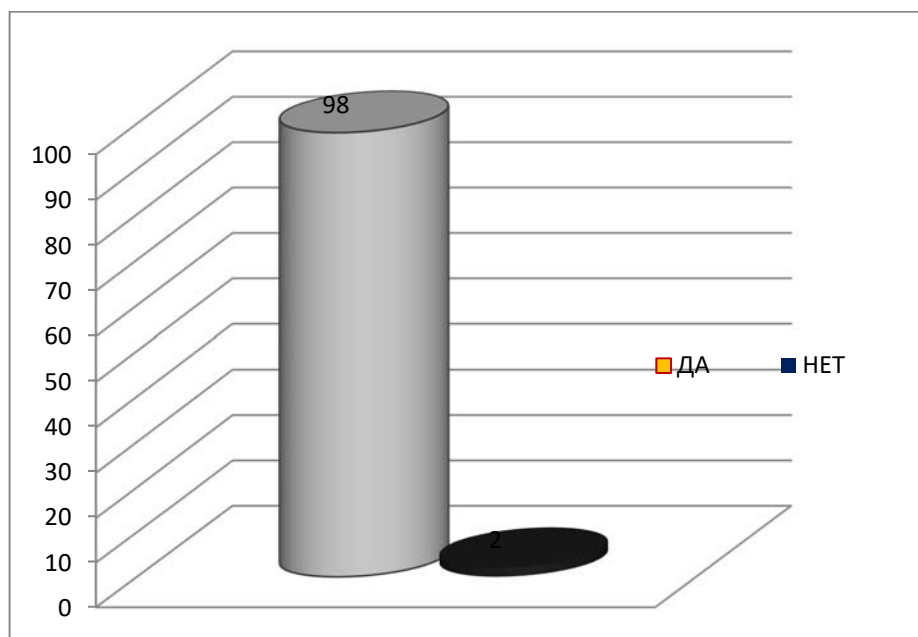


Рис. 1. Диаграмма 1

Диаграмма 2. Есть ли необходимость совершенствовать процесс определения отрыва локтя от подлокотника с помощью технических средств контроля (рис. 2).

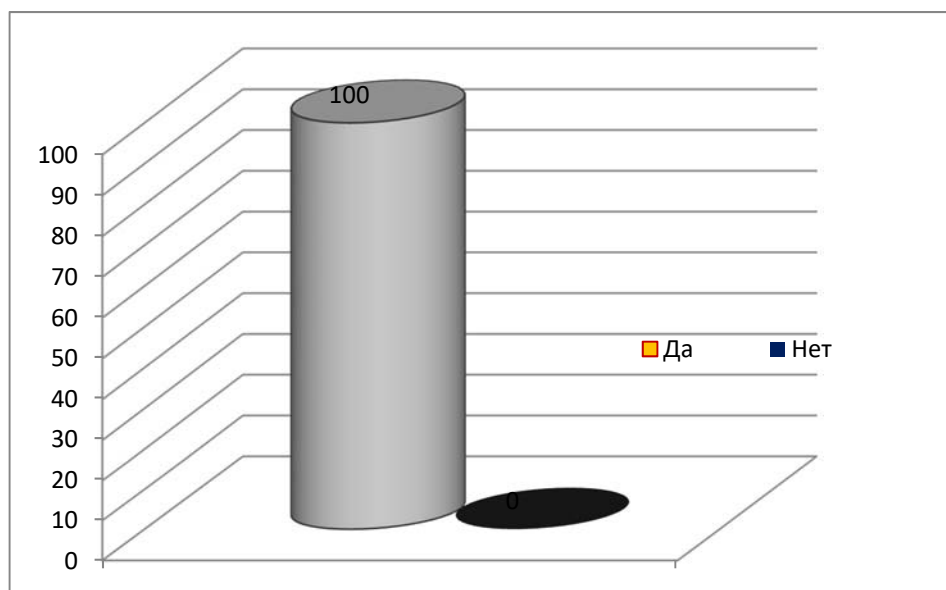


Рис. 2. Диаграмма 2

Как видно из опроса спортсменов, актуальным является внедрение в процесс судейства технических средств контроля.

Мы предлагаем с целью решения этого вопроса к системе видеоконтроля добавить датчики контакта локтей спортсменов с подлокотниками стола, что обеспечит объективное выявление отрыва локтей во время борьбы.

Данное решение позволит оптимизировать процесс судейства в армрестлинге, сделав его более объективным.

Для внедрения данной идеи в процесс судейства необходимо разработать опытный образец, провести его испытание и патентование в установленном законом Республики Беларусь порядке о научных изобретениях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будаев, М. Л. Сложности и индивидуальности армрестлинга как спортивной дисциплины / М. Л. Будаев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2017. – С. 62–63.

2. Будаев, М. Л. Проблема судейского захвата в армрестлинге / М. Л. Будаев, М. Ф. Григорьев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2020. – С. 432.

УДК 372.881.111.1

ОСНОВЫ ИНОЯЗЫЧНОЙ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ: ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОДЫ

Ю. В. ВАСИЛЕНКО

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современное общество имеет высокие требования к специалистам технического профиля. Одним из этих требований является владение иностранным языком. Сюда относится не только стандартное умение поддерживать диалог, но и способность специалиста общаться на иностранном языке на профессиональные темы, решать комплексные проблемы, так или иначе связанные с его профилем, читать научно-техническую литературу по специальности.

Актуальность данной темы обусловлена высокими профессиональными стандартами, предъявляемыми к выпускникам инженерных вузов. Это требует от университетов работы по обновлению содержания и методического обеспечения образовательных программ для подготовки конкурентоспособных специалистов, соответствующих требованиям современных работодателей. Изучение английского языка способствует профессиональному развитию молодых специалистов и открывает новые горизонты в профессиональной деятельности [1, с. 11].

В результате выпускники сталкиваются с невозможностью свободно выражать мысль на иностранном языке в рамках своей профессии [3, с. 114]. По причине того, что студенты технических вузов, как правило, демонстрируют различную степень владения английским языком, существует актуальная потребность в формировании индивидуального подхода для развития языковых компетенций [1, с. 11].

Преподавание английского языка в техническом университете предполагает фокус на английском для специальных целей (English for Specific Purposes). Это требует использования аутентичных материалов, междисциплинарных подходов, цифровых инструментов и специальной подготовки преподавателей, которым часто не хватает предметных знаний. Всё это направлено на развитие у студентов практических языковых навыков для их технических областей, а также на решение таких проблем, как пробелы в знании контента, через инновационные учебные программы и интеграцию технологий.

Повышение уровня профессионального владения иностранным языком у выпускников технических специальностей напрямую зависит от преодоления двух ключевых проблем в системе их языковой подготовки: отсутствия четкой профессиональной направленности и игнорирования индивидуального уровня обучающихся. При преподавании иностранного языка в техническом вузе следует принимать во внимание особенности профильной подготовки учащихся [2, с. 63]. Существует значительный разрыв между высокими требованиями рынка труда к иноязычным профессиональным навыкам инженеров и реальным

уровнем подготовки выпускников технических вузов, которые зачастую не способны к полноценной коммуникации в своей предметной области. Одной из системных причин этого разрыва является недостаточная профессиональная ориентация традиционных курсов иностранного языка, которые не фокусируются на специфике технических специальностей (чтении научной литературы, профессиональной дискуссии, решении отраслевых кейсов).

Для эффективного обучения серьезным препятствием является неоднородный входной уровень языковой подготовки студентов, что делает неэффективным унифицированный подход и требует разработки гибких, дифференцированных методик (например, разделения на потоки, внедрения модульных программ).

Для преодоления обозначенных проблем необходима целенаправленная модернизация системы языковой подготовки. Ее ядром должно стать внедрение принципов English for Specific Purposes (ESP) и создание условий для индивидуализации учебного процесса, что в совокупности позволит сформировать у будущих инженеров востребованные на глобальном рынке компетенции.

Таким образом, формирование иноязычной профессиональной компетенции у будущих инженеров – это комплексная стратегическая задача. Её решение лежит в синтезе трех основных направлений: глубокой профилизации содержания (ESP), гибкой индивидуализации траекторий обучения и всесторонней технологической поддержки образовательного процесса. Только такой многофакторный подход позволит подготовить специалистов, способных к полноценной интеграции в международное профессиональное сообщество и инновационной деятельности в условиях глобализированной экономики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Медведева, К. О.** Особенности изучения английского языка в технических вузах / К. О. Медведева // Гуманитарный вестник. – 2023. – № 2 (100). – С. 11.
2. **Платкова, А. Б.** Некоторые аспекты обучения иностранным языкам в техническом вузе / А. Б. Платкова, А. Г. Котина // Вестник науки и образования. – 2016. – № 5 (17). – С. 61–64.
3. **Харина, М. В.** Модели развития иноязычной коммуникативной компетенции студентов технического вуза в интегрированной информационной обучающей среде / М. В. Харина // Ярославский педагогический вестник. – 2014. – № 4. – С. 114–118.

УДК 376.1

О ГРАЖДАНСКОМ И ПАТРИОТИЧЕСКОМ ВОСПИТАНИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ

А. В. КАЗАНСКИЙ, А. П. ЧЕРКАСОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Стратегия развития государственной молодежной политики Республики Беларусь до 2030 года (далее – Стратегия), утвержденная Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 349 от 19 июня 2021 г., определяет задачи гражданского и патриотического воспитания молодежи:

- широкий охват молодежи дополнительными образовательными программами военно-патриотического профиля;
- включение молодежи в программы подготовки к службе в Вооруженных Силах Республики Беларусь;
- содействие деятельности военно-патриотических клубов.

Президент Республики Беларусь Александр Григорьевич Лукашенко 4 мая 2024 г. подписал Указ № 160 о развитии военно-патриотических клубов. Документ регулирует деятельность военно-патриотических клубов для детей и молодежи на территории войсковых частей внутренних войск МВД, Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований, а также в местах дислокации органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям.

В ходе реализации Стратегии в учреждениях образования, реализующих образовательные программы общего среднего образования, введены должности руководителей по военно-патриотическому воспитанию, совершенствуются учебные программы. Учебная программа по предмету «Допризывная и медицинская подготовка» для X–XI классов учреждений среднего образования рассчитана на два модуля, всего 256 ч. В школах создаются военно-патриотические классы и клубы. В целом организацию военно-патриотического воспитания в учреждениях общего среднего образования необходимо признать удовлетворительной.

Военно-патриотическое воспитание обучающихся в системе высшего образования проводится на системной основе. В его основе – организация обучения по программам военной подготовки Министерства обороны: в системе высшего образования созданы 7 военных факультетов, 9 военных кафедр. В УВО создаются военно-патриотические клубы, впервые организована республиканская военно-прикладная игра «Прорыв», реализуются проекты, проводятся мероприятия, особое внимание уделялось празднованию 80-летия Победы.

Направление военно-патриотического воспитания в Белорусско-Российском университете является одним из приоритетных направлений в воспитательной работе, для которого в вузе создаются необходимые условия: в каждой учебной аудитории имеется государственная символика, в учебном заведении функционирует музей истории университета, приказом ректора № 143 от 29.02.2024 г. создан военно-патриотический клуб «БРУтвер», проводятся акции, автопробеги, конкурсы.

В университете вновь образована военная кафедра, торжественное открытие которой состоялось 12 февраля 2025 г. Обучение студентов ведется по трем

военно-учетным специальностям. На военной кафедре периодически проводятся краткосрочные курсы операторов БПЛА. Обучаться на военной кафедре могут студенты, получающие образование только по белорусским образовательным программам. Численность обучаемых на кафедре ограничена. Большинство студентов получить военно-учетную специальность параллельно с обучением и пройти подготовку по той или иной военной специальности не могут.

Указанные мероприятия повысили интерес обучающихся к истории Отечества, способствуют воспитанию уважительного отношения к старшему поколению, любви к Родине, чувству долга и патриотизма, гражданственности. Однако это направление работы необходимо развивать.

Студенты, обучающиеся на втором курсе по российским образовательным программам, изучают дисциплину «Основы военной подготовки» на кафедре «Техносферная безопасность». При преподавании дисциплин по безопасности жизнедеятельности на кафедре «Техносферная безопасность» освещаются только темы чрезвычайных ситуаций, радиационной защиты, что недостаточно.

Необходимо отметить, что отсутствует преемственность между системами общего среднего и высшего образования в области военной подготовки. Учебные программы высшей школы (кроме обучения на военных кафедрах) не предполагают изучение соответствующих дисциплин. В типовых штатах УВО (отдела по идеологической и воспитательной работе) отсутствует должность руководителя по военно-патриотическому воспитанию. Все это сдерживает процесс гражданского и патриотического воспитания.

Интересен опыт по подготовке специалистов для Вооруженных Сил на военных кафедрах в вузах Российской Федерации. Созданы военные учебные центры (ВУЦ), которые позволяют студентам гражданских вузов пройти военную подготовку и получить воинское звание. ВУЦ являются частью системы Минобороны, предлагают различные программы подготовки (офицер запаса, сержант запаса, солдат запаса) в рамках основного обучения, минуя срочную службу, с последующим зачислением в запас, а при определенных условиях, возможно, и на контрактную службу.

На основании изучения практики организации нами сформированы предложения по совершенствованию военно-патриотического воспитания в системе высшего образования:

- при разработке концепции непрерывного воспитания выделить военно-патриотическое воспитание как отдельное направление воспитания;
- ввести в типовой штат университета должность руководителя по военно-патриотическому воспитанию;
- ввести в учебные планы для обучающихся по белорусским образовательным стандартам дисциплину (тему в рабочую программу) по военно-патриотическому воспитанию, отражающую современные формы и методы ведения боевых действий и защиты от них.

Развитие военно-патриотического воспитания студенческой молодежи позволит формировать чувство любви и уважения к Родине, готовность к исполнению гражданского долга, службе в армии, активно вовлекать студентов в разработку и реализацию программ и проектов, направленных на сохранение исторического наследия, памяти о подвигах предыдущих поколений.

УДК 796.011.3

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
В ПРОЦЕССЕ ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ

И. П. КАЗЮКО, А. Н. ПЕРЕЦ, Н. А. ПЕРЕЦ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Обоснована целесообразность использования комплексного мониторинга функциональных возможностей студентов высших учебных заведений. Сформирована комплексная методика оценки функциональных возможностей студентов с учетом показателей физической подготовленности и параметров функционального тестирования с изменением мощности физической нагрузки за замкнутым циклом.

Большинство ученых и практиков оценивают уровень функциональных возможностей с помощью разнообразных тестовых заданий по физической подготовленности, также используют разнообразные функциональные пробы и функциональные тестирования с помощью дозированных физических нагрузок, в единичных случаях с помощью максимальных нагрузок.

В свете опубликованных данных является заметной спорность мнений об уровнях функциональных возможностей из-за определенных неточностей в полученных результатах и неверности подходов нахождения соответствующих показателей, которые не учитывают возрастные изменения, происходящие в организме учащихся и студентов. Поэтому поиск наиболее оптимальных подходов диагностирования уровня функциональных и физических возможностей обучающихся разного уровня является крайне необходимым.

Цель исследования – установить наиболее оптимальную методику мониторинга функциональных и физических возможностей студентов высших учебных заведений во время занятий физической культурой и спортом.

Результаты исследования и их обсуждение. На наш взгляд, наиболее точным, оперативным и информативным является функциональное тестирование, при котором мощность физической нагрузки изменяется по замкнутому циклу. Эта методика позволяет выявить не только показатели физической работоспособности и реакцию сердечно-сосудистой системы, но и установить регуляторные и энергетические компоненты системной реакции организма человека; помогает подобрать оптимальные нагрузки и режимы для каждого студента, учитывая его текущее состояние и цели; дает возможность оценить готовность к нагрузке после травм, болезней или в процессе акклиматизации.

Вывод. В настоящее время разработка и внедрение передовых мониторинговых технологий и информационных программ, обеспечивающих автоматизированную, точную, информативную и физиологически обоснованную оценку функциональных резервов организма, является насущной необходимостью для современного образования по физической культуре и спорту.

УДК 53:378.147

ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЦЕПЦИИ BYOD

О. Е. КОВАЛЕНКО, Т. В. МЕДВЕДСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время информационные технологии проникли во все сферы деятельности человека. Компьютеры и мобильные средства связи, являясь мощными коммуникационными и вычислительными устройствами, студентами, как правило, используются для игр, общения в социальных сетях, поиска информации и прослушивания музыки. Наличие такой техники у студентов позволяет преподавателю организовать учебный процесс с её интенсивным использованием. Этот принцип лежит в основе педагогической технологии, основанной на концепции BYOD (Bring Your Own Devices – «возьми свое собственное устройство»). BYOD – это IT-политика, которая позволяет и даже поощряет использование собственных устройств для решения рабочих задач [1].

Внедренная в образовательный процесс университета система дистанционного обучения Moodle также является одним из инструментов, позволяющих реализовать концепцию BYOD. На данном этапе авторами в системе Moodle размещены и апробированы задачки и электронные учебники, которые студенты при помощи мобильных устройств используют на практических аудиторных занятиях вместо обычных учебников. Такой подход позволяет предоставить доступ к дидактическому материалу дисциплины каждому студенту в любой момент времени. Благодаря наличию в составе современных мобильных устройств множества различных датчиков смартфоны также используются и в лабораторном практикуме технических дисциплин. Так, на лабораторных занятиях по физике студенты активно используют смартфоны для измерения освещенности, углов наклона, ускорения. При помощи камеры смартфона фиксируют физические явления с целью их последующего изучения, а генераторы звуковых сигналов используются для изучения колебательных процессов. Таким образом, представленный подход позволяет использовать чрезмерную увлеченность студентов мобильными средствами связи в образовательном процессе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Что такое BYOD? Модели BYOD. – URL: <https://habr.com/ru/companies/ipmatika/articles/584014> (дата обращения: 14.01.2025).

УДК 316.35:614.2

ДОНОРСТВО В СТУДЕНЧЕСКОЙ СРЕДЕ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ СОЦИАЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ – ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Е. А. КОПЫЛОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современное общество характеризуется динамическими социальными изменениями, в условиях которых особую актуальность приобретает проблема формирования и развития социальной ответственности среди молодых людей.

Донорство – важное проявление социальной ответственности и этических ценностей, способствующих развитию здравоохранения, поддержке общества и укреплению межличностных связей.

Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения уровня гражданской ответственности молодежи, развития культуры донорства и формирования устойчивой социальной инициативы среди студентов.

В рамках работы проведен количественный анализ студентов-доноров в Белорусско-Российском университете в 2024/2025 учебном году в период проведения донорских акций, выявлены основные причины низкой распространенности и предложены пути дальнейшего развития.

Студенческая молодежь, представляющая одну из самых здоровых и социально активных частей населения, исторически является опорой донорского движения, формирует вокруг себя новую культуру отношения к донорству.

Информация о вовлеченности студентов Белорусско-Российского университета в донорское движение была предоставлена отделом по идеологической и воспитательной работе университета, также заместителями декана факультетов по идеологической и воспитательной работе.

Всего 111 студентов Белорусско-Российского университета в течение 2024/2025 учебного года принимали участие в масштабных донорских акциях Белорусского Красного креста (21.11.2024 г., 13.03.2025 г., 14.06.2025 г.) «У Беларусі Добрае Сэрца!», «БРСМ: в нашей крови – помогать!», также в акции, приуроченной ко Всемирному дню донора на базе учреждения здравоохранения «Могилевская областная станция переливания крови».

Анализ существующих данных показал, что наиболее активными донорами стали студенты машиностроительного факультета – всего 39 человек. На электротехническом и инженерно-экономическом факультетах донорами стали 20 студентов. На автомеханическом факультете участие в акциях приняли 16 студентов. Наименьшее число доноров зарегистрировано среди студентов факультета управления и инноваций и строительного факультета – по 8 человек.

Эти данные отражают различный уровень вовлеченности студентов в донорскую деятельность в зависимости от факультета.

Современная медицина не имеет искусственных заменителей цельной крови и ее основных компонентов. Поэтому донорство остается единственным источником их получения.

Следует отметить, что также донорами в университете являются студенты, которые сдают кровь по личной инициативе как на регулярной основе, так и в качестве разового донора.

Регулярное донорство имеет положительный профилактический эффект для самого донора: происходят стимуляция кроветворения и обновление клеток крови, снижается риск сердечно-сосудистых заболеваний, активизируется иммунная система.

Разовое донорство – сдача крови или плазмы один раз или по необходимости. Такой формат позволяет студентам помочь в острые периоды или при чрезвычайных ситуациях.

Донорство положительно влияет на психологическое состояние студентов, укрепляя их ощущение собственной значимости и полезности. Оно способствует снижению эгоцентризма и развитию альтруистичных качеств, что в целом способствует формированию более гармоничной и устойчивой личности.

Участие в донорском движении оказывает прямое и косвенное влияние на формирование здорового образа жизни у студенческой молодежи.

Решение сдавать кровь платно или бесплатно каждый студент принимает самостоятельно и осознанно, основываясь на своих ценностях, мотивации и личных обстоятельствах.

Принимать активное участие в донорском движении имеют возможность не все студенты по объективным причинам – это нерегулярное и несбалансированное питание, академический стресс и недосыпание, низкая медицинская грамотность в вопросах донорства, эпизодическое употребление алкоголя и табакокурение. Эти причины могут способствовать снижению уровня гемоглобина и отводам от донорства.

Для развития донорства в студенческой среде предлагаем создавать комфортную инфраструктуру – мобильные донорские пункты в университете.

Важным направлением является внедрение долгосрочных мотивационных программ:

- предоставление корпоративных льгот (санаторные путевки, билеты на культурные мероприятия от профкома);
- включение в рейтинги активности (баллы за донорство, влияющие на стипендии, места в общежитии и трудоустройство);
- нематериальные поощрения (благодарственные письма на имя родителей, публикации списков доноров на сайте университета);
- использование современных технологий (приложения, напоминания);
- вовлечение в социальные проекты и создание студенческих клубов доноров.

Эти меры способствуют формированию устойчивой и мотивированной донорской культуры среди студентов, а сама донорская практика является мощным инструментом личностного развития и социального созревания.

В перспективе студенты могут стать ключевыми инициаторами формирования культуры добровольного донорства и укрепления системы здравоохранения.

УДК 811:37.013

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АУТЕНТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ

Е. Н. МЕЛЬНИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время фактор формирования и развития коммуникативной компетенции является необходимым компонентом профессиональной подготовки современного специалиста любого профиля. Важным компонентом обучения иностранному языку в рамках углубленного высшего образования является использование аутентичных научных материалов. Аутентичный текст является не просто дидактическим материалом, а ядром моделирования профессиональной коммуникативной ситуации. Аутентичный текст создается носителями языка для носителей и демонстрирует функционирование терминов в реальном контексте. Работа с научной статьей должна носить многоуровневый аналитический характер. На первом этапе происходят идентификация и вычленение ключевых терминов референтной области. Важнейшим шагом является анализ коллокаций – типичных словосочетаний (например, *to address an issue, to obtain data*). Далее необходимо изучать термины в рамках риторических структур статьи: как формулируется гипотеза, описываются методики, интерпретируются результаты и делаются выводы. Критически важным является функциональный аспект. Студенты учатся различать и использовать лексику для описания процессов (*demonstrate, increase*), оценки достоверности (*preliminary, controversial*) и логического связывания аргументов (*furthermore, thus*). Термины усваиваются не как отдельные единицы, а как части системы, в связке с грамматикой и стилем.

Таким образом, использование аутентичных научных текстов решает несколько важных задач:

- формирование аутентичной языковой среды: обучающиеся сталкиваются с реальным языком своей отрасли, включая характерные грамматические конструкции, стиль изложения и терминологию;
- развитие профессиональной дискурсивной компетенции: студенты учатся понимать логику построения научного текста, аргументацию автора, структуру доказательств;
- повышение мотивации: работа с актуальными и профессионально значимыми материалами повышает профессиональную заинтересованность и осознанность обучения.

Использование аутентичных материалов – это эффективный метод, применение которого способствует глубокому, контекстно-обусловленному усвоению языка специальности и позволяет сформировать у студентов готовность к практическому применению иностранного языка в профессиональной академической среде.

Т. П. ПИНЧУКОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

A classroom is a place where people gather for the common purpose to develop new knowledge. They create a new relationship in pursuit of their purpose. Each person brings his own needs and motives to the classroom. The pedagogical question is whether these personal tendencies and the common purpose may be made to serve one another. The classroom situation has to include the means for reaching a common pursuit and also for disclosing each student's subjective contribution. In fact, personal motives in the classroom have to be translated into motives for knowledge. Knowing what one wants to know is the first conscious motive for developing knowledge.

Nowadays pedagogical institutions are ready to adapt to a responsible integration of subjective thinking into the development of knowledge. The primary concern of modern technical universities is to train highly qualified, competitive engineers, capable of not only effectively managing, but also introducing new technologies, working with new equipment, using automation and robotics in production process. The existing competency-based approach of training engineers is aimed at the formation of professional competencies. Nevertheless, taking into account rapid development of technology, an engineer's ability for constant self-education is necessary.

The principle of personal orientation in the developing integration competence is based on its definition as a personal quality, which makes possible independent individual search of integrating ways and methods [1]. Polytechnic knowledge of students is a combination of interrelated concepts of natural, technical, mathematical, social and humanitarian areas of science. It becomes polytechnic when this knowledge is included in labor activity.

The formation of polytechnic competences can take place within the activities of the scientific research student club such as conducting surveys, questioning, ranking, testing in control groups. The main focus is on the students themselves, their creative and professional activity. Communication during the club activities contributed to the development of such qualities as sociability, overcoming internal contradictions, situation analysis, self-control, volitional efforts. Labor activities made it possible to get satisfaction from professional experience, to form willingness to self-development.

The activities in the form of the student scientific club contributed to positive dynamics in the development of the main components of the polytechnic competences of future engineers: motivation, creativity, operational competence, emotional stability.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Influencing Engineering Education Through the Competency-based Approach. – URL: <http://www.researchgate.net/publication> (date of access: 19.01.2026).

УДК 378

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ВЗРОСЛЫХ: ОПЫТ БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

В. М. ПУСКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Современное общество требует от человека постоянного обновления знаний и умений на протяжении всей жизни (lifelong learning). Официальные международные рейтинги подтверждают высокий уровень образования в нашей стране. Республика Беларусь по индексу уровня образования в рейтинге стран мира в 2024 г. заняла 40-е место из 193 стран. Все это благодаря развитию системы образования. В стране утверждены приоритетные направления научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026–2030 годы, такие как цифровые технологии и искусственный интеллект, инновационные технологии в промышленности и т. п.

В Республике Беларусь дополнительное образование взрослых (ДОВ) становится неотъемлемой частью образовательной системы, особенно в условиях цифровой трансформации и демографических вызовов. Система ДОВ представляет собой гибкую, мобильную и постоянно развивающуюся систему, помогающую обеспечить различные отрасли профессиональными кадрами.

Белорусско-Российский университет (г. Могилев) является одним из активных участников развития системы ДОВ. На базе университета функционирует Институт повышения квалификации и переподготовки кадров, предлагающий образовательные программы переподготовки руководящих работников и специалистов, имеющих высшее образование, с получением различных квалификаций; обучающие курсы: иностранные языки, охрана труда и законодательство, противодействие коррупции и т. д.

Обучение слушателей осуществляется как на базе учреждения образования, так и непосредственно на производстве, например стажировка специалистов по охране труда.

Однако есть и свои сложности – это конкуренция на рынке образовательных услуг, что касается, например, краткосрочных курсов повышения квалификации. И здесь решением в ИПК является проведение курсов дистанционно.

Опыт Белорусско-Российского университета демонстрирует, что вузы могут успешно выполнять функции центров дополнительного образования взрослых, сочетая академический потенциал с запросами общества и экономики. Эффективность программ ДОВ обеспечивается их практико-ориентированностью и гибкостью. Для дальнейшего развития системы ДОВ в Беларуси необходимо:

- расширять подготовку педагогических кадров в области андрагогики;
- развивать цифровую инфраструктуру и дистанционные форматы;
- усиливать информационную работу среди взрослого населения.

УДК 379.83:355.233.231.1

ТУРИЗМ КАК ФАКТОР ПАТРИОТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ
СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ

Л. А. САДОВСКАЯ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Патриотизм – форма гражданского сознания, отражающая любовь к Родине, гордость за ее историю, культуру, достижения, а также готовность защищать ее интересы не только на поле боя, но и в различных сферах жизнедеятельности.

Патриотическое воспитание молодежи – студенческой в частности – в современном обществе очень актуально, т. к. это самая активная часть населения, которая оказывает значительное влияние на общественную, культурную и политическую жизнь страны, становится инициатором многих социальных преобразований.

Немаловажным является и формирование у студентов во время обучения в университете твердой гражданской позиции, чувства ответственности за будущее своей страны.

Различные виды туризма – спортивный, событийный, промышленный, экскурсионный и т. д. – позволяют сочетать познание окружающего мира с физической активностью, что очень значимо в аспекте здорового образа жизни [1, 2].

Путешествуя, студенты имеют уникальную возможность ознакомиться со знаковыми местами, связанными с ключевыми событиями и личностями в истории страны. Это формирует самосознание, национальную идентичность, чувство гордости за подвиг предшествующих поколений.

Туристические походы, велопробеги, экскурсионные поездки способствуют расширению спектра знаний о родной природе, культуре, развивают ответственность за сохранение наследия.

Цели работы: изучить интерес студенческой молодежи в сфере туризма, определив приоритетные направления; систематизировать предложения по развитию туризма в высших учебных заведениях на ближайшую перспективу.

Было проведено выборочное анкетирование студентов 1–4 курсов всех факультетов Белорусско-Российского университета в количестве 200 человек.

Обработка данных опроса позволила определить виды туризма, вызвавшие наибольшую заинтересованность студентов, а также наметить вектор его дальнейшего развития в университете.

Студентами были озвучены следующие предложения по расширению туристической деятельности в учебных заведениях с целью патриотического воспитания молодежи: создание туристических клубов, которые смогли бы аккумулировать всю работу в этой сфере; достаточное финансирование для закупки качественного туристического инвентаря; популяризация традиционных видов туризма; расширение географии экскурсий; развитие более современных направлений в связи с изменяющимися условиями жизни, таких

как экологический туризм с исследовательской работой, исторический с поисковой деятельностью; организация походов учебными группами разной категории сложности, а также создание эксклюзивных виртуальных экскурсий по родным местам.

Виды туризма, вызвавшие наибольший интерес у анкетированных, отражены в табл. 1.

Табл. 1. Приоритетные направления в сфере туризма у студентов

Вид туризма	Количество, чел.	Процент
Туристические походы:	157	78,5
пешие	83	41,5
водные	21	10,5
горные	15	7,5
лыжные	0	0
велосипедные	38	19
Посещение знаковых мест, памятников, мемориалов	200	100
Промышленный туризм	32	16
Посещение биосферных заповедников	115	57,5
Экскурсионные ознакомительные поездки	200	100

Анализ вышеизложенного позволяет сделать следующие выводы.

1. Туризм – во всех его проявлениях – все больше входит в сферу интересов современной молодежи и становится неотъемлемой частью ее динамичной жизни.

2. В настоящее время учебные заведения в развитии и популяризации туризма, как одного из мощных факторов патриотического воспитания молодого поколения, играют малозаметную и незначительную роль (возможно, из-за недостаточного финансирования этого рода деятельности).

3. Совмещение традиционных видов туризма с инновационными подходами в его дальнейшем развитии открывает еще большие возможности для патриотического воспитания студентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садовская, Л. А. Аспекты развития спорта в Белорусско-Российском университете / Л. А. Садовская // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 452–453.

2. Малышева, Е. А. Формирование ценностного отношения студенческой молодежи к здоровому образу жизни / Е. А. Малышева, Д. Н. Самуйлов, О. Н. Казачонок // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 26–27 апр. 2018 г. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2018. – С. 460–461.

УДК 374.7

РЕЛЕВАНТНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ НЕПРЕРЫВНОГО ОБУЧЕНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ ВЗРОСЛЫХ

С. Б. САМАРЦЕВ, С. О. КАМИНСКАЯ, К. С. САМАРЦЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Интернет и развитие искусственного интеллекта стимулировали популяризацию методов электронного, мобильного и смешанного обучения, включая непреднамеренное и основанное на взаимодействии с социумом. Многие приобретают знания, умения и навыки вне рамок формальных образовательных программ, предлагаемых образовательными учреждениями, например, просматривая видео в социальных сетях, читая записи в блогах или используя онлайн-платформы для обучения и др.

Обучение взрослых сегодня дополнено важнейшими опциями, связанными с цивилизационными и социальными трансформациями, с профессиональным и карьерным ростом. Новые технологии ориентированы на организацию образовательного процесса и принятие ключевых решений с учетом: когда и чему нужно учиться; какая проблематика заслуживает интереса и внимания; какие проекты непосредственно применимы в жизни или в работе; каким образом использовать профессиональный и жизненный опыт, стереотипы в деятельности и поведении в процессе обучения и обучение через опыт; как образование может стать способом решения реальных жизненных проблем; насколько сформирован приоритет личной мотивации, развито критическое мышление и умение учиться; какие процедуры, алгоритмы и стратегии обеспечат минимальные ресурсные затраты (времени, сил, денежных средств и пр.).

Технологические циклы системного управления развитием образовательных потребностей взрослых используют преимущественно интерактивные методики освоения содержания при минимуме формальных процедур контроля в условиях индивидуального и элективного подхода, включая автоматизацию многих задач и обязанностей (сложные вычисления, кодирование, графический дизайн или редактирование текста и т. п.), не связанных с обучением, что экономит время для приобретения новых знаний и компетенций по развитию логического мышления, аналитических способностей и социальных навыков решения проблем. Примерами эффективной поддержки обучения в различных аспектах образования являются: помощники по развитию индивидуальных знаний и навыков, например, в изучении языка, математики или других областях; чат-боты, которые поддерживают принятие решений, например выбор образовательного пути, или помогают пользователям исследовать и оценивать собственные предпочтения и возможности в обучении; рекомендательные системы, которые улучшают профилирование и выбор предложений обучения; автоматический перевод учебных материалов; разработка виртуальной реальности и обучения в ней, включая моделирование рабочей среды, инструментов, технологий и даже межличностного взаимодействия. Применение цифровых

технологий позволяет учитывать персонализированный опыт обучения, доступность и гибкость, степень вовлеченности, мотивацию и навыки, ориентированные на карьеру, а также благоприятствует административной эффективности образовательного процесса и поддержке педагогов.

Инструменты транскрипции и перевода на основе искусственного интеллекта значительно сокращают время создания контента для преподавателей в контексте образования взрослых, одновременно повышая доступность для обучающихся с различными потребностями. Технологии искусственного интеллекта сочетают в себе высокую точность с одновременной поддержкой нескольких языков и гибкими форматами вывода, включая транскрипты, субтитры и переводы.

Экономическая эффективность сохраняется важнейшим фактором при создании программ образования взрослых. Поэтому для их устойчивой реализации необходимы инструменты с прозрачным ценообразованием и образовательными скидками. Возможности интеграции с существующими системами управления обучением и рабочими процессами создания контента определяют долгосрочный успех в этой сфере. Однако не в полной мере решены проблемы конфиденциальности данных и этических норм, в значительной степени «цифровой темноты», т. е. отсутствия доступа к интернету, цифровой грамотности и кибербезопасности, чрезмерной зависимости от технологий, ценовых и инфраструктурных барьеров, контекстуальных, культурных и религиозных ограничений, а также сопротивления изменениям.

Чтобы задействовать преимущества цифровых технологий и одновременно решать связанные с ними проблемы, необходим мудрый, ориентированный на человека подход. При расширении внедрения первостепенное внимание должно уделяться прозрачности, этическим стандартам и безопасности данных. Также необходимо прилагать усилия по организации обучения цифровой грамотности и обеспечению инклюзивности, доступности и соответствия инструментов цифровизации контексту.

Не следует забывать об отсутствии у ряда категорий населения в силу различных причин доступа к интегрированной информационно-образовательной среде, включающей базы данных учебно-методических ресурсов образовательных учреждений и профессорско-преподавательского состава, что создает для них угрозу десоциализации.

В ближайшее время релевантность технологических решений станет преобразующим потенциалом для образования взрослых, предлагая персонализированные, доступные и ориентированные на карьеру возможности обучения. Однако к его внедрению следует подходить аккуратно, благоразумно, учитывая этические, инфраструктурные и педагогические проблемы.

Внедряя инклюзивные, прозрачные и ориентированные на обучающихся стратегии, образовательные учреждения могут гарантировать, что цифровые технологии станут достойным доверия союзником в расширении образовательных возможностей и повышении качества обучения взрослых.

УДК 796.011.2:378

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО КУРСА БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Д. Н. САМУЙЛОВ, В. Ф. ПИСАРЕНКО, М. В. ТАПОРЧИКОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

С изменениями всех сторон жизни изменились и требования к физической подготовленности человека, что привело к разработке нового положения о Государственном физкультурно-оздоровительном комплексе с новой нормативной программой. Нормативные требования существующей программы сложны для некоторых студентов.

Для увеличения заинтересованности обучающихся необходимо использовать разнообразные технологии и индивидуальный подход обучения, что способствует улучшению умственной работоспособности и успеваемости [1].

В 2024/2025 учебном году на первом курсе Белорусско-Российского университета обучалось 710 человек. Из них в исследовании принимали участие 435 юношей и 112 девушек. Остальные студенты были отнесены к специальной медицинской группе и участие в исследовании не принимали. Нами был проведен прием контрольных нормативов у студентов первого курса основного и подготовительного отделений по следующим упражнениям: общей физической подготовке (юноши: бег 100 м, бег 3000 м, подтягивание на высокой перекладине; девушки: бег 100 м, бег 1500 м, поднятие туловища из положения лежа на спине); специальной физической подготовке (юноши и девушки: прыжок в длину с места, наклон вперед, сгибание-разгибание рук в упоре лежа на полу).

Данные результатов приведены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты контрольных нормативов студентов первого курса

Первый курс	Общая физическая подготовка			Специальная физическая подготовка		
2024/2025 уч. год	Бег 100 м, с	Бег 3000 м, с	Подтягивание, раз	Прыжок в длину с места, см	Наклон вперед, см	Сгибание-разгибание рук в упоре лежа на полу, количество раз
Юноши	13,8	960	8,5	237	10	43
2024/2025 уч. год	Бег 100 м, с	Бег 1500 м, с	Поднимание туловища, раз	Прыжок в длину с места, см	Наклон вперед, см	Сгибание-разгибание рук в упоре лежа на полу, количество раз
Девушки	16,4	518	53	171	16	8

Анализ физической подготовленности студентов первого курса Белорусско-Российского университета выявил следующую закономерность: юноши в беге на 100 м, прыжках в длину с места, сгибании-разгибании рук в упоре лежа на полу

показали средние результаты; в беге на 3000 м, подтягивании на высокой перекладине, наклоне вперед из положения «сидя» – слабые; девушки поднимании туловища из положения лежа на спине, наклоне вперед из положения «сидя», прыжках в длину с места, беге на 100 м – средние результаты; в беге на 1500 м, сгибании-разгибании рук в упоре лежа на полу – слабые.

Анализ эффективности различных подходов к физическому воспитанию, направленных на развитие ключевых физических качеств, выявил их недостаточную результативность.

В условиях растущей конкуренции человеку необходимо с помощью физических упражнений и здорового образа жизни поддерживать оптимальную работоспособность [2]. Поэтому важнейшей задачей физического воспитания в учреждениях высшего образования является воспитание у студентов осознанного стремления к занятиям физической культурой и спортом с формированием соответствующих знаний, умений и навыков. Для этого необходимо продолжать работу над улучшением системы преподавания физической культуры в высших учебных заведениях, применять индивидуальный подход к выбору упражнений, которые обеспечат оптимальную двигательную активность и улучшат физическую подготовленность студентов для успешного выполнения образовательных программ [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тапорчикова, М. В.** Физическая культура и спорт: проблемы и современные пути решения / М. В. Тапорчикова, И. Н. Кузменко // Актуальные проблемы физической культуры, спорта и туризма: материалы XIX науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 80-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне, Уфа, 30–31 мая 2025 г. – Уфа : Уфим. ун-т, 2025. – С. 142–146.
2. **Самуйлов, Д. Н.** Инновационные технологии в физическом воспитании студентов / Д. Н. Самуйлов, В. Ф. Писаренко, И. Н. Кузменко // Научно-методическое обеспечение физического воспитания и спортивной подготовки студентов: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14–15 янв. 2025 г. – Мн. : БГУ, 2025. – С. 324–326.
3. **Кузменко, М. О.** Спортивные игры как основа здорового образа жизни обучающихся / М. О. Кузменко, Д. Н. Самуйлов, В. Ф. Писаренко // Культура движения, питания, тела и здоровья в современном обществе: сб. материалов Междунар. науч.-метод. конф., Гродно, 3–4 апр. 2025 г. – Гродно : ГрГМУ, 2025. – С. 350–354.

УДК 355.233.231.1:821.161.3

ФАРМІРАВАННЕ АСОБЫ НАВУЧЭНЦА Ё МЕЖАХ ВЫВУЧЭННЯ ДЫСЦЫПЛІН ФІЛАЛАГІЧНАГА ПРОФІЛЮ

А. В. ШАРАПАВА

Беларуска-Расійскі ўніверсітэт

Магілёў, Беларусь

У артыкуле 17 Кодэкса Рэспублікі Беларусь аб адукацыі пазначаны мэты і задачы выхавання ў сістэме адукацыі: «1. Мэтай выхавання з'яўляецца фарміраванне рознабакова развітой, маральна сталай, творчай асобы навучэнца. 2. Задачамі выхавання з'яўляюцца: 2.1. Фарміраванне грамадзянскасці, патрыятызму і нацыянальнай самасвядомасці на аснове дзяржаўнай ідэалогіі <...> » [1].

На занятках, а таксама ў пазааўдыторны час у межах вучэбных дысцыплін «Беларуская мова (прафесійная лексіка)», «Культура і літаратура Еўропы», «Руская мова і культура маўлення» рэалізуецца ўзаемадзеянне разнастайных метадаў і прыёмаў навучання, якія дапамагаюць фарміраваць і развіваць у навучэнцаў вызначаныя якасці. Да прыкладу можна ўзгадаць некаторыя з вынікаў падобнай дзейнасці.

У снежні 2025 г. у Магілёўскім абласным тэатры лялек адбыўся спецыяльны паказ: больш за 200 студэнтаў Беларуска-Расійскага ўніверсітэта наведалі спектакль «Дзівосныя авантуры паноў Кубліцкага ды Заблоцкага». Пасля прагляду навучэнцы па прапанаваным прыкладным плане, а таксама з дапамогай выдадзеных выкладчыкам дадатковых матэрыялаў напісалі творчыя работы (стварэнне іх прадугледжана праграмай дысцыпліны «Беларуская мова (прафесійная лексіка)») у форме рэцэнзіі на спектакль.

Пры гэтым студэнты звярнулі ўвагу на тое, што спектакль пастаўлены па п'есе ўраджэнца Магілёва Сяргея Кавалёва (у суаўтарстве з Пятром Васючэнкам). Па сваёй рытміцы і стылістыцы пастаноўка шмат увабрала ад беларускай батлейкі – беларускага народнага ляльнага тэатра.

У спектаклі «Дзівосныя авантуры паноў Кубліцкага ды Заблоцкага» перад маладымі гледачамі аўтары паставілі праблемнае пытанне: ісці шляхам гора-шляхціцаў ці абіраць іншае – працаваць, вучыцца, шукаць сваё месца ў жыцці. Навучэнцы, назіраючы за смешнай і разам з тым абсурднай сітуацыяй, калі выкананне панскіх жаданняў асэнсоўваецца як нешта празмернае і нелагічнае, зрабілі адпаведныя і правільныя высновы.

У лістападзе 2025 г. студэнты ІІІ курса напрамку падрыхтоўкі «Замежнае рэгіёназнаўства» пабывалі ў Свята-Мікольскім жаночым манастыры. Экскурсію правёў дырэктар духоўна-асветніцкага цэнтру імя свяціцеля Георгія (Каніскага) Магілёўскай епархіі кандыдат філалагічных навук С. Э. Сомай – іерэй манастыра.

Экскурсія праводзілася ў межах вучэбнай дысцыпліны «Культура і літаратура Еўропы». Студэнты ўбачылі выдатны помнік беларускай барочнай архітэктуры, даведаліся пра няпростую гісторыю манастыра ў кантэксце

еўрапейскіх рухаў Рэфармацыі і Контррэфармацыі, шматлікіх войнаў і рэвалюцый, а таксама пра яго адраджэнне ў канцы XX ст. Падчас экскурсіі прагучалі ода Г. Р. Дзяржавіна «Бог» («О ты, пространством бесконечный...»), фрагменты з «Боскай камедыі» Дантэ і іншыя лірычныя творы.

Такія сустрэчы дапамагаюць студэнтам глыбей разумець узаемасувязь беларускай культуры і літаратуры з агульнаеўрапейскімі тэндэнцыямі, а яшчэ выходзяць у іх пачуццё гонару за сваю родную краіну.

Правільнае патрыятычнае выхаванне маладога чалавека фарміруе любоў і павагу да роднай зямлі, сваіх суайчыннікаў, нацыянальнай спадчыны і сучасных дасягненняў. Але не менш важна развіць у навучэнцаў здольнасці і ўменні належным чынам прэзентаваць сваю айчыну перад прадстаўнікамі іншых краін. Таму адным з напрамкаў дзейнасці з'яўляюцца асветніцкія тэлемасты, што праводзяцца з міжнародным удзелам.

У лістападзе 2025 г. у Цэнтры рускай мовы і літаратуры «Пушкінскі цэнтр» адбыўся асветніцкі тэлемаст «Расія – Беларусь – Казахстан: дыялог дружбы, дыялог культур» на тэму «Нацыянальная ежа: напоі, раслінныя і мясныя стравы». Беларускі бок прадстаўлялі студэнты-першакурснікі напрамку падрыхтоўкі «Замежнае рэгіёназнаўства».

Выступленні студэнтаў з маляўнічымі прэзентацыямі былі пранікнёным у мінулае краіны і адначасова адлюстраваннем сучаснай нацыянальнай кулінарыі. Кожная нацыянальная каманда паказала ўласны стыль. Беларусы, напрыклад, надалі вялікую ўвагу падрабязным рэцэптам і тэхналогіі прыгатавання традыцыйных страў: дранікаў і кулагі, зраз і верашчакі, бярозавага соку і маслёнкі.

Пасля прадстаўлення нацыянальных кухняў прайшла віктарына пра напоі, стравы і кулінарныя сімвалы. Беларускія студэнты занялі другое месца, зусім крыху саступіўшы прадстаўнікам РУДН.

Падобнага тыпу мерапрыемствы даюць магчымасць рэалізаваць як задачы вучэбнай праграмы па дысцыпліне «Руская мова і культура маўлення» (складаць тэксты на вызначаныя тэмы, рабіць прэзентацыі, рыхтаваць публічнае выступленне і ўзаемадзейнічаць з аўдыторыяй і інш.), так і папулярызаваць айчынную культуру праз разнастайныя культурныя коды.

Неабходна адзначыць, што працэс фарміравання асобы навучэнца павінен быць сістэмным, бесперапынным і цесна звязаным з яго вучэбнай дзейнасцю. Менавіта ў гэтым выпадку ён будзе найбольш прадуктыўным.

СПІС ВЫКАРЫСТАНАЙ ЛІТАРАТУРЫ

1. Кодэкс Рэспублікі Беларусь аб адукацыі: 13 студзеня 2011 г. № 243-З: прыняты Палатай прадстаўнікоў 2 снежня 2010 г.: адобр. Саветам Рэсп. 22 снежня 2010 г.: у рэд. Закона Рэсп. Беларусь ад 9 снежня 2025 г. № 110-З // Нацыянальны прававы Інтэрнэт-партал Рэспублікі Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk1100243> (дата звароту: 13.01.2026).

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Материалы Международной
научно-технической конференции
(Могилев, 23–24 апреля 2026 года)

**Авторы несут персональную ответственность
за содержание тезисов докладов**

Корректоры *И. В. Голубцова, А. А. Подошевка*

Компьютерный дизайн *М. М. Дударева, Е. В. Ковалевская,
Н. П. Полевничая*

Подписано в печать 16.04.2026. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 24,88. Уч.-изд. л. 26,63. Тираж 30 экз. Заказ № 291.

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.