

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

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Материалы Международной
научно-технической конференции
молодых ученых
(Могилев, 22–23 октября 2026 года)

Могилев
«Белорусско-Российский университет»
2026

УДК 621.01:531:625.08:69:62-82«324»(0.43.2)

ББК 34.5:22.21:39.3:38:31.291

Н72

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. 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. *М. А. Рабыко*; канд. техн. наук, доц. *С. С. Сергеев*; д-р техн. наук, доц. *А. И. Якимов*; канд. техн. наук, доц. *Д. И. Якубович*; *И. В. Брискина* (отв. секретарь)

Н72

Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 22–23 окт. 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. – 285 с. : ил.

ISBN 978-985-492-331-4.

Рассмотрены вопросы разработки новых технологических процессов, оборудования и их автоматизации, проектирования, производства и эксплуатации транспортных средств, энерго- и ресурсосберегающих технологий строительства. Изложены новые методы создания автоматизированных систем расчета и проектирования перспективных конструкций механической передачи. Приведены результаты исследований в области высокоэффективных технологий и машин сварочного производства, информационно-измерительной техники для контроля и диагностики. Рассмотрены способы повышения эффективности субъектов хозяйствования в условиях трансформации экономики.

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

УДК 621.01:531:625.08:69:62-82«324»(0.43.2)

ББК 34.5:22.21:39.3:38:31.291

ISBN 978-985-492-331-4

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

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарное заседание.....	12
МИЩЕНКО А. С., МИЩЕНКО И. И. Интеллектуальная система поддержки врачебных решений с адаптивной предобработкой рентгенограмм.....	12
СЕРГЕЙЧИК А. О., ЧАПЛЫГИН Г. Ю., ЯКОВЛЕВ К. А. Разработка высокоэффективных ресурсосберегающих процессов контактной рельефной сварки с контролем по перемещению подвижного электрода сварочной машины.....	17
СЫСОЕВ Н. А., НЕДЮХИН В. А. Программная реализация декомпозиции производства на относительно обособленные комплексы оборудования.....	22
 Секция 1. Технология и оборудование машиностроения, автоматизация технологических процессов и производств, мехатроника и робототехника.....	26
БЕЛЯКОВИЧ В. А., СУХОЦКИЙ А. С., КРАВЧЕНЯ М. И., АРЦЫМЕНЯ В. С. Получение композиционных керамических порошков способом конгломерирования.....	26
БОГДАН Д. Ю., САВЧЕНКО А. Л., ЛОВШЕНКО В. М., СУХОДОЛЬСКАЯ А. А. Определение температуры фазового перехода изделий из нитинола по результатам механических испытаний.....	27
ГАЛЮЖИН М. А., СТАЦЕНКО А. А., ПУСКОВ О. М., КАСТРИЦА Е. С. Геометрический синтез зубчатого зацепления, нечувствительного к смещению осей вращения колес.....	29
ГОТТО И. И. Циклоидально-цевочная планетарная передача с двухвенцовыми сателлитами и разделенным потоком мощности.....	30
ЗЫЛЬ С. А. Сравнительный структурный анализ двух схем циклоидально-цевочной планетарной передачи.....	31
КАЛЬНОЙ А. С. Факторы, влияющие на безопасную работу на круглошлифовальном станке 3А161.....	33
КОРНЕЕВ Н. С., КОРОВКИНА А. Д. Кинематическая схема мультипликатора с многопоточной передачей крутящего момента.....	35
КОРОВКИНА А. Д., ХАТЕТОВСКАЯ М. С. Повышение энергоэффективности мультипликаторов за счет оптимизации контактных нагрузок.....	36
КУРАШОВ А. А., СВИРЕПА Н. Д. Отличительные особенности методов ППД при обработке заготовок из алюминия и бронзы.....	37
КУЦЕПОЛЕНКО А. В. Балансировка шкива ограничителя скорости при нормальном и аварийном режимах работы лифта.....	38
ЛЯХОВЕЦКИЙ А. С. Обзор технологий доводки и полирования плоских поверхностей и анализ направлений их развития.....	40

НВЕ ОБОНО НЕСТОР. К задаче управления показателями качества гальванических покрытий.....	41
ОЛЕНЦЕВИЧ А. С., СЕЛИВАНОВА Ю. В., КАСТРИЦА А. С., БЕССОНОВ И. И. Влияние температуры стенок камеры механореактора на размер частиц порошков высоколегированных сталей.....	43
ПАХОМОВ А. М. К задаче календарного планирования в дискретных производственных системах.....	44
ПЛАКСИН Д. С., ВАН Х. Технологическое использование оборудования при производстве функциональных кисломолочных продуктов.....	46
ПОДБЕРЕЗСКИЙ А. В., АВЛАС А. Н. Методика моделирования сборки аппаратов высокого давления.....	48
РАБЫКО М. А., ЮМАНОВА А. Н., СЕНИЦКИЙ В. А. Влияние комплексного воздействия тлеющего разряда и магнитного поля на микронапряжения в поверхностном слое изделий из быстрорежущих сталей.....	50
ТАРАДЕЙКО М. В. Исследования шумовых характеристик процесса импульсно-ударного упрочнения валов.....	52
ШИШОВА О. Н. Выбор рациональной технологии обработки отверстия как задача структурно-параметрической оптимизации.....	55
Секция 2. Технологии получения и обработки новых материалов и покрытий	57
АВЛАС А. Н., ПУЗАНОВ А. С. Программный комплекс для определения эффективного модуля Юнга композиционных порошковых материалов.....	57
АЛЛАХВЕРДИЕВА Х. В., КАХРАМАНОВ Н. Т., ХУДАВЕРДИЕВ Н. М., АБДАЛОВА С. Р., ЮСИФОВА З. Ф., АХМЕДОВА А. М., СЕИДОВА Г. М. Физико-механические свойства полимерных композитов, наполненных кварцевым песком.....	59
АЛЛАХВЕРДИЕВА Х. В., КАХРАМАНОВ Н. Т., ХУДАВЕРДИЕВ Н. М., ЛАЛАЕВА Р. Н., ХАМЕДОВА Л. Х., ГАСАНОВА А. А., БАГИРОВА У. В. Влияние количества и размера частиц кварцевого песка на текучесть композитов.....	61
АН ЙИН, ДОБРОВОЛЬСКИЙ А. Д. Алюминиевые бронзы конструкционного назначения: пути повышения свойств.....	63
БЕКЕТОВА Я. И. Исследование влияния связующих на физико-механические свойства муллитовых огнеупоров.....	65
БОГДАНОВА Е. А. Неплатиновый катализатор разложения топлива на основе динитрамида аммония.....	68
БРУСНИЦЫН И. Е. Влияние дигидрофосфата цинка на огнеупоры алюмосиликатного состава.....	70
БЫКОВ А. А. Разработка технологии получения андалузитовых изделий для стекольной промышленности.....	71

ВЕРТИНСКИЙ Л. С. Исследование структуры модифицированных слоев на стали 40Х, сформированных методом оксинитрирования.....	73
ГРЕБЕНЩИКОВ О. Р., ГРЕБЕНЩИКОВА М. М., ГЕРАСИМОВ А. В. Теоретическая оценка условий модификации поверхности многослойных наноструктурированных покрытий на основе нитридов гафния и титана потоком низкоэнергетических ионов.....	75
ДЕКТЯРЕВ С. В., ИВАНОВА А. И., ШИМУК Р. Д. Схема формирования пучков ионов металлов высокой плотности мощности с использованием баллистической системы фокусировки.....	76
ИВАНОВА А. И., БЛЕЙХЕР Г. А., ШИМУК Р. Д. Влияние параметров высокоинтенсивного ионного облучения на температурные поля сплава ВТ6.....	78
КАЗАКОВА Х. А. Интеграция методов растительной генетики в технологии получения наноцеллюлозных композитов промышленного назначения.....	80
КИМ К. Б., ЧЕРНЕНКО С. С., ГРЕЧКИНА М. В., ЛЕНЬШИН А. С. Изменение параметров рельефа кристаллического и пористого кремния после нанесения серебра.....	82
КОЗЛОВА О. Д. Микронаноструктурированные композитные покрытия на губчатом титане.....	83
КРИВОНОГОВА Е. Г., ЕВМЕНЕНКО Д. И. Выбор материала и расчет защитного ограждения для станка 3А161.....	85
КРИВОНОГОВА Е. Г., ШЕВЦОВ В. В. Оценка влияния различных схем нагружения на результаты конечно-элементного анализа зубчатой передачи.....	87
КУЗИН Е. Н. Получение диоксида титана из диопсидсодержащих отходов обогащения титаномагнетитов.....	89
КУЛИКОВ А. Л. О механизме кристаллизации поли[бис(2-метил-1Н-имидазолато- K^2N^1 , N^3)кобальта(II)] (ZIF-67) в водной среде.....	90
ЛУЩИК П. Е., МАЦИНОВА Д. И. Материалы медицинского назначения для хирургических имплантатов на основе железа и кобальта.....	92
МАЛЬЦЕВ А. А. Разработка периклазовых набивных масс для футеровки индукционных печей.....	94
МИННЕАХМЕТОВ Д. И., МИЧНИК В. С., САМИГУЛЛИНА А. И. Исследование поверхности пленок полианилина на алюминиевой подложке методом атомно-силовой микроскопии.....	96
МИШИН Д. А. Моделирование одноосного статического сжатия гироидной сетки из титанового сплава, наполненного корундом Al_2O_3	98
МУСТАФАЕВА Ф. А., КАХРАМАНОВ Н. Т., БАГИРОВА У. В. Микроструктурная оценка дисперсии $Al(OH)_3$ и бентонита в огнестойком рандом полипропиленовом композите.....	100
МУСТАФАЕВА Ф. А., МУСТАФАЕВ Э. А., ОРУДЖОВА А. Т., НАСИРОВА И. М. Прочность на растяжение ЛПЭНП, армированного мукой из микрогранул кукурузной шелухи: роль компатибилизатора.....	102

МУСТАФАЕВА Ф. А., СУЛЕЙМАНЛЫ Ф. С., МУСТАФАЕВ М. М., ХУДИЕВА У. А. Микрокомпозиты рандом полипропилена с кукурузной шелухой: влияние компатибилизатора на прочность.....	104
НОВИЦКАЯ В. И., КУДЛАШ А. Н. Модифицирование составов термостойких материалов на основе полых микросфер и фосфатного связующего.....	106
ПРОТАСЕВИЧ А. А. Эффективность печати ABS-пластика на примере некоторых 3D-принтеров.....	108
ПУЗАНОВ Н. С., КИМ К. Б., ИГУМНОВ М. С., НЕЧЕСОВА Ю. М. Программный комплекс SorbLab для анализа кинетики сорбции.....	109
ПУТРОВ А. О. Разработка ресурсосберегающей технологии периклазовых торкрет-масс для ремонта сталеплавильных агрегатов.....	111
ТРУНОВ Д. В., ТОМАШПОЛЬСКАЯ А. Ю. Сорбенты со слоистой и каркасной кристаллической структурой для извлечения Sr и Y из карбонатной среды.....	113
ФЕДОРОВ В. С., НАСЫРБАЕВ А. Плазмодинамический синтез карбидов переходных металлов.....	115
ФЕДОРОВ В. С., НАСЫРБАЕВ А. Плазмодинамический синтез углеродных наноструктур как электрокатализаторов реакции выделения водорода.....	116
ХАМИДУЛЛИН С. В. Изучение свойств огнеупорных образцов периклазофорстеритового состава.....	118
ЧУПРОВ М. В. Исследование перспективных нанокомпозитных износостойких PVD-покрытий.....	120
ШЕВЦОВ В. В. Анализ технологических методов и материалов, применяемых для изготовления зубчатой передачи привода подачи тонера МФУ.....	122
ЩЕПЕТКИН М. В. Разработка технологии производства полусухим способом корундовых теплоизоляционных изделий.....	124
ЮДАХИНА С. В. Влияние минерального состава каолина Просяновского месторождения на реологические свойства шликера.....	126
ЯКОВЛЕВА М. В., ЗИЯТДИНОВА М. З. Ионнообменное упрочнение листового стекла, предназначенного для локальной лазерной модификации.....	128
Секция 3. Сварка, родственные процессы и технологии	130
БЕЛОВ Б. А. Определение эффективного КПД сварочной дуги на постоянном и переменном токе.....	130
ДВОРЕЦКИЙ Л. А. Лазерная сварка чугуна в среде кислорода.....	131
ЗЕЛИНСКИЙ А. Р., ЛОПАТИНА А. А., ЮМАНОВ Д. Н. Влияние подогрева области сварного соединения при контактной стыковой сварке.....	132
КАПЫШЕВ В. В. Лазерная сварка-пайка меди.....	133
КОРОТЕЕВА А. А. Особенности модификации защитной газовой среды фторсодержащими компонентами при дуговой сварке.....	134

КУДИНОВ Е. А., ШАПОВАЛОВ А. И. Влияние охлаждения на температуру электрода при механизированной электроискровой обработке.....	135
НИКОЛАЕВ А. С. Влияние состава защитного газа на ударную вязкость при двухдуговой импульсной сварке трубной стали.....	137
СЕРДЮКОВА К. Н., КЛИМЕНКОВА А. В. Аддитивный синтез меди на базе дуговых технологий (WAAM).....	138
СЫРОМЯТНИКОВ А. Д. Прочность нахлесточных соединений высокопрочного композита при индукционной сварке.....	139
ТИШКОВА Я. И. Функционирование интегрированного метода оценки рисков HAZOP и FMEA в промышленности (на примере газокислородной резки).....	140
ЧАПЛЫГИН Г. Ю., ЯКОВЛЕВ К. А., СЕРГЕЙЧИК А. О. Контроль усилия сжатия в процессе контактной сварки с использованием тензометрического метода измерения с помощью промышленного тензоусилителя АТ5.....	143
ЧИЖ А. И., ЯКУШЕВ Я. С. Анализ осциллограмм процесса дуговой наплавки в трехкомпонентной защитной газовой среде.....	144
ЮМАНОВ Д. Н., ЛОПАТИНА А. А., ЗЕЛИНСКИЙ А. Р. О влиянии скорости разогрева при действии тока импульса подогрева при контактной рельефной сварке.....	145
ЯКОВЛЕВ К. А., ЧАПЛЫГИН Г. Ю., СЕРГЕЙЧИК А. О. Металлографические исследования соединений типа «пластина + втулка», полученных контактной рельефной сваркой с адаптивным регулированием мощности.....	146
Секция 4. Инновации в строительстве, наземные транспортные и технологические машины и комплексы	148
ДМИТРИЕНКО А. А. Горелки испарительного типа: аспекты воспламенения топлива при запуске.....	148
МЕЛЬЯНЦОВА И. И. Закономерности микротрещинообразования керамзитобетона при кратковременном нагружении.....	150
НЕМЧЕНКО И. В. Кинетика структурообразования цементных композитов, модифицированных трепелом.....	152
НЕЧАЙ А. А. Оптимизация и цифровизации строительных процессов с помощью QR-кода.....	153
ОДИНЦОВ К. А., СЕНТЯЙ А. А. Сравнительный анализ использования типовых строительных материалов и их более экологичных аналогов.....	155
ОХВАТ М. М. Новые технологии в строительстве.....	157
ТАХАНОВА Г. Ж., КАЗАГАЧЕВ В. Н. Внедрение телеметрических систем и IoT-платформ в управление парком строительной техники в Казахстане.....	159

ТАХАНОВА Г. Ж., КАЗАГАЧЕВ В. Н. Перспективы электрификации строительной техники в условиях климата и инфраструктуры Казахстана.....	161
УЛЬЯНОВ М. Р. Инновационные технологии в области эксплуатации транспортных средств.....	163
Секция 5. Информационные технологии, автоматизация и контроль качества.....	165
АЛЕКСЕЙКОВ М. В. Научное сравнение патологии и нормы при выявлении остеохондроза поясничного отдела позвоночника.....	165
АЛЕКСЕЙКОВ М. В. О применении анализа чувствительности для ранней диагностики остеохондроза	167
АРХИПОВ А. А., ДУДИН М. А., МАКСИМОВ И. И. Иерархическая видеоклассификация небезопасных производственных ситуаций.....	169
БАЗУЕВ А. С., НОВИКОВА В. И. Экологический мониторинг ПФАС с использованием машинного обучения.....	171
БЕЛЯСОВ Г. С., ДАНИЛЕНКО А. С. Диагностирование отита при помощи модели машинного обучения на основе костно-воздушного интервала и типа тимпанограммы.....	173
БОЖИЙ А. А., ТЕСЕЛКИН Д. В., ДУДИН М. А. Влияние скорости движения беговой дорожки на симметрию походки.....	175
БОЖИЙ А. А., ШИЛЬЦЫН М. А., ПОГОНИНА Д. Е. Алгоритмы классификации походки на основе данных MEDIAPIPE.....	177
ВЕТРОВ Д. А. Анализ рисков применения нейросетевых технологий сотрудниками при работе с конфиденциальной информацией.....	179
ВЕТРОВ Д. А. Роль оценки накладных расходов памяти и CPU при интеграции нейросетевых моделей семейства YOLO.....	180
ВОРОБЬЕВА В. Э. Алгоритм оценки спектральной плотности мощности ветровой помехи в аудиосигналах.....	181
ЕВСТИГНЕЕВА Е. П., ДОЛГОВ Я. В. Таблетница с голосовым сопровождением для лиц с нарушением зрения.....	183
ЛЮБАВИНА М. А., ФИЛИППОВ А. Д. Интеллектуальная платформа мониторинга сна и физического развития младенца в домашних условиях.....	185
МАКСИМОВ И. И., ЛОПАТКО А. С. Автоматизированный сбор и анализ данных индивидуальных планов из Excel-файлов.....	187
МАЛАНКА С. С. Постановка задачи интеллектуальной поддержки управления задачами межфункциональных бизнес-процессов.....	189
МАСЛОВА К. С. Разработка интеллектуальных систем управления экзоскелетами на основе машинного обучения.....	191
МИЩЕНКО А. С., МИЩЕНКО И. И. Архитектурная модернизация приложения GESTOTALK.....	192
НИКИТНИКОВ Ю. В., АВЕРЬЯНОВА А. А., БОЖИЙ А. А. Фильтрация артефактных циклов при анализе походки по траектории центра давления.....	194

ПАНЬКИН Д. В. Проблемы обеспечения качества электрокардиографических данных при обучении моделей машинного обучения.....	196
ПАТУТИН К. И., НИКИТИНА А. С., МЕРКУРЬЕВ Я. В. Х. Двухуровневая классификация информационных ресурсов человеко-машинного интерфейса задач реабилитационного тренажера.....	198
ПАТУТИН К. И., НИКИТИНА А. С., ПОГОНИНА Д. Е. Структура человеко-машинного интерфейса управления реабилитационного тренажера.....	200
ПЛОТНИКОВ А. А. Согласование гипотез агентов и фильтрация ложных рекомендаций при анализе телеметрии.....	202
СВОБОДИН Д. В. Контроль и прогнозирование выработки солнечных панелей с применением ИИ, датчиков и веб-интерфейса.....	203
СВОБОДИН Д. В. Роль веб-интерфейса в снижении влияния человеческого фактора при диспетчерском управлении энергообъектами.....	205
СКУЛЬСКИЙ Ю. Н., МЕДВЕДЕВА Ю. Ю. Интеллектуальный агент для управления LMS MOODLE на основе большой языковой модели.....	207
ТИШАКОВ В. С. Интеллектуальный плагин к LMS для контекстной поддержки обучающихся.....	209
ХАРЛАМОВ П. С. Композиция полиномиальных охватов при вычислениях с нечеткими числами.....	210
ХАРЛАМОВ П. С. LU-параметрическое представление как основа устойчивых операций нечеткой арифметики.....	211
ХАРЛАМОВ П. С. Совместные распределения возможностей для рекуррентных нечетких вычислений.....	212
ХАРЛАМОВА О. Е. Идентификация каузального эффекта в байесовских моделях поддержки принятия решений.....	213
ХАРЛАМОВА О. Е. Нечеткое представление интервенционного эффекта в интеллектуальных системах поддержки принятия решений.....	214
ХАРЛАМОВА О. Е. Учет временного порядка при формировании множества корректировок в каузальных байесовских сетях.....	215
ЧЕРНОВА Е. А. Влияние формы функций принадлежности на вычислительное переоценивание.....	216
ЧЕРНОВА Е. А. Восстановление вложенности α -сечений при независимом уровне вычисления.....	217
ЧЕРНОВА Е. А. Неопределенность второго рода при анализе социкиберфизических систем (на примере умного города).....	218
ШАКИРОВ А. Р. Автоматизация оптической дефектоскопии методом лазерного ножа на основе глубокого обучения.....	219
ШЕМЯКОВА С. Н., ПЕТУШКОВ В. А. Разработка веб-приложения, имитирующего работу разработчика программного обеспечения.....	221
ШЕМЯКОВА С. Н., СИКОРИН С. С. Разработка веб-платформы для оценки компетенций бизнес-аналитика с применением больших языковых моделей.....	223

ШЕМЯКОВА С. Н., ТЕРЕШКОВ А. Д. Разработка веб-приложения оптимизации школьного меню на основе эволюционного моделирования.....	225
ШНИП Д. В. К вопросу верификации тепловых моделей оборудования сельскохозяйственного применения.....	227
Секция 6. Инновационная экономика и гуманитарное образование в развитии общества	229
АБАКУМОВ Р. Г. Инновационно-технологический потенциал воспроизводства основных средств как фактор устойчивого развития предприятия.....	229
АБРАМОВИЧ М. С. Данные бухгалтерского учета как информационная база SWOT-анализа коммерческой организации.....	231
АВЧИННИКОВА А. И. Обоснование выбора поставщика в электроэнергетике на основе концепции совокупной стоимости владения.....	233
АНИКИН Д. В. Трансфер технологий между университетами и бизнесом.....	235
БИКМАЕВА А. Д. Технологическая трансформация промышленности и специализации региона: ставка на высокотехнологичные отрасли.....	237
БЛИННИКОВА А. В. Проблемы формирования доходов бюджета Могилевской области и пути их решения.....	239
ГОЛУБ Д. М. Исследование факторов конкурентоспособности и эффективности деятельности ОАО «Ольса».....	241
ГОЛУБ Д. М., АГОРОДНИКОВА У. Е. Разработка контент-плана как фактор роста конкурентоспособности ОАО «Ольса».....	243
ДОБРЫНИН В. Н., САЛОВ А. Н., ТИМОНИНА Л. С., КОНДРАШОВА Е. С., КОЗЛОВ Н. Э. Разработка обобщенной математической модели логистико-технологической системы.....	245
ДРУГАЧЕНКО А. В. Место и роль автомобильного транспорта в межрегиональных перевозках в Республике Беларусь.....	247
ЖИВЕЛЮК К. И. Управление финансовым состоянием в системе экономической безопасности организации.....	249
ЖУКОВА С. В. Стратегия обеспечения финансового уровня безопасности организации: мониторинг и управление.....	251
КАЗАРЯН М. А. Использование событийного маркетинга как инструмента привлечения покупателей в ОАО «Универмаг «Центральный».....	253
КАЗАРЯН М. А. Оптимизация распределения торговых площадей розничного предприятия на основе анализа покупательского поведения.....	255
КЛИМАСЬ Т. Б. Оценка управленческих решений в сфере мотивации персонала.....	257

КОЗЛОВА Д. А. Интернет-торговля как инструмент диверсификации каналов сбыта промышленного предприятия.....	259
КОНДРАТКОВА А. К. Проблемы подготовки специалистов промышленного сектора в условиях генеративного искусственного интеллекта.....	261
КРАСНИКОВА Е. А. Влияние послепродажного обслуживания и сервиса на маркетинговые результаты ОАО «Зенит».....	263
КРАСНИКОВА Е. А. Оценка и пути повышения конкурентоспособности светодиодной продукции ОАО «Зенит».....	265
ЛУНЁВА В. В. Инновационный подход к управлению предпринимательскими рисками в системе обеспечения экономической безопасности предприятия.....	267
НАМЕСТНИКОВ А. А. Сквозная трассировка данных в архитектурных моделях системы планирования отгрузок химической продукции.....	269
ПРОКОПЕНКО Т. А., ЖИВЕЛЮК К. И. Проект модели управления взаимоотношениями с клиентами в системе экономической безопасности ОДО «Технолог-М».....	271
ПРОЛЕЙЧИК В. С. Системно-целевая модель управления затратами предприятия на основе применения инструментов оперативного и стратегического анализа.....	273
РОЗЯЕВ Д. А. Инновационные бизнес-модели в секторе услуг.....	275
РОМАНОВА Е. В. Воздушный транспорт – особое место и роль в транспортной системе мира.....	277
САКОВИЧ М. Д. Инструменты повышения эффективности управления денежными потоками в учреждении высшего образования.....	279
ЦЫМБАРЕВИЧ Г. М., ПРОЛЕЙЧИК В. С. Инвестиционно-ориентированное управление финансовым состоянием организации.....	281
ШУПЛЯКОВА Т. А. Автомобильный транспорт – особое место и роль в международных перевозках.....	283

УДК 004.89

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ С АДАПТИВНОЙ ПРЕДОБРАБОТКОЙ РЕНТГЕНОГРАММ

А. С. МИЩЕНКО, И. И. МИЩЕНКО

Научный руководитель А. Е. МИСНИК, канд. техн. наук
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Диагностика комплексных патологий опорно-двигательного аппарата, в частности Hip-Spine синдрома, остаётся одной из наиболее сложных задач современной травматологии и ортопедии. Под данным термином понимается клиническое состояние, при котором одновременно поражаются тазобедренный сустав и поясничный отдел позвоночника, причём болевые проявления взаимно маскируют друг друга: дегенеративное разрушение тазобедренного сустава способно имитировать симптомы дегенеративных изменений позвоночного столба и наоборот. Подобная двойственность клинической картины систематически приводит к ошибкам дифференциальной диагностики и, как следствие, к некорректному назначению терапии.

Основным инструментом первичной визуализации при подозрении на Hip-Spine синдром по-прежнему служит рентгенография. Несмотря на широкую доступность, низкую стоимость и относительно малую лучевую нагрузку, рентгеновские снимки обладают рядом существенных ограничений: неравномерная экспозиция, вызванная различиями в толщине и плотности тканей на пути луча; шумы, обусловленные квантовой природой излучения и электроникой детектора; артефакты движения пациента во время съёмки; ограниченная контрастность костных структур на фоне мягких тканей; принципиально двумерная природа изображения, при которой трёхмерные анатомические образования проецируются в одну плоскость. Остро проблема качества проявляется при использовании мобильных рентген-аппаратов или устаревшего оборудования, не оснащённого цифровыми системами коррекции. Перечисленные факторы негативно влияют не только на интерпретацию врача-рентгенолога, но и на эффективность алгоритмов искусственного интеллекта: современные архитектуры глубокого обучения, такие как YOLO и U-Net, демонстрируют снижение точности распознавания на 20 %...40 % при работе с низкокачественными изображениями [1].

Существующие подходы к решению данной проблемы можно условно разделить на три группы. Первая группа объединяет классические методы предобработки, включающие адаптивную гистограммную эквализацию с ограничением контраста, известную как CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization), медианную фильтрацию и гамма-коррекцию. Под гистограммной эквализацией понимается процедура перераспределения значений яркости пикселей таким образом, чтобы гистограмма изображения, т. е. график частоты встречаемости каждого уровня яркости, занимала весь доступный динамический диапазон, тем самым повышая визуальную контрастность.

Приставка «адаптивная» означает, что операция выполняется не для всего снимка целиком, а для небольших локальных окон, что позволяет усиливать детали в затемнённых областях, не перенасыщая при этом светлые участки. Ограничение контраста в данном контексте представляет собой пороговое значение, выше которого усиление подавляется, что препятствует чрезмерному усилению шума. Медианная фильтрация заключается в замене значения каждого пикселя на медиану, т. е. срединное значение яркости в заданной окрестности, что эффективно подавляет импульсные выбросы, не размывая при этом резкие границы. Гамма-коррекция представляет собой нелинейное преобразование яркости по степенной функции, позволяющее скорректировать общую экспозицию снимка без изменения его локальной структуры. Несмотря на универсальность данных методов, их применение в условиях высокого разнообразия входных данных оказывается неэффективным: различия в оборудовании, позиционировании пациента и параметрах экспозиции требуют индивидуальной настройки, что невозможно в рамках фиксированного конвейера обработки. Вторая группа включает монолитные нейросетевые модели, применяемые напрямую к необработанным снимкам без предварительной подготовки. Такие системы работают удовлетворительно только на высококачественных данных, а при обработке архивных снимков накапливают ошибки на каждом этапе анализа. Третья группа охватывает ансамблевые методы без централизованного управления, которые хотя и повышают устойчивость к входным возмущениям, оказываются вычислительно избыточными, поскольку активируют все подмодули независимо от реальных потребностей конкретного изображения.

Учитывая перечисленные ограничения, нами предложен иной подход, основанный на интеллектуальной системе поддержки принятия врачебных решений с адаптивной предварительной обработкой. Основным отличием от существующих решений является динамическое формирование цепочки обработки для каждого снимка под управлением центральной супервайзер-сети на базе модифицированной архитектуры ResNet-50. Супервайзер-сеть в контексте данной работы выполняет роль управляющего контроллера: она анализирует входное изображение и формирует маску активации – набор из пяти числовых весов, каждый из которых определяет степень необходимости задействования соответствующего специализированного подмодуля. Первый подмодуль осуществляет коррекцию яркости с генерацией карты освещённости, второй выполняет адаптивное усиление контраста, третий реализует двухэтапное шумоподавление, четвёртый обеспечивает геометрическую коррекцию, а пятый нормализует физический масштаб пикселей к единому стандарту [2]. На рис. 1 представлена блок-схема модуля предварительной обработки рентгеновских снимков.

Помимо индивидуализированной обработки каждого снимка, в систему внедрён механизм раннего завершения: если супервайзер оценивает качество изображения как достаточное, обработка прерывается, что сокращает среднее время анализа до 0,8 с. Общая логика построения системы реализована по модульному микросервисному принципу, при котором каждый функцио-

нальный блок представляет собой независимый программный сервис с собственным интерфейсом взаимодействия, что обеспечивает масштабируемость и возможность поэтапного внедрения в клиническую практику.

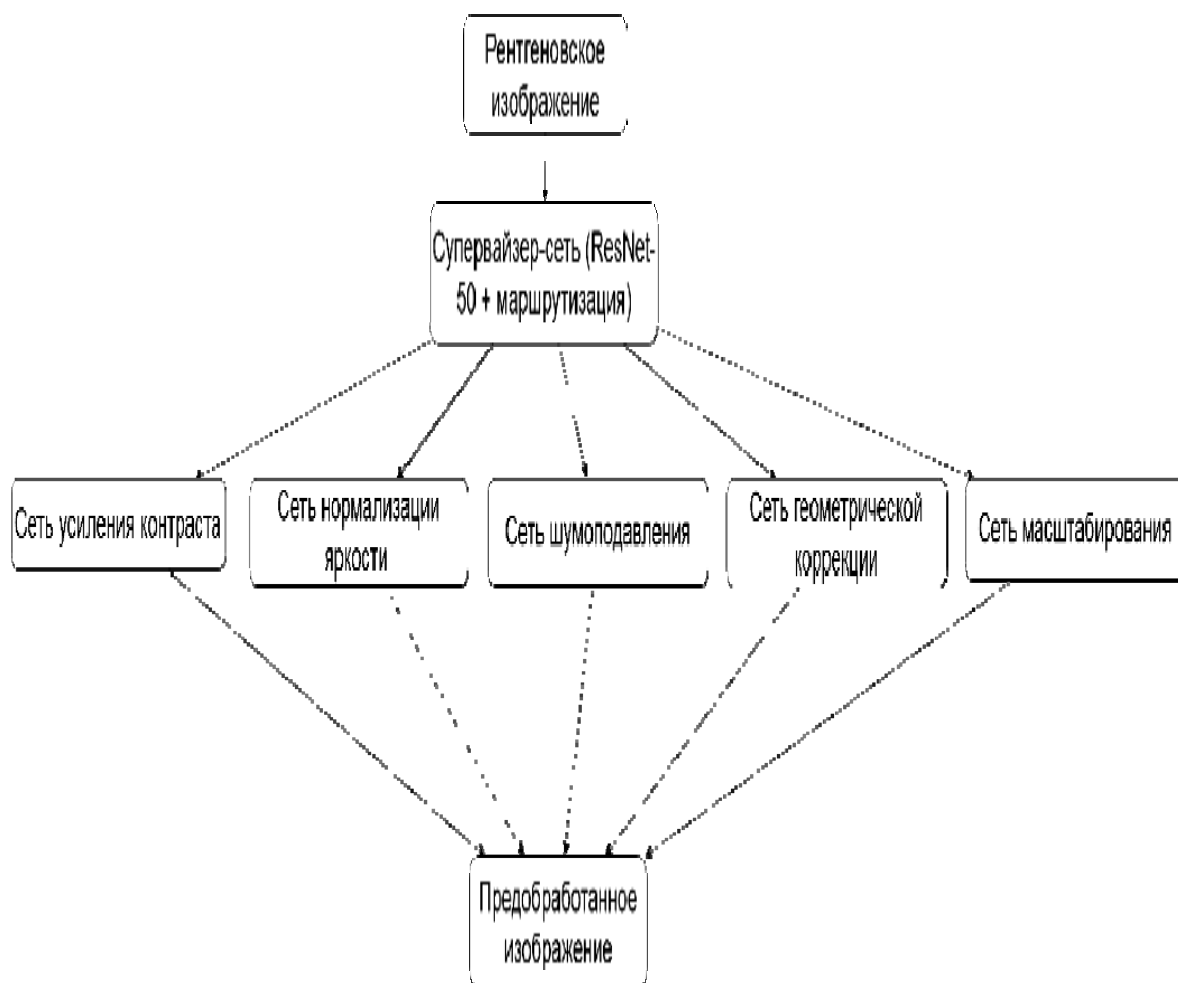


Рис. 1. Блок-схема модуля предварительной обработки

После этапа предобработки изображение поступает в модуль локализации ключевых анатомических ориентиров, где применяется алгоритм обнаружения угловых точек Shi-Tomasi в сочетании со стандартной гистограммной эквализацией. Алгоритм Shi-Tomasi для каждого пикселя изображения вычисляет собственные значения матрицы градиентов яркости. Точка признаётся устойчивой угловой, если оба собственных значения превышают заданный порог, что гарантирует её однозначную локализацию при малых смещениях и поворотах. Стандартная гистограммная эквализация на данном этапе служит для глобального выравнивания распределения яркости и максимизации динамического диапазона перед детекцией точек. Экспериментально установлено, что данная комбинация обеспечивает наивысшую устойчивость и точность до 95 % при локализации стабильных анатомических точек – центров тазобедренных суставов на снимках неидеального качества. На основе выявленных ориентиров вычисляются биомеханические параметры, позволяющие количественно оценить взаимосвязь между позвоночником и тазом.

Далее следуют модуль семантической сегментации костных структур на базе модифицированной U-Net с механизмами внимания и модуль детекции патологий на архитектуре YOLOv11. Результатом работы детектора являются прямоугольные рамки, очерчивающие область каждой обнаруженной патологии. Завершает конвейер модуль визуализации, формирующий интерпретируемый отчёт с ограничивающими рамками, сегментированными масками и маркерами анатомических ориентиров [3].

Входной файл загружается в систему в формате DICOM. Последовательность обработки выглядит следующим образом: загрузка файла, адаптивная предобработка, локализация ориентиров, сегментация, детекция и формирование отчёта. Результаты каждого этапа доступны врачу для верификации, что повышает доверие к автоматическому анализу и соответствует принципу объяснимого искусственного интеллекта в медицине.

Особого внимания заслуживает механизм адаптивной предобработки. Центральная супервайзер-сеть не просто принимает бинарное решение о включении подмодуля, а выполняет его адаптивное взвешивание на основе оценки неопределённости. Для каждого подмодуля вычисляется математическое ожидание активации, т. е. среднестатистическая вероятность того, что данная операция необходима для конкретного снимка. Чем выше неуверенность сети в необходимости конкретной операции, тем меньше её вклад в итоговый результат, что снижает риск накопления артефактов при обработке атипичных снимков. Комплексная оценка качества изображения, обозначаемая аббревиатурой QoI, формируется с учётом контраста, резкости границ и уровня шума.

Экспериментальная проверка проводилась на наборе из 6317 рентгенограмм, представляющем собой крупномасштабную коллекцию рентгеновских снимков костно-мышечной системы [1]. Сравнение трёх подходов к предобработке – отсутствие обработки, классическая комбинация CLANE с фильтрами и предложенный адаптивный ансамбль – продемонстрировало значительное превосходство последнего. Точность распознавания анатомических ориентиров повысилась с 68 % без обработки и 81 % при использовании CLANE до 93 %; полнота локализации ключевых зон возросла с 59 % и 77 % до 90 %; комплексная оценка качества достигла 92 % против 63 % и 79 % соответственно. Среднее время обработки одного снимка составило 3,2 с, что укладывается в целевой лимит 3...5 с. В табл. 1 представлены сравнительные результаты методов предобработки.

Табл. 1. Сравнение методов предобработки

Метод обработки	Точность распознавания ориентиров, %	Полнота локализации ключевых зон, %	Комплексная оценка качества, %	Время
Без обработки	$68 \pm 3,2$	$59 \pm 4,1$	63	—
CLANE и фильтры	$81 \pm 2,8$	$77 \pm 3,5$	79	0,3
Ансамбль нейросетей	$93 \pm 1,4$	$90 \pm 1,9$	92	0,8

Комплексное тестирование подтвердило эффект интеграции всех модулей. Пропуск этапа предобработки приводил к падению точности распознавания ориентиров до 68 % и снижению точности детекции патологий на 20 %...25 %. Использование упрощённой сегментации без механизмов внимания снижало точность выявления переломов на 15 %...18 % в зонах перекрытия структур. Замена алгоритма Shi-Tomasi на альтернативные детекторы особых точек Harris или SIFT ухудшала восстановление траектории позвоночника до 75 % и в 30 % случаев делала невозможным построение аппроксимирующей кривой. Таким образом, каждый компонент создаёт условия для эффективной работы последующих, а отказ от одного этапа разрушает целостность конвейера.

Разработанная система представляет собой клинически применимое, масштабируемое и интерпретируемое решение, способное повысить качество диагностики сложных ортопедических патологий. Врач получает не только итоговое заключение, но и пошаговое обоснование результата через визуализированные промежуточные этапы, что снижает субъективный фактор и повышает доверие к автоматическому анализу. В перспективе планируются интеграция трёхмерной реконструкции на основе мультипроекционных рентгенограмм, расширение механизмов активного обучения и адаптация архитектуры под компьютерную и магнитно-резонансную томографию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мищенко, И. И.** Способ интеллектуального распознавания Hip-Spine синдрома / И. И. Мищенко, А. В. Александров, М. А. Шалухова // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте (ИММВ-2024). – 2024. – С. 245–254.
2. **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 т. – СПб., 2025. – Т. 2. – С. 195–204.
3. **Мищенко, И. И.** Применение технологий компьютерного зрения и предварительной обработки изображений в системах поддержки принятия решений / И. И. Мищенко, А. В. Александров, А. Е. Мисник // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2024. – Т. 32, № 4. – С. 6–26.

УДК 621.791.763.2

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ
ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ С КОНТРОЛЕМ
ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ПОДВИЖНОГО ЭЛЕКТРОДА СВАРОЧНОЙ МАШИНЫ

А. О. СЕРГЕЙЧИК, Г. Ю. ЧАПЛЫГИН, К. А. ЯКОВЛЕВ

Научный руководитель С. М. ФУРМАНОВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Введение. В современном машиностроении широкое распространение получили неразъёмные резьбовые соединения, формируемые приваркой гаек к листовым деталям. Наиболее часто такая технологическая задача возникает при производстве кузовных элементов автомобилей, корпусов бытовой техники, а также разнообразных кронштейнов и несущих каркасов. Долгое время основным способом соединений оставалась механизированная дуговая сварка плавящимся электродом в защитном газе. Однако этот метод сопряжён с рядом технологических и организационных ограничений.

Главный недостаток дуговой сварки применительно к данной операции заключается в низкой производительности и значительной зависимости конечного результата от квалификации сварщика. Исполнитель вынужден предварительно фиксировать гайку и выполнять её прихватку, а затем обваривать по периметру, непрерывно отслеживая длину дуги и скорость сварки. В результате – большой разброс геометрических параметров швов, перегрев тонкостенного листа, его коробление и появление прожогов. Дополнительными проблемами служат необходимость последующей зачистки соединений от брызг расплавленного металла и засорение резьбы брызгами, требующее прогонки метчиком. С точки зрения условий труда процесс сопровождается выделением сварочного аэрозоля и ультрафиолетового излучения, что увеличивает нагрузку на вентиляционное оборудование и средства индивидуальной защиты. Всё это делает дуговую приварку гаек «узким местом» на участках массового и крупносерийного производства, ограничивая рост объёмов выпуска и стабильность качества.

Эффективной альтернативой является контактная рельефная сварка, при которой на опорном торце гайки предварительно формируются выступы-рельефы кольцевой или сегментной формы. Ток пропускается через зону контакта рельефа с листом, разогревает металл до пластического состояния, и под действием сжимающего усилия за доли секунды образуется прочное сварное соединение. Такой подход кардинально изменяет характер производства: время сварки одного узла сокращается с десятков секунд до десятых долей секунды, отпадает необходимость в присадочных материалах,

практически отсутствуют деформации, а резьба остаётся чистой. Процесс легко интегрируется в автоматические линии с использованием пневмогидравлических машин и питателей, обеспечивая ритмичный выпуск продукции.

Основная часть. Промышленным объектом настоящего исследования является боковина кабины карьерного самосвала МАЗ 6430 (деталь 5401011). Эта деталь представляет собой базовый несущий элемент остова, к которому предъявляются повышенные требования по стабильности геометрии и долговечности сварных соединений. Боковина изготавливается из холоднокатаного листового проката низкоуглеродистой стали марки 08Ю толщиной 1,2 мм методом холодной штамповки с последующей контактной сваркой усиливающих накладок и подобранных кронштейнов. На внутреннюю поверхность детали в строго регламентированных конструкторской документацией координатах привариваются гайки с метрической резьбой М6 и М8, предназначенные для монтажа элементов интерьера, обивки, дефлекторов системы отопления и кронштейнов стеклоподъёмников. Общее количество приварных гаек на одной боковине достигает 24 точек: 16 гаек М6 и 8 гаек М8. Материал гаек – сталь 20 по ГОСТ 1050, резьба нарезается до операции сварки, на опорном торце сформированы сегментные рельефы для контактной сварки, однако в текущем производственном цикле дуговой сварки они не используются.

Экспериментальные данные, полученные в ходе выполнения работы, структурированы по трём направлениям: осциллографирование параметров режимов сварки, металлографический анализ и механические испытания.

Осциллографирование процесса сварки, заключающееся в регистрации сварочного тока, напряжения на электродах и линейного перемещения верхней траверсы, позволило определить кинетику формирования соединения для каждого образца.

Анализ кривых тока показал, что его действующее значение оставалось стабильным от импульса к импульсу: максимальное отклонение от уставки не превысило 10 %. Форма полуволн симметрична, нарушений синхронизации тиристорного регулятора не зафиксировано. Длительность импульса выдерживалась с погрешностью не более одного полупериода сетевого напряжения.

Кривая напряжения на электродах демонстрирует характерный начальный всплеск, вызванный высоким переходным сопротивлением холодных рельефов, и последующее плавное снижение по мере разогрева и осадки. Сигнал датчика линейного перемещения ЛИР-17 чётко разделяется на три стадии: предварительное сжатие без заметного движения, быстрая осадка рельефов и выход на плато после завершения деформации рельефов. Сопоставление электрических и механической кривых подтверждает, что основное тепловыделение завершается до окончания осадки.

По осциллограммам рассчитано полное энерговыделение в каждое соединение. Средняя энергия для гаек М6 составила 7,9 кДж, для гаек М8 – 16,8 кДж.

Разброс внутри серий не превысил 24 %, что свидетельствует о стабильности контактных сопротивлений и качественной подготовке поверхности.

Макроструктурные исследования проведены на двух образцах каждого типоразмера. Макрошлифы представлены на рис. 1. Во всех случаях сформировалось сплошное литое ядро кольцевой формы, повторяющее геометрию рельефного выступа.

Глубина проплавления основного металла составила 0,3 мм для гаек М6 и 0,4 мм для гаек М8, что соответствует 30 % и 35 % от толщины листа 1,5 мм соответственно. Полученные значения укладываются в благоприятный диапазон, гарантирующий отсутствие прожогов при сохранении несущей способности пластины.

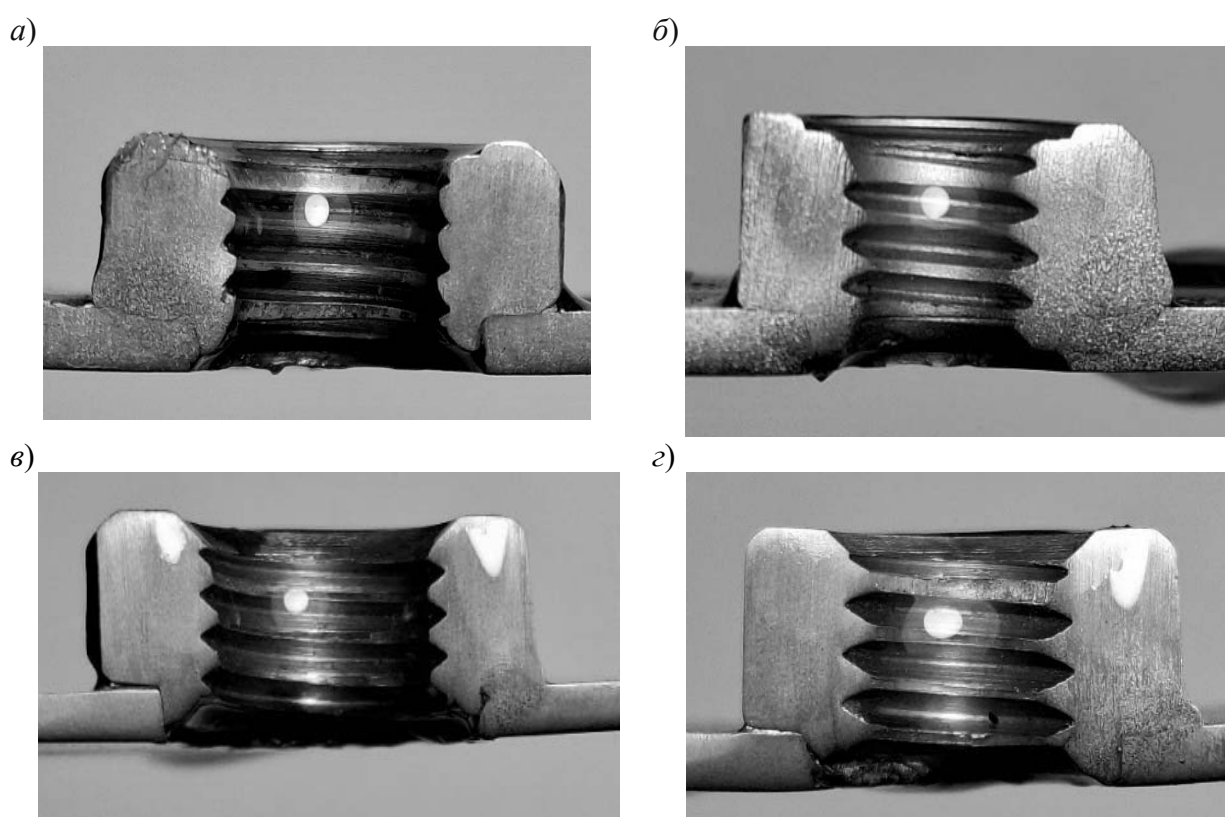


Рис. 1. Соединение «гайка + пластина»: *а* – образец 96 (гайка М6); *б* – образец 97 (гайка М6); *в* – образец 128 (гайка М8); *г* – образец 129 (гайка М8)

Металлографический контроль подтвердил корректность выбранных параметров. На макрошлифах образцов гайки М6 (ток – 12 кА) литое ядро имеет правильную округлую форму, глубина проплавления пластины составляет 60 %...70 % от толщины, поры и трещины отсутствуют. Для гайки М8 (ток – 14 кА) литое ядро несколько крупнее, доля проплавления достигает 70 %...80 %, также без дефектов. Важно отметить, что ни на одном из шлифов не обнаружено выплесков расплавленного металла, что является

прямым следствием введения в циклограмму этапа проковки с повышенным усилием, который активируется при достижении осадки 0,6 от высоты рельефа.

Испытание на отрыв выполнялось на универсальной разрывной машине (рис. 2, а). Образец с приваренной гайкой закреплялся в захватах, а в резьбовое отверстие гайки вкручивался калиброванный болт с упорной головкой.

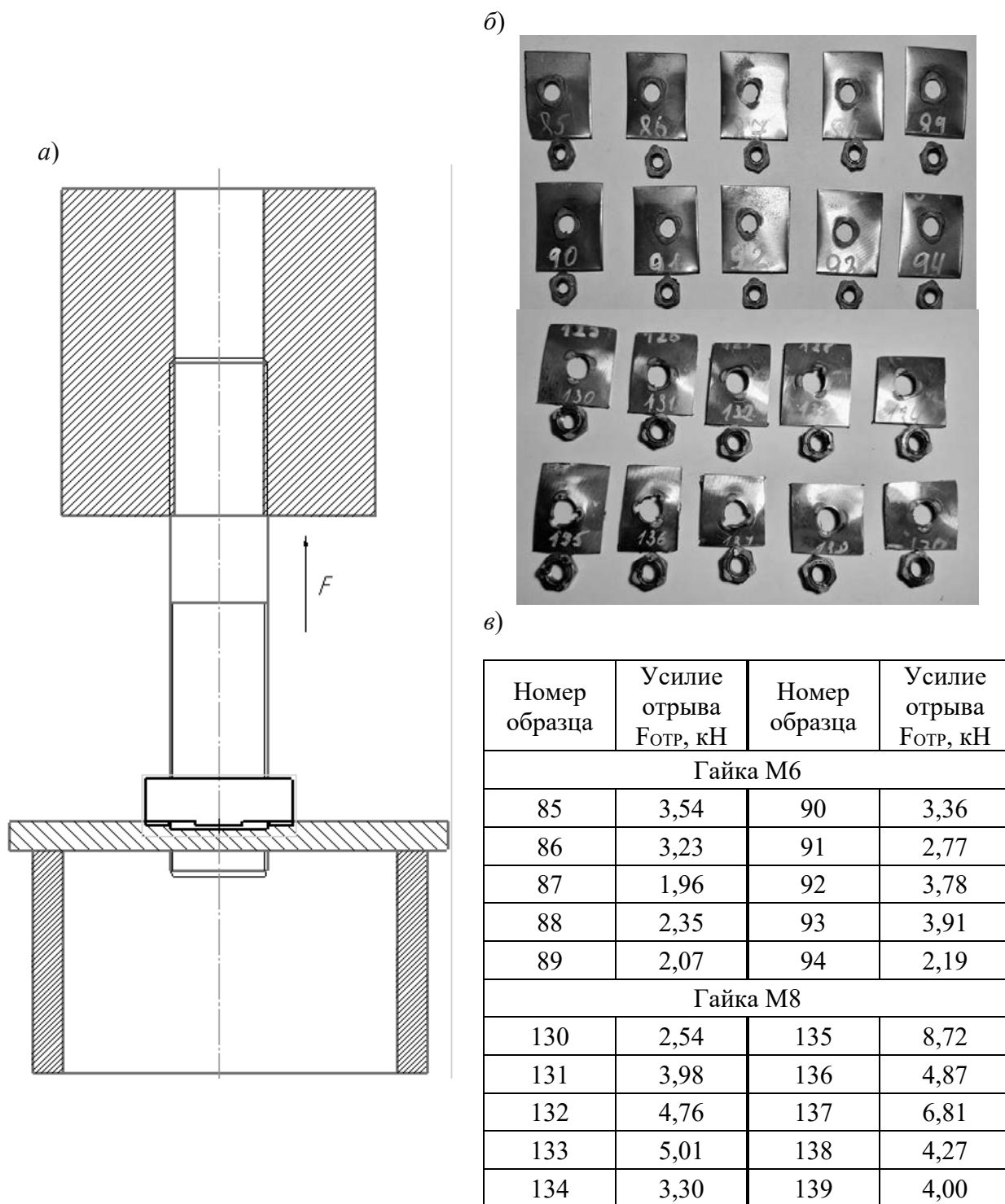


Рис. 2. Механические испытания соединения «гайка + пластина» на отрыв: а – схема испытаний; б – вид образцов после испытания; в – таблица значений усилий на отрыв образцов

Нагрузка прикладывалась до полного разрушения соединения, фиксировалось критическое усилие.

Разрушение соединений с гайкой М6 (рис. 2, б, верхний ряд) в большинстве случаев происходило по литому ядру, причём на поверхности пластины оставался чёткий кольцевой след от рельефа. При разрушении соединений с гайкой М8 (см. рис. 2, б, нижний ряд) в трех образцах наблюдался отрыв по границе сплавления с частичным разрывом основного металла, что говорит о достаточной прочности соединения.

Результаты механических испытаний на отрыв соединений гаек М6 и М8 (рис. 2, в) показали, что средние значения с запасом перекрывают нормативные требования, установленные для резьбовых соединений «панели задка» (не менее 25 Н·м для М6 и 45 Н·м для М8). Ни один образец не показал результат ниже допустимого минимума.

Характер разрушения, при котором соединение разрушалось не по сварному шву (литое ядро оставалось целым), а путём вырыва кольцевого фрагмента основного металла вместе с гайкой, свидетельствует о том, что прочность зоны сплавления превышает прочность самого листа и сварное соединение не является слабым звеном узла.

Вывод. Общее заключение по испытаниям: разработанный технологический процесс с адаптивным регулированием в среде LabView применительно к рельефной сварке гаек М6 и М8 с листом толщиной 1,5 мм обеспечивает стабильное формирование литого ядра и высокий уровень прочности. Уровень брака снижен до 0,8 %...1,0 % против 11 %...13 % в базовом варианте. Оставшийся разброс прочности связан с механическими погрешностями оборудования и может быть устранён путём калибровки машины по усилию сжатия электродов или применением более жёсткой станины, на которой крепится свариваемое изделие.

УДК 658.5:004.94

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОТНОСИТЕЛЬНО ОБОСОБЛЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Н. А. СЫСОЕВ, В. А. НЕДЮХИН

Научные руководители В. А. ШИРОЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.;

Н. П. СКРЫЛЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В условиях современного многономенклатурного серийного производства эффективность управления напрямую зависит от способности оперативно выявлять и устранять «узкие места» – элементы системы, пропускная способность которых ниже остальных (рис. 1). Увеличение загрузки других участков без устранения этого ограничения не ускоряет процесс, а создаёт переизбыток. Традиционные подходы, основанные на построении математической модели всего производства, сталкиваются с проблемой высокой размерности и сложной вариантной загрузки оборудования, что затрудняет оперативное принятие решений [1]. Это позволяет локализовать ограничение без анализа всего производства и обеспечивает интерактивную работу с моделью, повышая обоснованность решений по модернизации.

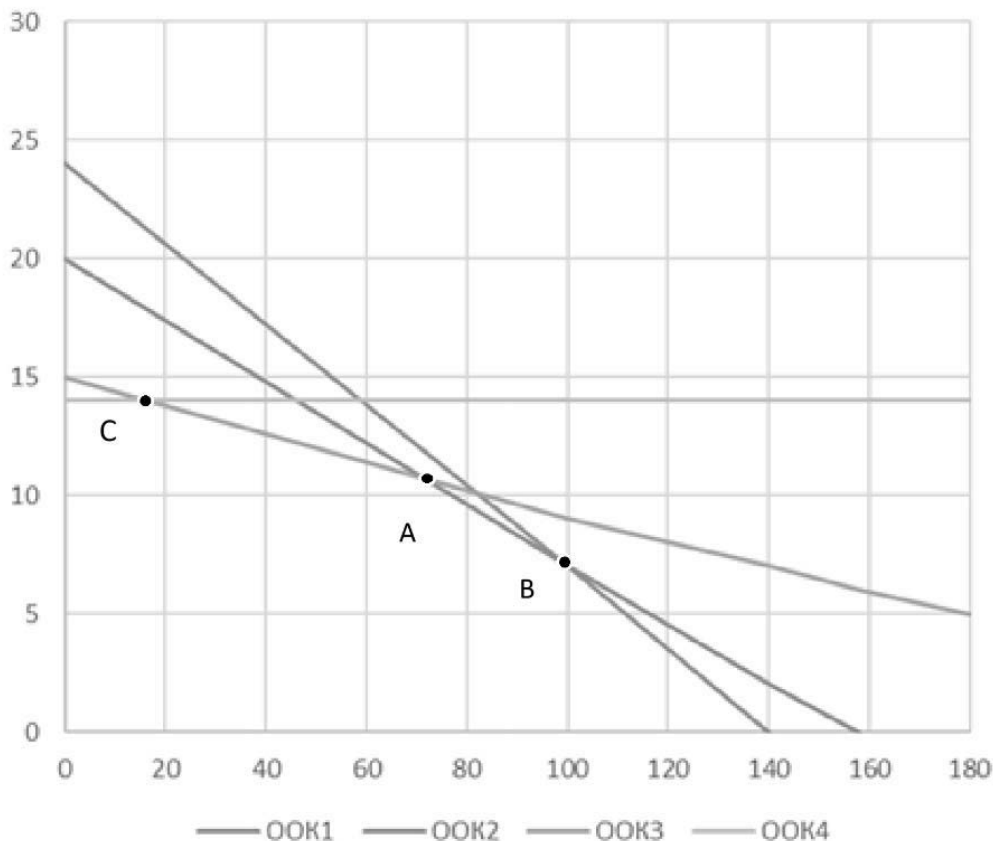


Рис. 1. Пропускные способности группы ООК

Под ООК понимается группа технологического оборудования, за которой закреплены операции, не связанные с оборудованием других групп, что обеспечивает их полную технологическую обособленность. Комплексы полностью обособлены: каждая единица оборудования входит только в один ООК, что исключает конфликты ресурсов и делает анализ независимым. Алгоритм выделения ООК используется для анализа операций по всей номенклатуре и формирования групп по технологической однородности. Важной характеристикой алгоритма выделения ООК является адаптивность: при изменении номенклатуры структура ООК перестраивается автоматически [2, 3]. Для практической реализации метода разработана программная система с клиент-серверной архитектурой. Серверная часть выполняет функции вычислительного ядра: хранит исходные данные (технологические маршруты, паспорта оборудования), запускает алгоритм выделения ООК и решает оптимизационные задачи по определению пропускной способности каждого комплекса. Клиентская часть – графическое приложение для ввода данных, инициализации расчётов и визуализации результатов в таблицах и диаграммах. Пользователь инициирует анализ, результаты выводятся поэтапно, что позволяет контролировать ход вычислений.

Система позволяет гибко формировать варианты анализа производственных возможностей: можно создать конфигурацию, охватывающую все ООК, или сфокусироваться только на нескольких ключевых участках, предположительно являющихся «узкими местами». Возможность формирования различных вариантов ООК позволяет сравнивать альтернативные структуры производства, например с разным количеством и составом комплексов, без необходимости каждый раз перестраивать всю модель. Наиболее значимой для практического поиска «узких мест» является функция интерактивного перерасчёта пропускной способности по конкретному ООК. Она позволяет просмотреть все закреплённые за выбранным ООК операции с учётом их длительности, изменить время любой операции и мгновенно получить перерасчёт, показывающий, как это повлияло на максимальный объём выпуска. Важно, что сокращение времени любой из операций, закреплённых за ООК, в общем случае увеличивает объём выпуска, т. к. уменьшается суммарная трудоёмкость комплекта деталей. Отсутствие роста выпуска после изменения длительности может произойти только по одной причине – недостаточное уменьшение времени, не позволяющее «перешагнуть» дискретный порог (объём увеличивается только на целое число изделий). При этом внутри ООК после изменения времени может перераспределиться закрепление операций между единицами оборудования, поскольку построение ООК основано на возможном взаимозаменении входящего в него оборудования. Сокращение времени одной операции может изменить оптимальное распределение загрузки, и конечный эффект проявится на других операциях. Таким образом, технолог, регулируя различные операции, определяет, какое изменение даёт необходимый прирост, оценивает пороговые значения и принимает решение о модернизации конкретного станка.

Выбор операции для увеличения пропускной способности ООК определяется не математическими расчётами, а технологическими возможностями производства. Расчёты лишь указывают, насколько нужно сократить время, чтобы достичь нужного объёма, однако сама возможность такого сокращения зависит от наличия технических средств, конструктивных особенностей оборудования и других технологических факторов. Вычисления лишь определяют пределы возможного изменения – насколько нужно сократить время, чтобы объём выпуска достиг требуемого уровня. Сама возможность такого сокращения определяется исключительно технологическими условиями: наличие технических средств, конструктивные особенности оборудования, возможность применения более производительного инструмента и т. п. Если такой возможности нет, то любые вычислительные эксперименты бессмысленны. При изготовлении одного вида изделия задача практически однопараметрическая: необходимо уменьшить суммарное время всех операций, закреплённых за ООК, чтобы в плановый период «влезло» больше комплектов. При этом не принципиально, за счёт какой именно операции достигнуто сокращение – эффект на объём одинаков (с поправкой на дискретность). Критерием выбора становится технологическая возможность и экономическая целесообразность. При производстве двух и более видов продукции методология усложняется – вступает в действие механизм взаимозамещения: пропускные способности разных ООК накладывают совместные ограничения на объёмы выпуска каждого из изделий. Выбор операции становится нетривиальным, т. к. изменение длительности в одном ООК по-разному влияет на выпуск разных изделий. Для выбора наиболее эффективного направления модернизации решается прямая задача линейного программирования – максимизация объёма выпуска при заданных пропускных способностях ООК. По ней строится двойственная задача, решение которой показывает, увеличение фонда времени какого из ООК даёт наибольший прирост выпуска. Это позволяет определить, модернизация какого комплекса наиболее эффективна.

Помимо режима перерасчёта пропускной способности, система предоставляет детализированный просмотр результатов. Для каждого ООК можно раскрыть полный список операций по каждой детали и увидеть максимальное количество изделий за плановый период. При этом отображается не только итог, но и связь с конкретными операциями. «Узким местом» является именно ООК в целом, а не отдельная операция внутри него. Сокращение времени любой операции, закреплённой за этим ООК, увеличит его пропускную способность, при этом закрепление операций между станками внутри ООК может измениться. Итоговые данные представляются в таблицах с составом оборудования, инвентарными номерами, максимальными и приведёнными объёмами выпуска по всем изделиям.

Благодаря тому, что ООК являются технологически обособленными группами, они могут служить естественными модулями при построении цифровых двойников производственных систем. Каждый такой модуль отражает

реальную пропускную способность и загрузку оборудования, что позволяет моделировать различные производственные сценарии без необходимости описывать всё предприятие целиком. Поскольку ООК не пересекаются по составу оборудования и выстраиваются в технологической последовательности, календарное планирование может выполняться независимо для каждого комплекса с учётом порядка их следования в производственном процессе. Это позволяет решать несколько локальных задач вместо одной сложной для всего предприятия. Помимо упрощения планирования, предлагаемый подход позволяет количественно оценить избыточную мощность ООК, которые не являются «узкими местами» для основной номенклатуры. Этот резерв может быть использован для производства деталей в запас или для выполнения сторонних заказов без риска срыва основной производственной программы

Проведённое исследование позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, декомпозиция производства на ООК снижает размерность задачи оптимизации, т. к. вместо одной сложной модели решается несколько независимых локальных задач. Во-вторых, клиент-серверная архитектура системы обеспечивает возможность параллельных вычислений, что сокращает время расчётов при работе с большим объёмом данных. В-третьих, режим перерасчёта позволяет технологу количественно оценить влияние изменения длительности любой операции на конечный объём выпуска, что делает процесс поиска «узких мест» наглядным и обоснованным. В-четвёртых, детализированное представление результатов в виде ранжированного списка ООК с указанием их пропускных способностей позволяет быстро выявить лимитирующие комплексы. При этом окончательное решение о том, какую именно операцию сокращать, остаётся за технологом и определяется технологическими возможностями, а математические расчёты лишь задают количественные ориентиры для принятия решения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Широченко, В. А.** Анализ эффективности промышленного производства на основе решения двойственной задачи линейного программирования / В. А. Широченко, Н. П. Скрылев, В. А. Недюхин // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2025. – № 1. – С. 32–38.
2. **Скрылев, Н. П.** Анализ производственных возможностей машиностроительного предприятия на основе выделения относительно обособленных комплексов оборудования / Н. П. Скрылев, В. А. Недюхин, Н. А. Сысоев // Современные вопросы естествознания и экономики : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. – Прокопьевск, 2025. – С. 224–227.
3. **Широченко, В. А.** Особенности оптимизации промышленного производства на основе математического программирования / В. А. Широченко, Н. П. Скрылев, В. А. Недюхин // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2025. – № 2. – С. 55–67.

УДК 621.9

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ
СПОСОБОМ КОНГЛОМЕРИРОВАНИЯВ. А. БЕЛЯКОВИЧ, А. С. СУХОЦКИЙ,
М. И. КРАВЧЕНЯ, В. С. АРЦЫМЕНЯНаучный руководитель А. С. ФЕДОСЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Керамические порошки на основе системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2$ находят широкое применение для получения покрытий воздушным плазменным напылением благодаря высокой термической и химической стойкости, однако их использование затруднено низкой сыпучестью, особенно в случае применения мелкодисперсных фракций с размером частиц менее 30 мкм. Большинство существующих методов предварительной подготовки таких материалов сложны и дорогостоящи, поэтому перспективным направлением является получение композиционных порошков методом конгломерирования со связующим, который отличается простотой, низкими капитальными затратами и возможностью быстрой организации производства, не требующего специального оборудования.

В ходе исследований была изучена технология получения керамических композиционных порошков на основе оксида алюминия с добавкой двуокиси титана, которая включает ряд последовательных этапов: взвешивание компонентов, смешивание, сушку, спекание с удалением растворителя и связующего, дробление и размол спеченного материала, а также отсев требуемой фракции. Главная задача первых двух этапов – добиться максимально однородного распределения всех компонентов, что вызывает определенные затруднения из-за значительного различия в физических характеристиках используемых порошков (порошок Al_2O_3 фракции 10...30 мкм и TiO_2 с размером частиц менее 1 мкм) и крайне низкой сыпучести диоксида титана, склонного к комкованию и налипанию на оборудование.

Для решения задачи получения однородной композиции было предложено использовать TiO_2 в виде предварительно приготовленной суспензии. Оптимальные режимы смешивания: 15...25 мин при 250 об/мин; соотношение вода/оксид титана 2 : 1 по массе.

Для получения компактного материала в смесь вводили связующие (ПВА, крахмал или акриловый лак), которые должны обеспечивать удержание ультрадисперсных частиц TiO_2 на поверхности более крупных зерен Al_2O_3 . Сушку осуществляли при температурах 60 °С...90 °С. Установлено, что интенсивность данного процесса существенно зависит от типа связующего: наиболее активно влага удаляется из композиций с крахмалом, а наименее стабильные результаты показал акриловый лак.

Выявлено, что при отжиге в открытом тигле максимальная температура термообработки композиционных материалов не должна превышать 350 °С.

УДК 620.17:669.295:616-77

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ИЗДЕЛИЙ
ИЗ НИТИНОЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Д. Ю. БОГДАН, А. Л. САВЧЕНКО,
В. М. ЛОВШЕНКО, А. А. СУХОДОЛЬСКАЯ
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Нитиноловые сплавы широко применяются при изготовлении самораскрывающихся сосудистых эндопротезов благодаря сочетанию сверхупругости и эффекта памяти формы [1, 2]. Одним из основных параметров, определяющих работоспособность изделий, является температура завершения фазового перехода, поскольку именно она определяет механическое поведение материала в условиях эксплуатации.

На практике температура фазового перехода определяется преимущественно методами дифференциальной сканирующей калориметрии и другими методами термического анализа. Однако применение такого оборудования в условиях серийного производства затруднительно вследствие высокой стоимости оборудования, продолжительности исследований и необходимости подготовки образцов. В связи с этим актуальной является разработка более простой методики, основанной на механических испытаниях готовых изделий.

В работе исследованы стент-элементы и Λ -образные образцы, изготовленные из нитиноловой проволоки Ti–Ni–Cu диаметром 32 (рис. 1) и 40 мм. Испытания проводились на экспериментальной установке, оснащенной климатической камерой, обеспечивающей изменение температуры исследуемых образцов. На каждой температурной ступени определялась механическая жесткость изделия. Экспериментальные результаты показали, что зависимость жесткости от температуры во всех случаях состоит из двух практически линейных участков. Первый соответствует области протекания мартенситно-аустенитного превращения, второй – области полностью сформированного аустенита, где механические характеристики практически стабилизируются.

Для определения температуры фазового перехода предложено выполнять линейную аппроксимацию каждого участка экспериментальной зависимости. Температура пересечения полученных прямых принимается за температуру окончания фазового перехода. Анализ экспериментальных данных показал хорошее совпадение полученных значений с результатами традиционных методов контроля. При этом для определения температуры достаточно ограниченного числа экспериментальных точек, что существенно сокращает продолжительность испытаний.

Предлагаемая методика позволяет отказаться от применения дорогостоящих методов термического анализа при производственном контроле изделий из нитинола, сохраняя достаточную точность определения температуры фазового

перехода. Дополнительным преимуществом является возможность проведения испытаний непосредственно на готовых изделиях либо на технологических образцах без изменения существующего производственного процесса [1].

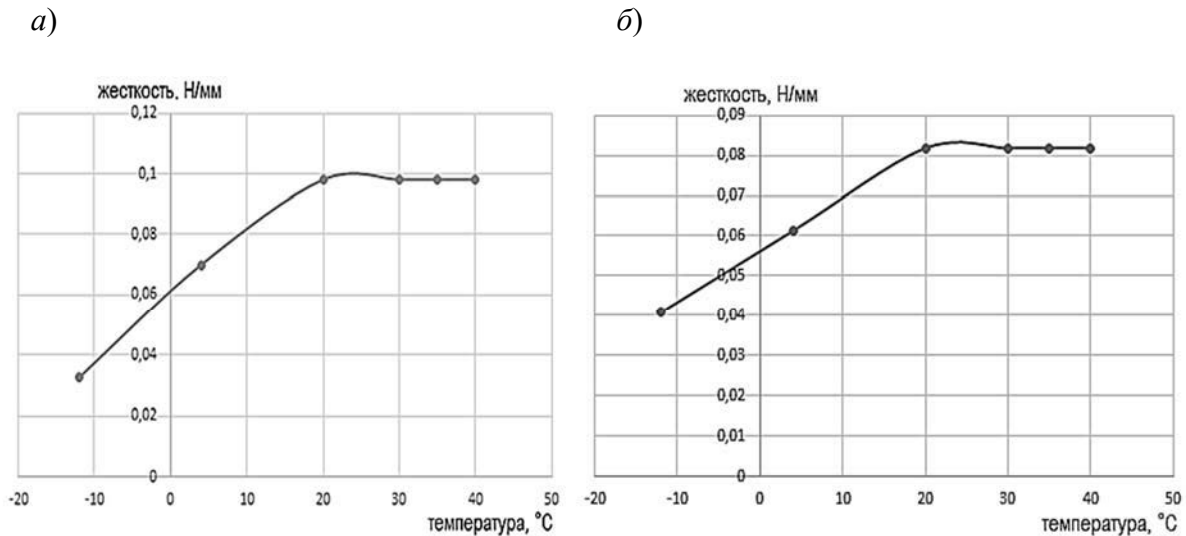


Рис. 1. Зависимости радиальной жёсткости стент-элементов от температуры измерения: а – $\varnothing 32$ мм, режим термообработки 1; б – $\varnothing 32$ мм, режим термообработки 2

Научная новизна работы заключается в разработке способа определения температуры фазового перехода изделий из нитинола по результатам механических испытаний с использованием линейной аппроксимации температурной зависимости жесткости. В отличие от существующих методов, предложенный подход не требует применения специализированного термоаналитического оборудования и обеспечивает возможность оперативного технологического контроля изделий непосредственно в процессе производства. Практическая реализация методики позволяет сократить продолжительность испытаний, уменьшить стоимость контроля и повысить воспроизводимость оценки свойств нитиноловых изделий [1–3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Savchenko, A. L.** Evaluation of mechanical characteristics of vascular endoprostheses / A. L. Savchenko, V. T. Minchenya, N. T. Minchenya // Science and Technology. – 2017. – Vol. 16, № 5. – P. 400–406.
2. **Jedwab, M. R.** A study of the geometrical and mechanical properties of a self-expanding metallic stent / M. R. Jedwab, C. O. Clerc // Journal of Applied Biomaterials. – 1993. – Vol. 4, № 1. – P. 77–85.
3. **Pelton, A. R.** Fatigue and durability of Nitinol stents / A. R. Pelton // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. – 2008. – Vol. 1, № 2. – P. 153–164.

УДК 621.833

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ, НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОГО К СМЕЩЕНИЮ ОСЕЙ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕС

М. А. ГАЛЮЖИН, А. А. СТАЦЕНКО, О. М. ПУСКОВ, Е. С. КАСТРИЦА

Научные руководители С. Н. ХАТЕТОВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.;

П. Н. ГРОМЫКО, д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Зубчатое зацепление, нечувствительное к смещению осей вращения колес, представляет собой зубчатое зацепление, способное сохранять передаточное отношение любой пары контактирующих зубьев в пределах относительного смещения осей вращения колес. Термин «нечувствительность» был введен проф. Л. В. Коростелевым.

Рассматриваемые зубчатые зацепления представляют собой особый класс зубчатых зацеплений. В теории существует бесконечное количество таких зубчатых зацеплений. Рабочая поверхность зуба любого колеса описывается одной и той же системой параметрических уравнений. Конкретное зубчатое колесо отличается от других задаваемой кривой, через которую проходит рабочая поверхность зуба, и рядом констант. Простейшим случаем является прямозубое эвольвентное колесо. Известно, что в прямозубом эвольвентном зацеплении сохраняется передаточное отношение любой пары контактирующих зубьев при осевом и радиальном смещении осей вращения колес.

Преимуществом рассматриваемых зубчатых зацеплений является то, что появляется возможность увеличения допусков на межосевое расстояние и/или межосевой угол. Недостатком в общем случае является нетехнологичность зубчатых колес. Смещения осей вращений зубчатых колес не могут быть больше некоторых предельных значений. В противном случае из-за возникающего несоответствия шагов зубьев колес происходит потеря работоспособности зацепления. Однако при некотором малом смещении осей вращения колес из-за бокового зазора работоспособность зацепления сохраняется. Поэтому при синтезе зубчатого зацепления, нечувствительного к смещению осей вращения колес, следует учитывать схему зацепления, т. е. различать случай параллельного расположения осей, случай пересекающихся осей и случай скрещивающихся осей. В первом случае следует рассматривать погрешность межосевого расстояния и межосевой угол, близкий к 0° . Во втором случае следует рассматривать погрешность межосевого угла и межосевое расстояние, близкое к 0. Наконец, в третьем случае необходимо рассматривать погрешности и межосевого расстояния, и межосевого угла. Таким образом, при синтезе зубчатого зацепления, нечувствительного к смещению осей вращения колес, используем три варианта уравнения контакта. При этом задаем рабочую поверхность зуба производящего зубчатого колеса, а рабочую поверхность зуба сопряженного колеса определяем, используя один из вариантов уравнения контакта.

УДК 621.83.06

ЦИКЛОИДАЛЬНО-ЦЕВОЧНАЯ ПЛАНЕТАРНАЯ ПЕРЕДАЧА С ДВУХВЕНЦОВЫМИ САТЕЛЛИТАМИ И РАЗДЕЛЕННЫМ ПОТОКОМ МОЩНОСТИ

И. И. ГОТТО

Научный руководитель М. Е. ЛУСТЕНКОВ, д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Разработана конструкция лебедки грузового автомобиля на основе циклоидально-цевочной планетарной передачи (ЦЦПП) (рис. 1, а). Применение двухвенцового сателлита позволяет увеличить диапазон передаваемых передаточных отношений [1] и упростить конструкцию ЦЦПП, используя вторую ступень с дополнительной функцией муфты, без применения угловых муфт и механизмов параллельных кривошипов.

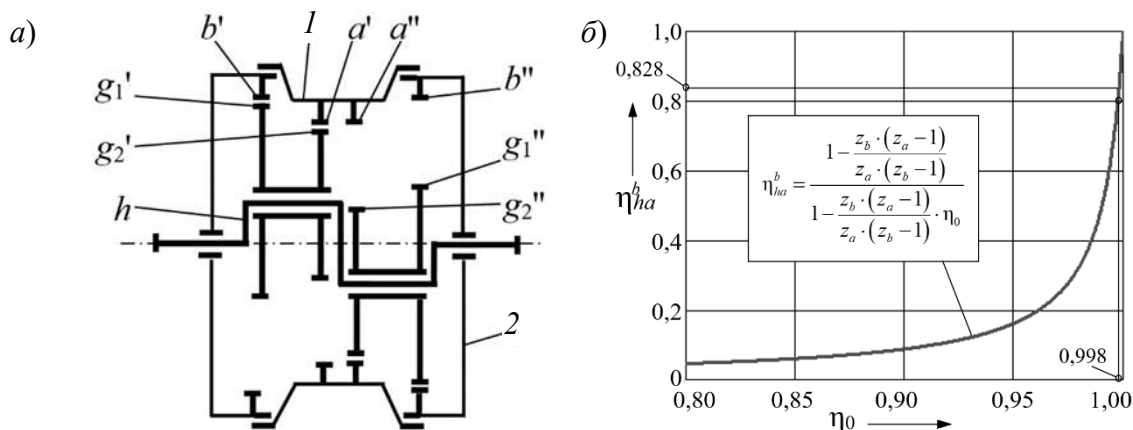


Рис. 1. Кинематическая схема лебедки: h – ведущий вал (водило, эксцентрик); l – ведомый вал (барабан); 2 – корпус; b' , b'' – центральные цевочные колеса, закрепленные в корпусе; a' , a'' – центральные цевочные колеса, соединенные с ведомым валом (барабаном); g_1' , g_2' , g_1'' , g_2'' – зубчатые венцы левого и правого сателлитов

При $z_b = 16$, $z_a = 14$ передаточное отношение $u = 105$. Два сателлита позволяют повысить уравновешенность, снизить удельные нагрузки на звенья ЦЦПП [2]. Установлена зависимость КПД передачи η_{ha}^b от КПД обращенного механизма с остановленным водилом η_0 (рис. 1, б). Так, например, для обеспечения КПД ЦЦПП на уровне 0,82 необходимо, чтобы обращенный механизм с двумя ступенями имел высокий КПД, равный 0,998.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lustenkov, M. E. Calculation of Geometric Parameters of an Eccentric Transmission with Intermediate Rolling Elements // M. E. Lustenkov, A. H. Sofiyev, I. A. Khalilov // Journal of Applied and Computational Mechanics. – 2025. – Vol. 11, iss. 4. – P. 1207–1215.
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 621.83.06

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ СХЕМ ЦИКЛОИДАЛЬНО-ЦЕВОЧНОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ

С. А. ЗЫЛЬ

Научный руководитель М. Е. ЛУСТЕНКОВ, д-р техн. наук, проф.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Целью данной работы являлось проведение сравнительного структурного анализа циклоидально-цевочных планетарных передач (ЦЦПП), кинематические схемы которых отличаются наличием цевок и установленных на них роликов (первая схема) и зубьев с круглым профилем (вторая схема). Использовалась формула Сомова – Малышева для определения числа степеней свободы (подвижности) W механизма с учетом дублирующих связей и местных подвижностей. Чем больше модуль отрицательного значения W , тем больше степень переопределенности передачи, выше износ, требования к точности изготовления и сборки. При этом исследовалась схема передачи с ведущим водилом (эксцентриком), неподвижным валом с пальцами механизма параллельных кривошипов и ведомым центральным колесом. Число зубьев центрального колеса z_b совпадает с передаточным отношением u [1].

Теоретически число четырехподвижных (цилиндрических) пар ЦЦПП, образующихся в зацеплении центрального колеса и сателлита, равно числу зубьев сателлита, которое в данном случае равно $u - 1$. При сборке реального редуктора с ЦЦПП при точном обеспечении числа точек контакта, равного числу зубьев сателлита, передача не будет работать, ее заклинит. Поэтому в передаче проектируется зазор. Таким образом, изначально проектируется однопарное зацепление. Многопарным оно становится при воздействии нагрузок, возникновении деформаций и микроперемещений зубьев (роликов) [2]. Число степеней свободы механизма с роликами, установленными на цевки центрального колеса, определится как разность общего числа степеней свободы всех подвижных звеньев и числа степеней свободы, которые ограничиваются одноподвижными (вращательными) и четырехподвижными (цилиндрическими) парами.

Для первой схемы с роликами, установленными на цевках,

$$\begin{aligned} W &= 6 \cdot (2 + S + n_p \cdot S + u) - 5 \cdot (2 + S + n_p \cdot S + u) - 2 \cdot (n_p \cdot S + S) = \\ &= 2 + u - S \cdot (n_p + 1), \end{aligned} \quad (1)$$

где S – число сателлитов; n_p – число пальцев вала механизма параллельных кривошипов.

В формуле (1) учтено, что ЦЦПП содержит ведущий и ведомый валы, а также число втулок на пальцах вала механизма параллельных кривошипов, равное числу сателлитов. Число степеней свободы ЦЦПП, в которой вместо цевок с роликами на центральном колесе изготовлены зубья с круглым профилем (вторая схема),

$$W = 6 \cdot (2 + S + n_p \cdot S) - 5 \cdot (2 + S + n_p \cdot S) - 2 \cdot (n_p \cdot S + S) = 2 - S \cdot (n_p + 1). \quad (2)$$

Выражение (1) отличается от формулы (2) положительным значением $u > 0$, что говорит о более рациональной конструкции передачи с роликами на цевках выходного вала. Однако данный вариант предполагает усложнение конструкции, снижение ее надежности и прочности цевок [3].

На основе второй схемы был разработан и создан экспериментальный образец редуктора. ЦЦПП имеет следующие параметры: радиус окружности, где располагаются оси цевок (зубьев) ведомого центрального колеса, $R = 29$ мм, $S = 3$, число зубьев сателлита $z_g = 29$, число зубьев центрального колеса $z_b = 30$, $u = 30$, эксцентриситет установки сателлитов на ведущий вал $A = 1$ мм, $n_p = 6$.

а)



б)



Рис. 1. Экспериментальный образец ЦЦПП: ведущий вал (водило) с установленными на эксцентриках сателлитами (а); центральное колесо ЦЦПП с внутренними зубьями с круглым профилем (б)

Для второй схемы при указанных параметрах $W = -19$ (для первой схемы $W = 11$). Сборка передачи и последующая работа редуктора без заклинивания оказались возможными при обеспечении зазора в зацеплении, равного 0,07, что подтверждает теоретическую однопарность зацепления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Lustenkov, M. E.** Calculation of Geometric Parameters of an Eccentric Transmission with Intermediate Rolling Elements // M. E. Lustenkov, A. H. Sofiyev, I. A. Khalilov // Journal of Applied and Computational Mechanics. – 2025. – Vol. 11, iss. 4. – P. 1207–1215.
2. **Лустенков, М. Е.** Силовой анализ передач с промежуточными телами качения / М. Е. Лустенков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – № 10. – С. 26–31.
3. **Лустенков, М. Е.** Детали машин. Расчет и проектирование : учеб. пособие / М. Е. Лустенков. – Мн. : РИВШ, 2025. – 400 с.

УДК 621.83

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА БЕЗОПАСНУЮ РАБОТУ НА КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОМ СТАНКЕ 3A161

А. С. КАЛЬНОЙ

Научные руководители Д. С. ГАЛЮЖИН, канд. техн. наук, доц.;

Е. Г. КРИВОНОГОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Безопасная работа на универсальном круглошлифовальном станке 3A161 зависит от строгого контроля комплекса механических, гидравлических, электрических и технологических факторов.

Снижение воздействия опасных механических факторов на круглошлифовальном станке достигается за счет контроля целостности шлифовального круга и его точной балансировки. Любые микротрещины ведут к разрушению круга даже на рабочих оборотах. Перед установкой обязательны визуальный осмотр и простукивание, а также периодические испытания на разгонном стенде. Следует осуществлять регулярный контроль надежности крепления заготовки и инструмента. При обработке в центрах или патроне деталь должна фиксироваться жестко. Ослабление поводкового устройства или задней бабки может привести к вылету заготовки. Также обязательно применение защитных кожухов и специальных ограждений. Работа без защитного кожуха шлифовальной бабки запрещается. Он локализует осколки в случае разрыва круга, а также частично защищает рабочего от брызг СОЖ, стружки и мелких частиц шлифовального круга.

Модель 3A161 оснащена автоматическим гидравлическим механизмом врезания и продольного перемещения стола. Следовательно, для обеспечения безопасной работы необходимо поддерживать стабильное давление в гидросистеме. Нестабильное давление или воздух в системе вызывают рывки стола или самопроизвольный подвод шлифовальной бабки к детали. Поддержание в исправном состоянии механических упоров хода стола исключает удар бабки о жесткие конструкции станка. Система блокировки также должна быть исправной для предотвращения пуска круга при незажатой детали или открытых ограждениях.

Станок работает от трехфазной сети и имеет сложную электрическую схему управления. Корпус станка, станина и пульт управления должны иметь надежное заземление для защиты от пробоя изоляции. Масло и смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) не должны попадать на электродвигатели, кнопочные станции и концевые выключатели. Местное освещение зоны обработки должно быть необходимым и достаточным.

Физические условия на рабочем месте напрямую влияют на концентрацию и здоровье шлифовщика. Постоянное охлаждение предотвращает перегрев круга, что снижает риск его растрескивания и способствует оседанию опасной

абразивной пыли. Исправная вентиляция должна удалять мелкодисперсную абразивную и металлическую пыль.

При организации рабочего места необходимо следить за отсутствием посторонних предметов на станине. Пол возле станка должен быть сухой, без подтеков масла и эмульсии.

Результаты проведенного анализа с отражением факторов риска, возможных последствий, а также методов контроля и защиты для удобства восприятия информации сведены в табл. 1.

Табл. 1. Сводная таблица критических рисков и мер защиты

Фактор риска	Возможные последствия	Метод контроля / Защита
Разрыв шлифовального круга	Тяжелые травмы осколками, разрушение станка	Испытание кругов, прочные стальные или чугунные кожухи, защитные экраны
Отказ гидроавтоматики	Внезапный подвод бабки, травмирование рук	Проверка чистоты масла, удаление воздуха из гидросистемы
Вылет заготовки	Травмы оператора, порча оснастки	Контроль зажима в центрах, использование люнетов для длинных валов
Абразивная пыль и брызги СОЖ	Заболевания легких, поражение глаз	Работа в защитных очках, включенная вытяжная вентиляция, экраны
Затягивание одежды/волос	Тяжелые механические травмы	Работа без перчаток/рукавиц, застегнутые рукава, волосы под головным убором

Таким образом, обеспечение безопасной эксплуатации круглошлифовальных станков является комплексной инженерно-технической задачей, успешное решение которой напрямую зависит от эффективного управления вышеперечисленными опасными факторами. Высокие скорости вращения шпинделя и особенности процесса абразивной обработки создают повышенные риски производственного травматизма, что требует системного подхода к обеспечению надежности всех узлов оборудования.

Также неотъемлемым элементом системы обеспечения безопасности на любом производстве остается управление человеческим фактором. Даже самая совершенная автоматика и надежные защитные устройства не способны компенсировать ошибки рабочего.

Следовательно, достижение максимальной эффективности возможно лишь при одновременном внедрении технических средств защиты, контроля параметров гидросистемы и строгом соблюдении правил эксплуатации, что позволяет минимизировать риски механической природы и обеспечить требуемый уровень промышленной безопасности.

УДК 621.83

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА МУЛЬТИПЛИКАТОРА С МНОГОПОТОЧНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Н. С. КОРНЕЕВ, А. Д. КОРОВКИНА

Научный руководитель И. В. ТРУСОВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Мультипликаторы играют важную роль в современной возобновляемой энергетике, обеспечивая эффективное механическое согласование первичных двигателей (ветроколеса, гидротурбины) с электрическими генераторами. Их применение сопровождается решением ряда инженерных задач по обеспечению надёжности, долговечности и снижению эксплуатационных затрат.

Рассмотрим кинематическую схему зацепления мультипликатора, показанную на рис. 1.

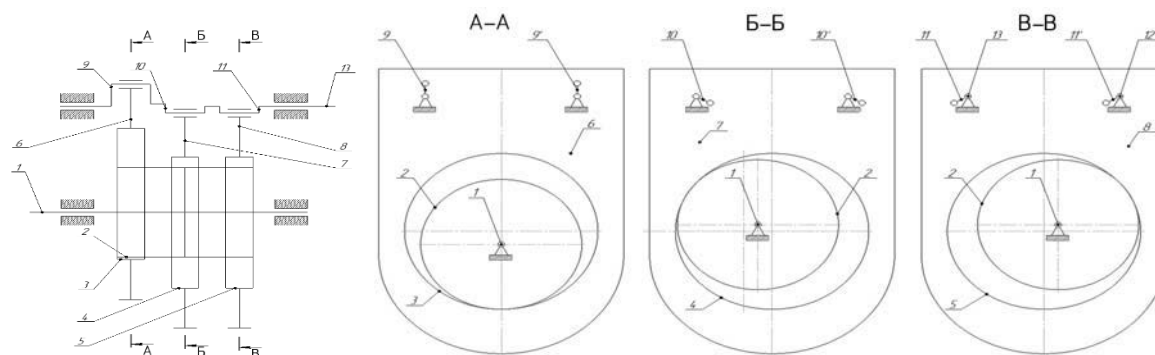


Рис. 1. Кинематическая схема мультипликатора с тремя парами эксцентриковых кривошипов и сателлитов

Отличительной особенностью мультипликатора является использование зацепления центрального колеса с тремя сателлитами, расположенными относительно друг друга с угловым смещением, равным 120° . Данная особенность позволяет решить задачи балансировки, увеличения передаваемой мощности, а также плавности работы передачи.

Мультипликатор содержит входной вал 1, на котором закреплено зубчатое колесо 2 с наружными зубьями. Зубчатое колесо одновременно взаимодействует с внутренними зубчатыми венцами 3–5 сателлитов 6–8, имеющих равное количество зубьев. Сателлиты 6–8 могут совершать поступательное движение благодаря наличию пар синхронизированных кривошипов 9–9', 10–10', 11–11', которые взаимодействуют с отверстиями сателлитов 6–8. Эксцентриковые кривошипы 9'–11' жестко посажены на дополнительном валу 12, а эксцентриковые кривошипы 9–11 – на выходном валу 13. Синхронное поступательное движение кривошипов приводит во вращательное движение дополнительный и выходной валы.

Предложенная схема является перспективной, т. к. может обеспечить высокую надёжность и снижение эксплуатационных затрат.

УДК 621.83

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МУЛЬТИПЛИКАТОРОВ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ КОНТАКТНЫХ НАГРУЗОК

А. Д. КОРОВКИНА, М. С. ХАТЕТОВСКАЯ

Научный руководитель П. Н. ГРОМЫКО, д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В машиностроительной отрасли мультипликаторы востребованы как универсальные передаточные механизмы, обеспечивающие повышение частоты вращения при преобразовании крутящего момента. Спектр их применения охватывает резьбозавёрточное оборудование, буровые установки, горнопроходческие машины, системы авиационной и ракетной техники, подъёмно-транспортные устройства, пассажирские канатные дороги, рельсовый транспорт, авиастроение, а также генераторные узлы ветроэнергетических станций и промышленные электроприводы.

Главной проблемой при проектировании высокомоментных мультипликаторов остаются потери мощности в контактах зубчатых колёс. Предлагаемое техническое решение направлено на минимизацию этих потерь даже при выходных нагрузках до 50 кВт. Базовый принцип – реализация многопоточного подвода мощности, при котором силовой поток распределяется по нескольким кинематическим цепям одновременно. Благодаря этому удаётся синхронизировать контактирование зубьев с фазами движения, в которых относительная скорость скольжения минимальна. В результате КПД зацепления стабильно превышает 95 %, что подтверждено расчётными и экспериментальными данными.

Дополнительным резервом повышения эффективности служит замена в узлах контакта трения скольжения трением качения. Это конструктивно реализовано для всех сопряжённых элементов. Такой подход практически исключает абразивный износ и сокращает тепловыделение, что положительно сказывается на долговечности устройства.

Компьютерное моделирование нагруженных эксцентриковых передач показало, что силовое воздействие распределяется по значительным контактным поверхностям. Это ведёт к снижению удельных нормальных напряжений в зоне упругой деформации, а также, как уже отмечалось, к уменьшению скоростей относительного скольжения сопрягаемых поверхностей.

Итогом работы стало создание компактного мультипликатора с высокими энергетическими показателями. Малые габариты обеспечены не только увеличением активных контактных зон, но и параллельным функционированием нескольких силовых каналов. Разработанная конструкция может быть рекомендована для использования в приводах, где сочетание надёжности, энергоэффективности и ограниченного монтажного пространства является критическим требованием.

УДК 621.787

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ ППД ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЯ И БРОНЗЫ

А. А. КУРАШОВ, Н. Д. СВИРЕПА

Научный руководитель Д. М. СВИРЕПА, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) – обработка давлением, при которой пластически деформируются только поверхностные слои обрабатываемой заготовки. ППД могут быть обработаны заготовки из различных материалов. Рассмотрим отличительные особенности методов ППД при обработке заготовок из алюминия и бронзы.

В процессе обработки заготовок из алюминиевых сплавов методами ППД в целях сохранения структуры обрабатываемых заготовок следует снижать силу деформирования индентерами (деформирующими шарами или роликами) в 2–3 раза по сравнению с усилием, прилагаемым для обработки стальных заготовок, ввиду низкой твердости и прочности алюминия. При статических методах обработки, при постоянном контакте индентера и заготовки, вследствие склонности алюминия к схватыванию (адгезии) следует применять специальные технологические жидкости или масла. Также возможно применение полированных твердосплавных или алмазных индентеров, что позволит минимизировать налипание материала заготовки на инструмент, однако существенно удорожает инструмент. В связи с этим более предпочтительными методами ППД для обработки заготовок из алюминиевых сплавов являются динамические методы с периодическим воздействием деформирующих элементов на обрабатываемую поверхность с низкими силами деформирования. К таким методам относится магнитно-динамическое упрочнение накатниками с остаточной индукцией источников магнитного поля до 0,4 Тл.

В процессе обработки бронзовых заготовок методами ППД, ввиду высокой пластичности бронзовых сплавов особенно оловянных, алюминиевых и бериллиевых в определенных состояниях, можно добиться высокой степени наклепа. При этом микротвердость поверхностного слоя увеличивается на 20 %...40 %. С технологической точки зрения бронзовые сплавы обладают хорошей обрабатываемостью. Однако для некоторых методов ППД, применяемых при обработке отверстий (например, дорнование), необходимо учитывать коэффициент упругого восстановления ввиду того, что бронзовые сплавы обладают высокими упругими свойствами. Данный фактор важен при высокоточной обработке. Для предотвращения процесса налипания обрабатываемого материала на деформирующие элементы следует применять специальные масляные составы в качестве смазочно-охлаждающих жидкостей. Для обработки заготовок из бронзовых материалов возможно применение магнитно-динамических накатников с остаточной индукцией магнитного поля до 0,6 Тл. Ввиду немагнитопроводности алюминиевых и бронзовых заготовок отсутствует необходимость в наложении на них магнитного поля.

УДК 621.837

БАЛАНСИРОВКА ШКИВА ОГРАНИЧИТЕЛЯ СКОРОСТИ ПРИ НОРМАЛЬНОМ И АВАРИЙНОМ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ЛИФТА

А. В. КУЦЕПОЛЕНКО¹Научный руководитель М. Е. ЛУСТЕНКОВ², д-р техн. наук, проф.¹ОАО «Могилевлифтамаш»²Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Устройство, контролирующее превышение скорости, размещаемое на шкиве ограничителя, является квазисимметричным относительно оси z (рис. 1, а). При повороте входного звена 1, несмотря на равенство размеров пар звеньев 2 и 3, выходные звенья 3 раскрываются несинхронно [1, с. 66–67].

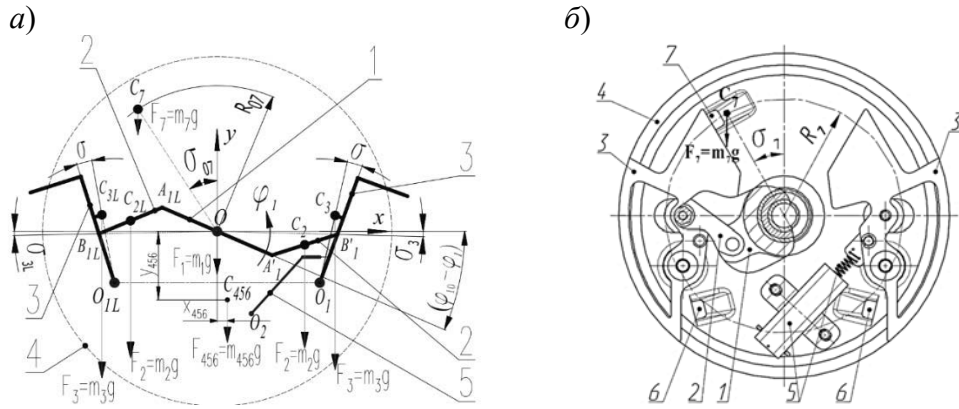


Рис. 1. Кинематическая (а) и конструктивная (б) схемы устройства, контролирующего превышение скорости: 1 – входное звено; 2 – шатуны; 3 – выходные звенья; 4 – шкив; 5 – натяжной механизм; 6 – упоры; 7 – стопор; C_{456} , C_7 – центры масс шкива в сборе и стопора

Выразим координаты центров пар звеньев 2 и 3. Для звеньев, расположенных слева, в обозначении добавляем индекс L :

$$\begin{cases} x_2 = l_1 \cdot \cos(\varphi_{10} - \varphi_1) + l_2 \cdot \cos(OB'_1 A'_1 - \sigma_3)/2; \\ x_{2L} = -l_1 \cdot \cos(\varphi_{10} - \varphi_1) - l_2 \cdot \cos(OB'_{1L} A'_{1L} + \sigma_{3L})/2; \\ y_2 = -l_1 \cdot \sin(\varphi_{10} - \varphi_1) + l_2 \cdot \sin(OB'_1 A'_1 - \sigma_3)/2; \\ y_{2L} = l_1 \cdot \sin(\varphi_{10} - \varphi_1) - l_2 \cdot \sin(OB'_{1L} A'_{1L} + \sigma_{3L})/2; \\ x_3 = X_{01} + O_1 C_3 \cdot \sin(\varphi_3 - \sigma); \\ x_{3L} = -(X_{01} + O_1 C_3 \cdot \sin(\varphi_{3L} - \sigma)); \\ y_3 = O_1 C_3 \cdot \cos(|\sigma - \varphi_3|) - Y_{01}; \\ y_{3L} = O_1 C_3 \cdot \cos(|\sigma - \varphi_{3L}|) - Y_{01}; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \angle OB'_1 A'_1 = \arcsin(l_1 \cdot \sin(\varphi_{10} - \varphi_1 - \sigma_3)/l_2); \\ \angle OB'_{1L} A'_{1L} = \arcsin(l_1 \cdot \sin(\varphi_{10} - \varphi_1 + \sigma_{3L})/l_2); \\ \sigma_3 = \arctg((Y_{01} - l_3 \cdot \cos \varphi_3)/(X_{01} + l_3 \cdot \sin \varphi_3)); \\ \sigma_{3L} = \arctg((Y_{01} - l_3 \cdot \cos \varphi_{3L})/(X_{01} + l_3 \cdot \sin \varphi_{3L})); \\ \varphi_3 = (90^\circ - \gamma); \quad \varphi_{3L} = (90^\circ - \gamma''); \\ \Delta_{x2} = x_2 - x_{2L}; \quad \Delta_{y2} = y_2 - y_{2L}; \quad \Delta_{x3} = x_3 - x_{3L}. \end{cases} \quad (2)$$

Зависимости углов поворота правого γ и левого γ'' выходных звеньев 3 от угла поворота φ_1 входного звена 1 были определены ранее [1, с. 66]. Раскрытие выходных звеньев 3 приводит к дисбалансу [2] исследуемой системы (рис. 1, б). Определим координаты смещения ее центра масс $x_C(\varphi_1)$ и $y_C(\varphi_1)$ как функции от угла поворота φ_1 входного звена 1 (рис. 2):

$$\begin{cases} x_C(\varphi_1) = \frac{\sum x_i \cdot m_i}{m_{\text{мех}}} = \frac{\Delta_{x2} \cdot m_2 + \Delta_{x3} \cdot m_3 + x_{456} \cdot m_{456} - x_7 \cdot m_7}{m_1 + 2 \cdot m_2 + 2 \cdot m_3 + m_{456} + m_7}; \\ y_C(\varphi_1) = \frac{\sum y_i \cdot m_i}{m_{\text{мех}}} = \frac{-\Delta_{y2} \cdot m_2 + (y_3 + y_{3L}) \cdot m_3 - y_{456} \cdot m_{456} + y_7 \cdot m_7}{m_1 + 2 \cdot m_2 + 2 \cdot m_3 + m_{456} + m_7}, \end{cases} \quad (3)$$

где $m_1, m_2, m_3, m_{456}, m_7$ – массы входного звена 1, шатунов 2, выходных звеньев 3, шкива 4 в сборе с натяжным механизмом 5 и упорами 6 и стопора 7; $x_1, x_2, x_3, x_{456}, x_7, y_1, y_2, y_3, y_{456}, y_7$ – координаты центров масс соответствующих звеньев; l_1, l_2, l_3 – длины входного звена 1, шатунов 2 и выходных звеньев 3.

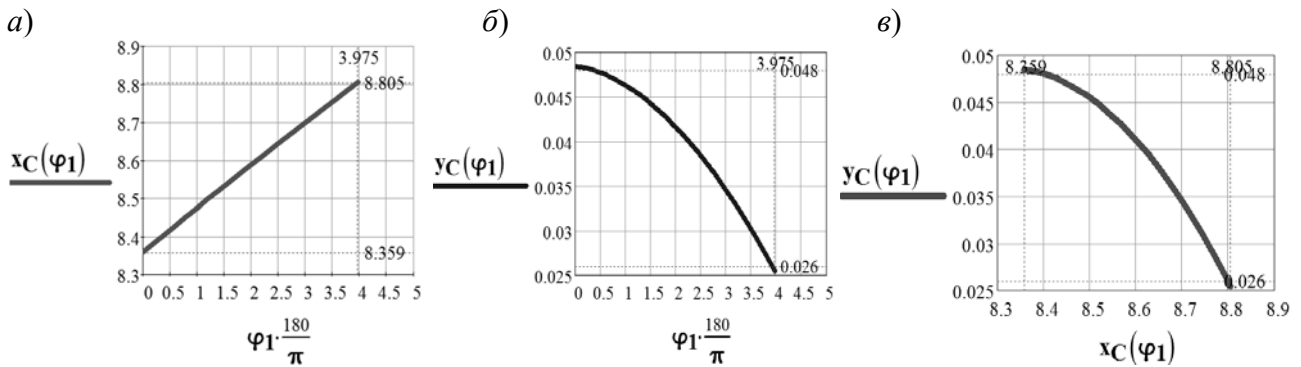


Рис. 2. Смещение координат центра масс системы по оси абсцисс (а), ординат (б) и соотношение их между собой (в) при раскрытии выходных звеньев из «нерабочего» положения в «рабочее»

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куцепенко, А. В. Геометрический анализ шарнирного механизма центростремительного ограничителя скорости лифта с двумя выходными звеньями / А. В. Куцепенко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2024. – № 4 (69). – С. 61–69.
2. Лустенков, М. Е. Детали машин. Расчет и проектирование : учеб. пособие / М. Е. Лустенков. – Мн. : РИВШ, 2025. – 400 с.

УДК 621.923

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ДОВОДКИ И ПОЛИРОВАНИЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ИХ РАЗВИТИЯ

А. С. ЛЯХОВЕЦКИЙ

Научный руководитель В. А. КУЗНЕЦОВ, д-р техн. наук, проф.
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
Москва, Россия

Доводка и полирование являются завершающими операциями механической обработки, обеспечивающими получение высочайших качественных характеристик обрабатываемых поверхностей [1, 2]. Цель данной работы – анализ влияния технологических параметров на качество обработанной поверхности и рассмотрение перспективных направлений совершенствования полировальной обработки.

Несмотря на очевидное разграничение методов по целевому назначению, большинство источников склоняются к общности происходящих во время обработки процессов [1, 2, 4]. В настоящее время исследователи склоняются к тому, что источником становится комплексное воздействие микрорезания абразивными частицами, пластического деформирования обрабатываемой поверхности, химического и температурного воздействий в зоне контакта.

Абразивные зёрна, закреплённые в связке пасты или внедрённые в поверхность более мягкого притира, срезают выступы микронеровностей по сложной траектории движения инструмента относительно обрабатываемой детали. Это обеспечивает равномерный съём материала и формирование изотропной микроструктуры поверхности, свободной от направленных следов обработки [4]. Поверхностный слой изменяет свои свойства, несколько упрочняясь благодаря пластической деформации и снижению различных отклонений [3].

Отдельного внимания заслуживает метод упорядочивания структуры расположения абразивных зёрен на подложке. Это способствует стабилизации процессов резания и выглаживания на микроуровне. Особый интерес представляет возможность объединения подложек с сонаправленными зёрнами в единый инструмент с целью упрощения прогнозирования выкрашивания и стабилизации процесса микрорезания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ящерицын, П. И.** Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов / П. И. Ящерицын, А. Г. Зайцев, А. И. Барботько. – Мн. : Наука и техника, 1976. – 328 с.
2. **Масловский, В. В.** Доводочные и притирочные работы : учеб. пособие / В. В. Масловский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1971. – 256 с.
3. **Суслов, А. Г.** Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 2000. – 320 с.
4. **Суслов, А. Г.** Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Суслов, А. М. Дальский. – М. : Машиностроение, 2002. – 684 с.

УДК 621.357

К ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

НВЕ ОБОНО НЕСТОР

Научный руководитель В. В. КОНКИНА, канд. техн. наук, доц.
Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

Введение. Гальванические покрытия применяются для защиты металлических поверхностей, повышения их износостойкости и придания функциональных и эстетических свойств. Процесс образования покрытия основан на электроосаждении, в котором масса осаждённого металла связана с электрическими параметрами процесса через закон Фарадея:

$$m = \eta \frac{M It}{nF},$$

где m – масса осаждённого металла; η – выход по току; M – молярная масса металла; I – сила тока; t – время осаждения; n – число электронов, участвующих в реакции; F – постоянная Фарадея.

Это соотношение позволяет количественно связывать переменные процесса с количеством внедрённого материала.

Качество гальванического покрытия определяется не только массой осаждённого металла, но и его распределением по поверхности и функциональными свойствами покрытия. Для всесторонней оценки качества используются показатели равномерности, шероховатости и микротвёрдости.

Равномерность покрытия. В случае сложной геометрии распределение плотности тока является неравномерным, что приводит к вариациям толщины покрытия. Равномерность отражает однородность толщины покрытия по всей поверхности изделия. Степень однородности покрытия определяют через количественный критерий равномерности по формуле [1]

$$R = \frac{1}{S_k} \int_{S_k} \frac{(\delta(x,y,z) - \delta^{\min})}{\delta^{\min}} dS_k,$$

где R – показатель равномерности распределения слоя покрытия; S_k – площадь поверхности катода; $\delta(x, y, z)$ – толщина покрытия в конкретной точке; $\delta^{\min}$ – минимальная толщина слоя.

Минимальная толщина покрытия должна превышать заданную величину либо быть равной ей: $\delta^{\min} \geq \delta^{est}$, где δ^{est} – заданная (установленная) толщина.

Шероховатость поверхности. Шероховатость характеризует микрогеометрические неровности поверхности покрытия и зависит от множества параметров технологического процесса [2]. В обобщённой форме её можно представить как многофакторную зависимость

$$R_a = f(J, T, t, C, pH, A, \omega),$$

где R_a – средняя арифметическая шероховатость; f – функция; J – плотность тока; T – температура; t – время осаждения; C – концентрация электролита; pH – кислотность раствора; A – концентрация добавок; ω – интенсивность перемешивания. Данная зависимость носит эмпирический характер и учитывает взаимодействие параметров. Контроль шероховатости требует стабильности состава ванны, воспроизводимых гидродинамических условий и стандартизированных методик измерения.

Микротвёрдость покрытия. Микротвёрдость определяется по формуле Виккерса [3]

$$HV = 1,8544 \frac{F}{d^2},$$

где HV – твердость по Виккерсу; F – приложенная нагрузка; d – средняя диагональ отпечатка.

Микротвёрдость служит индикатором механической прочности покрытия, износостойкости и связана со структурой осаждённого металла.

Заключение. Качество гальванического покрытия не следует оценивать только по количеству осаждённого металла. Необходимо рассматривать его в комплексе с точки зрения равномерности, шероховатости и микротвёрдости. Данные показатели дополняют друг друга, позволяют оценивать качество получаемой поверхности и её механические свойства, составляют техническую основу для контроля и оптимизации процесса электроосаждения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Конкина, В. В.** Постановка задачи оптимального управления реверсивным режимом нанесения гальванического покрытия в ванне со многими анодами / В. В. Конкина, Д. С. Соловьев, Ю. В. Литовка // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 248–256.
2. **Гравин, А. А.** Исследование процесса нанесения модифицированных электрохимических оксидных покрытий и их влияние на теплоотдачу / А. А. Гравин, Ю. В. Литовка // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 18, № 4. – С. 813–820.
3. **Соловьев, Д. С.** Решение многокритериальной задачи выбора гальванического покрытия с использованием метода анализа иерархий / Д. С. Соловьев, И. А. Мукина, Ю. В. Литовка // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2017. – № 1. – С. 18–27.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕНОК КАМЕРЫ МЕХАНОРЕАКТОРА НА РАЗМЕР ЧАСТИЦ ПОРОШКОВ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

А. С. ОЛЕНЦЕВИЧ¹, Ю. В. СЕЛИВАНОВА²,
А. С. КАСТРИЦА¹, И. И. БЕССОНОВ¹

Научный руководитель А. С. ФЕДОСЕНКО, канд. техн. наук, доц.

¹Белорусско-Российский университет

²Могилевский государственный политехнический колледж
Могилев, Беларусь

Известно, что с ростом температуры увеличивается подвижность атомов кристаллической решётки. Это в большинстве случаев приводит к снижению прочности, твёрдости и увеличению пластичности металлов и сплавов. Данные фундаментальные закономерности позволили предположить, что температурные условия обработки шихты в механореакторе должны оказывать существенное влияние не только на механические свойства, но и на микроструктуру, а также морфологию частиц синтезируемых порошков высоколегированных жаропрочных конструкционных сталей.

В ходе экспериментов исследовали взаимосвязь между температурой камер механореактора гирационного типа и свойствами порошков, химический состав которых аналогичен сталям марок 20X12H2B2MФ, 30X13H7C2, 18X11MНФБ, 30X13. Поддержание температурного режима на требуемом уровне обеспечивалось принудительной циркуляцией жидкости, подогреваемой с помощью термостата и непрерывно циркулирующей между стенкой камеры и внешней рубашкой. Все опыты выполнены при единых технологических параметрах: степень загрузки бочек шарами составляла 0,7 от ее полного объема; масса исходных компонентов – 200 г.

Эксперименты показали устойчивую закономерность между температурой жидкости и дисперсностью получаемых порошков. На графиках, описывающих распределение гранул по размеру, это выражается в смещении пика, определяющего средний размер частиц, в область более грубых фракций. Эффект наиболее ярко отражается на композициях с минимальным количеством углерода и легирующих элементов. Также стоит отметить, что подогрев стенок камеры позволяет существенно уменьшить количество порошка, проходящего через сито с размером ячейки 0,025 мм.

На размер частиц получаемых механически легированных материалов, в состав которых дополнительно вводились оксиды с низкой термодинамической стабильностью, повышение температуры также влияет положительно.

Независимо от температуры камеры, с увеличением продолжительности обработки композиций частицы получаемых порошков преобретают более правильную форму.

Химический состав и режимы механосинтеза не оказывают заметного влияния на микроструктуру частиц. Во всех случаях они отличаются высокой плотностью, однородностью, а также гомогенным распределением компонентов.

УДК 658.512.4

К ЗАДАЧЕ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ДИСКРЕТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

А. М. ПАХОМОВ

Научный руководитель В. В. КОНКИНА, канд. техн. наук, доц.

Тамбовский государственный технический университет

Тамбов, Россия

Анализ предметной области. Создание систем календарного планирования производственных процессов является актуальной задачей, имеющей важное прикладное значение. При этом задача календарного планирования в дискретных производствах остается одной из наиболее сложных в управленческой сфере. Производственная среда характеризуется высокой динамикой: поступают новые заказы, происходят сбои оборудования, корректируются приоритеты. Классические методы, представляющие собой построение единственного расписания, оказываются недостаточно гибкими, т. к. при изменении условий план перестает быть актуальным и требует полного перерасчета, что влечет значительные временные затраты. Существующие автоматизированные системы также не решают эту проблему в полной мере. MES-системы строят единственное расписание на основе эвристик. APS-системы позволяют генерировать несколько сценариев, однако многокритериальность в них реализована через сведение целей к одному агрегированному критерию с весовыми коэффициентами. Таким образом, существующие решения не обеспечивают полноценной поддержки принятия решений в условиях множественности противоречивых критериев.

Близкая по тематике задача календарного планирования с учетом временных потерь рассматривалась в работе М. Н. Краснянского применительно к гибким химико-технологическим схемам [1, 2]. Однако, в отличие от данного исследования, в ней используется единственный критерий и не рассматривается построение множества Парето-оптимальных решений.

Объект исследования. Объектом исследования являются дискретные производственные системы с частичной технологической гибкостью, в которых на разных операциях задействовано разное количество рабочих мест с неодинаковой производительностью. Такая структура характерна для области машиностроения и приборостроения, в которой применение взаимозаменяемого оборудования позволяет перераспределять загрузку.

Предмет исследования. Предметом исследования является процесс многокритериальной оптимизации календарного планирования. Рассматриваются два противоречивых критерия: минимизация максимального опоздания относительно сроков отгрузки и минимизация суммарного простоя оборудования. Для сокращения опозданий потребуется ускорение обработки срочных заказов. Это, в свою очередь, нарушает равномерную загрузку оборудования и увеличивает

время переналадок. При этом обеспечение равномерной загрузки может приводить к задержке срочных заказов. Данное противоречие исключает наличие единственного оптимального решения и требует многокритериального подхода.

Цель. Целью работы является разработка подхода к календарному планированию. Для достижения данной цели возможно построение множества Парето-оптимальных расписаний, позволяющего лицу, принимающему решения, исследовать доступные компромиссы и выбирать вариант с учетом текущей ситуации и неформализуемых факторов. Для этого предлагается использовать генетический алгоритм, адаптированный к специфике задачи.

Постановка задачи. Рассматриваемая производственная система характеризуется наличием множества заказов, каждый из которых представляет собой последовательность технологических операций, выполняемых в строго определенном порядке. В системе имеется конечное множество единиц оборудования. На каждой операции может быть задействовано разное количество рабочих мест с неодинаковой производительностью. Таким образом, время выполнения операции зависит от того, на какое конкретное рабочее место она будет назначена.

При составлении расписания необходимо одновременно решать две взаимосвязанные задачи: производить выбор для каждой операции конкретного рабочего места из доступных и определять порядок выполнения операций на каждом рабочем месте с соблюдением технологической последовательности и недопустимости конфликтов за оборудование.

В качестве критериев оптимизации выбраны два показателя. Первый критерий направлен на обеспечение своевременности выполнения заказов и представляет собой максимальное опоздание относительно установленных сроков отгрузки. Второй критерий характеризует эффективность использования оборудования и определяется как суммарное время простоя всех рабочих мест за период производства.

Целевые функции должны минимизироваться при соблюдении следующих ограничений: технологическая последовательность операций внутри каждого заказа не может быть нарушена; на каждом рабочем месте в каждый момент времени может выполняться не более одной операции; время начала любой операции не может быть меньше времени завершения предыдущей операции на том же рабочем месте с учётом времени переналадки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Краснянский, М. Н.** Оптимальное проектирование и календарное планирование гибких химико-технологических схем с учетом надежности функционирования процессов и оборудования : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.08 / Краснянский Михаил Николаевич. – Тамбов, 1995. – 175 с.
2. **Краснянский, М. Н.** Методология прогнозирования и обеспечения надежности функционирования технических систем многоассортиментных химических производств / М. Н. Краснянский, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 1. – С. 6–15.

УДК 637.133:367.146

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Д. С. ПЛАКСИН, Х. ВАН

Научный руководитель Е. И. РЕШЕТНИК, д-р техн. наук, проф.
Дальневосточный государственный аграрный университет
Благовещенск, Россия

Согласно последним исследованиям, в молочной промышленности наблюдается рост потребительского спроса на функциональные кисломолочные продукты, что делает данное направление более актуальным. Однако процесс их производства требует достижения высокого качества и безопасности за счет строгого соблюдения технологических процессов. Несмотря на то, что подбор оборудования зависит от количества произведенной продукции, можно рассмотреть его использование на основных этапах производственного процесса – от приемки сырья до упаковки готовой продукции

На первом этапе важнейшим аспектом является приемка и подготовка сырья, потому что для обеспечения надежного хранения и обработки как жидких, так и сухих ингредиентов предприятию молочной отрасли требуется высококачественное оборудование. Ключевыми элементами этого процесса являются танки-смесители и турбомиксеры, оснащенные мешалками и системами подогрева и охлаждения. Основная особенность данных миксеров заключается в том, что подача порошков осуществляется под вакуумом через нижнюю часть оборудования. Это позволяет снизить уровень пенообразования, а также обеспечить деаэрацию смеси. В результате весь процесс загрузки и смешивания сырья становится более быстрым и эффективным, что, в свою очередь, увеличивает объем выпуска обогащенной продукции.

После того как сырье поступило на предприятие, оно проходит несколько этапов подготовки, которые включают в себя термическую обработку и гомогенизацию. Для выполнения этих процессов необходимо наличие специализированных установок, предназначенных для пастеризации и охлаждения, с целью сохранения полезных свойств функциональных ингредиентов и предотвращения разрушения витаминов, которые могут быть чувствительны к высоким температурам. В свою очередь гомогенизаторы позволяют создавать однородные смеси, эмульсии и суспензии, равномерно распределяя частицы одной фазы в другой. Это важно для достижения консистенции, которая будет удовлетворять требованиям конечного продукта [2, 3].

После того как сырье прошло термическую обработку и гомогенизацию, наступает этап внесения функциональных компонентов, таких как пробиотики или ферменты. Для этой цели могут использоваться ламинированные боксы, вместе с промежуточными танками-дозаторами, оборудованные асептическими

затворами, а также специальные системы дозирования. Данные устройства позволяют точно и стерильно добавлять жидкие или реанимированные культуры, подверженные влиянию высоких температур, минимизируя риск контаминации. Если витамины и минералы обладают термоустойчивостью, их можно вводить на этапе смешивания [1].

На завершающем этапе производства функциональных кисломолочных продуктов особое внимание уделяется процессу упаковки. Для жидких и сыпучих продуктов рекомендуется использовать вертикальные упаковочные станки. Упаковка должна обеспечивать защиту продукта от внешних факторов и гарантировать его сохранность.

Критически важным для поддержания гигиены и производственной безопасности процесса является современная система автоматизированной централизованной безразборной мойки оборудования. Это обеспечивает гарантированное разделение продукта и моющих растворов в точках пересечения технологических трубопроводов, а также очистку и дезинфекцию внутренних поверхностей, контактирующих с продуктом, для исключения контаминации сырья и готового продукта. При этом процессы должны быть максимально автоматизированы для исключения рисков ошибки операторов при проведении процесса мойки [4].

Таким образом, ключевой особенностью оборудования для производства обогащенных молочных напитков является кастомизация основных производственных единиц и технологических процессов под специфику того сырья и ингредиентов, которые используются в рецептурах, для максимального сохранения их основных функциональных свойств, а также максимальная автоматизация процесса для снижения рисков отклонения от производственных рецептур и влияния человеческого фактора на процесс.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Решетник, Е. И.** Практические аспекты проектирования функциональных продуктов питания / Е. И. Решетник, Е. А. Уточкина. – Благовещенск : Дальневосточный гос. аграрный ун-т, 2012. – 97 с.
2. **Решетник, Е. И.** Технологическое моделирование процесса пастеризации молочно-соевой композиции / Е. И. Решетник, Е. А. Уточкина // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2016. – № 5 (62). – С. 90–94.
3. **Уточкина, Е. А.** Определение параметров температурной обработки молочно-растительной смеси / Е. А. Уточкина, Е. И. Решетник // Амурский медицинский журнал. – 2019. – № 2 (26). – С. 46–49.
4. Милкньюс : новости и аналитика молочного рынка. – М., 2015. – URL : <https://milknews.ru/> (дата обращения: 02.09.2026).

УДК 519.6

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ СБОРКИ АППАРАТОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

А. В. ПОДБЕРЕЗСКИЙ, А. Н. АВЛАС

Институт математики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Аппараты высокого давления (АВД), используемые для синтеза сверхтвёрдых материалов, представляют собой сборные многослойные конструкции [1, 2]. Основными элементами являются твердосплавная матрица и несколько стальных поддерживающих колец, устанавливаемых с натягом. Такая сборка создаёт в матрице поле сжимающих напряжений, которое компенсирует рабочие нагрузки. От геометрии сопрягаемых поверхностей и режимов запрессовки напрямую зависят стойкость и ресурс аппарата.

Основной проблемой, ограничивающей срок службы АВД, является недостаточная прочность составляющих её элементов конструкции. Для решения этой проблемы необходимы детальный анализ напряженно-деформированного состояния (НДС), возникающего в элементах конструкции АВД, и выявление зон концентрации напряжений, являющихся потенциальными очагами зарождения трещин уже на этапе изготовления.

Объектом исследования в работе является напряженно-деформированное состояние (НДС), возникающее в процессе сборки АВД (последовательной запрессовки колец и матрицы). Для численного моделирования последовательной запрессовки колец и матрицы процесса сборки использовалась упругая модель твёрдого тела для колец и матрицы в осесимметричной постановке с учётом контактного взаимодействия между деталями (рис. 1).

В ходе вычислительных экспериментов варьировалась геометрия участков сопрягаемых поверхностей – углы наклона и размеры фасок. Анализировалось распределение эквивалентных напряжений в элементах АВД.

Результаты расчётов показали, что в области острых кромок на границах контакта могут возникать локальные перегрузки, превышающие предел текучести стали [3]. Это создаёт риск появления микротрещин и задиров уже на этапе монтажа. Серия численных расчетов показала, что увеличение угла наклона сопрягаемых граней колец приводит к увеличению напряжений, что согласуется с физическими представлениями.

Регулируя угол наклона сопрягаемых поверхностей, была подобрана конфигурация аппаратуры с максимальными значениями напряжений при запрессовке, не превышающими предел текучести.

На основе полученных численных данных по напряженно-деформированному состоянию поддерживающих колец определена геометрия составных элементов АВД, позволившая при сборке уменьшить возникающие в них локальные напряжения ниже порога их разрушения.

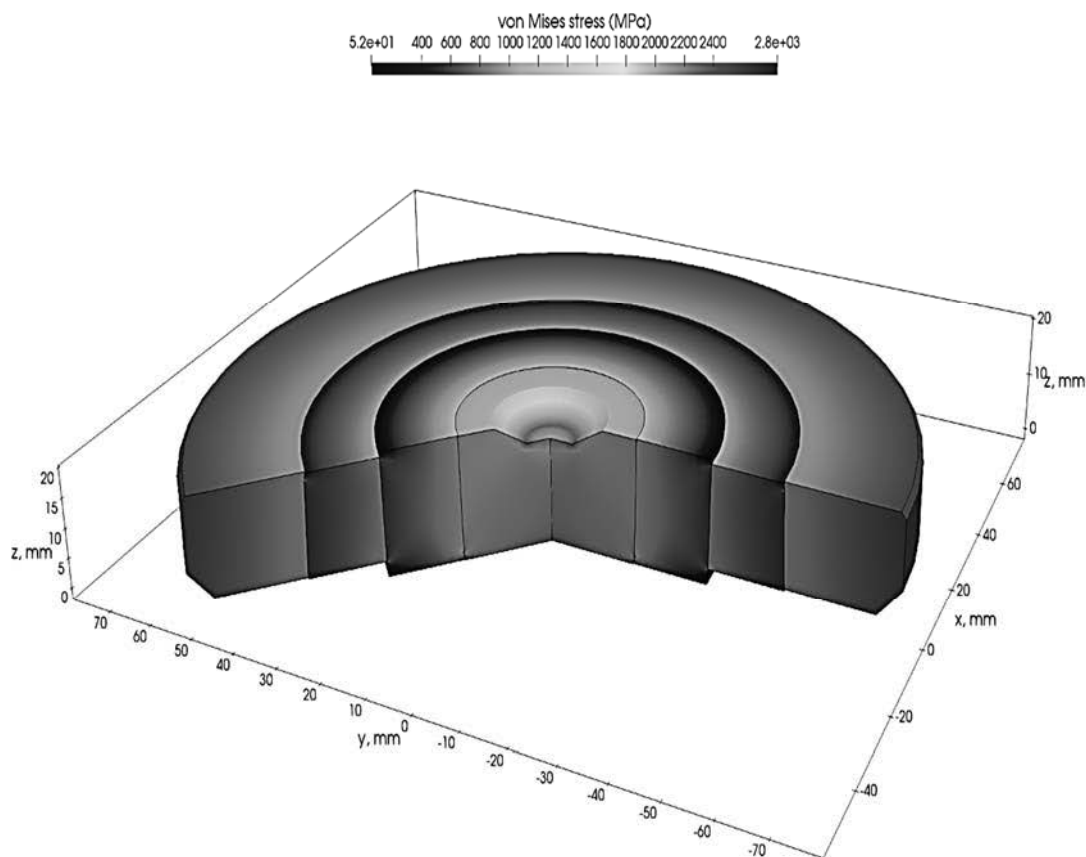


Рис. 1. Напряженно-деформированное состояние аппарата высокого давления

Кроме того, с помощью разработанной модели найдены минимальные давления индентора, необходимые для запрессовки элементов АД в единую конструкцию. Полученные результаты согласуются с экспериментальными данными.

В работе продемонстрирована работоспособность предложенного подхода к анализу процесса сборки АД. Результаты численных расчётов согласуются с экспериментальными данными и не противоречат физическим представлениям о процессе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Novikov, N.V.** Fundamentals of strength and durability calculations for high-pressure apparatus elements / N. V. Novikov, V. I. Levitas, S. I. Shestakov // *Physica B + C*. – 1986. – Vol. 139–140. – P. 782–784.
2. **Хвостанцев, Л. Г.** Аппараты высокого давления большого объема для физических исследований / Л. Г. Хвостанцев, В. Н. Слесарев // *УФН*. – 2008. – Т. 178. – С. 1099–1104.
3. **Орешко, Е. И.** Обзор критериев прочности материалов / Е. И. Орешко, В. С. Ерасов, А. В. Гриневиц // *Труды ВИАМ*. – 2019. – № 9 (79). – С. 108–126.

УДК 621.787

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА И МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МИКРОНАПРЯЖЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

М. А. РАБЫКО¹, А. Н. ЮМАНОВА¹, В. А. СИНИЦКИЙ¹

Научный руководитель В. М. ШЕМЕНКОВ², канд. техн. наук, доц.

¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Беларусь

В современном машиностроении и металлообработке к поверхностным свойствам деталей предъявляются все более высокие требования. Износостойкость, твердость, усталостная прочность и коррозионная стойкость определяют ресурс и надежность изделий, работающих в условиях интенсивных механических и тепловых нагрузок. Задачей данной работы является представление и анализ способа комбинированной упрочняющей обработки, который позволяет получить наиболее равномерную картину распределения твердости, снизить остаточные напряжения, повысить износостойкость изделия, а также увеличить производительность процесса упрочнения [1, 2].

Предлагаемый способ включает два последовательных этапа. Металлическое изделие размещают на катоде вакуумной камеры и обрабатывают поверхность плазмой тлеющего разряда, возбуждаемого в вакууме при разрядении 1,33...53,2 Па (10^{-2} ... 10^{-1} мм рт. ст.). Процесс ведут при плотности тока 0,005...0,05 мА/см² и напряжении горения тлеющего разряда 0,1...10 кВ. Расстояние между анодом и катодом составляет 0,1...1,0 м, время обработки – 10...30 мин. Особенностью данного этапа является то, что упрочнение осуществляется без специально вводимой в камеру рабочей среды. Изделие обрабатывается при низких температурах, не вызывающих термических превращений, что позволяет сохранить конструктивные и геометрические параметры детали. Упрочнение происходит за счет изменения свойств поверхностного слоя вследствие торможения налетающих заряженных частиц, что повышает стойкость и износостойкость материала.

Второй этап – магнитно-импульсная обработка, в процессе которой изделие помещают в индуктор установки магнитно-импульсной обработки и воздействуют на него импульсным магнитным полем.

Конденсаторная батарея заряжается до заданного напряжения (от единиц до десятков тысяч вольт). После достижения заданного напряжения на разрядник от блока управления подается поджигающий импульс, который инициирует пробой и коммутирует разрядную цепь. При протекании по индуктору импульса тока вокруг него создается переменное магнитное поле, которое наводит в обрабатываемом изделии вихревые токи обратного направления.

Авторами были проведены комплексные экспериментальные исследования образцов из быстрорежущей стали Р9 ГОСТ 19265–73. Исследования проводились на образцах в исходном состоянии (после отжига) и после завершения полного цикла упрочняющей обработки. Методом рентгенодифракционного анализа определялся уровень микронапряжений, являющийся структурно-чувствительным параметром, отражающим плотность дефектов кристаллической решетки, степень искажений и общее энергетическое состояние материала.

Для исходной неупрочненной стали Р9 характерен уровень микронапряжений, близкий к значению предела текучести, составляющему 490 МПа, что в пересчете на общепринятые единицы соответствует ориентировочно 0,5 ГПа. Данное состояние является термодинамически равновесным и обусловлено минимальной плотностью дислокаций и отсутствием значительных внутренних напряжений, характерных для отожженного состояния.

После проведения комплексной обработки, основанной на тлеющем разряде, было зафиксировано значительное изменение уровня микронапряжений. Анализ экспериментальных данных, полученных на образцах, показал, что значения микронапряжений варьируются в диапазоне от 1,87 до 2,18 ГПа.

Сопоставление полученных результатов с уровнем микронапряжений исходной стали позволяет констатировать, что в среднем комбинированная обработка приводит к возрастанию микронапряжений в 2,8 раза. Данный факт указывает на эффективное формирование в поверхностном слое высокодефектной структуры, характеризующейся повышенной плотностью дислокаций и искажениями кристаллической решетки, что является физической основой повышения твердости и износостойкости. Данное повышение коррелирует с известными эффектами увеличения твердости до 20 % и роста износостойкости в 1,7 раза, что подтверждает достижение основной цели упрочнения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рабыко, М. А.** Использование прикатодного магнитного поля как фактор повышения эффективности упрочнения тлеющим разрядом штамповой оснастки / М. А. Рабыко, В. М. Шеменков // Инновационные технологии в машиностроении : электрон. сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 55-летию Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк, 18–19 апр. 2023 г. – Новополоцк, 2023. – С. 153–155.

2. **Шеменков, В. М.** Технологические аспекты использования тлеющего разряда для упрочнения изделий из инструментальных материалов / В. М. Шеменков, М. А. Рабыко, А. Н. Юманова // Инновационные технологические системы и процессы в машиностроении : сб. ст. I Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 23–24 нояб. 2023 г. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2023. – С. 19–23.

УДК 621.787

ИССЛЕДОВАНИЯ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА
ИМПУЛЬСНО-УДАРНОГО УПРОЧНЕНИЯ ВАЛОВ

М. В. ТАРАДЕЙКО

Научный руководитель Д. М. СВИРЕПА, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Шум на рабочем месте является неблагоприятным фактором, влияющим на работоспособность рабочего, его усталость и внимательность. Зачастую высокий уровень шума может приводить к проблемам со здоровьем и даже быть причиной несчастных случаев на рабочем месте. Поэтому важно внедрять технологии обработки материалов, при которых уровень звука (звукового давления) лежит в безопасных пределах.

Перспективным методом отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей является импульсно-ударное упрочнение, позволяющее эффективно снижать шероховатость поверхности, формировать топографию рельефа в виде сетки пересекающихся маслоудерживающих лунок, получать модифицированный поверхностный слой, обладающий высокими эксплуатационными свойствами. Однако из-за новизны метода до настоящего времени не проводились исследования шумовых характеристик, возникающих в процессе обработки.

Импульсно-ударному упрочнению подвергались заготовки из стали 45 (180...200 НВ) с размерами $\varnothing 60 \times 160$ мм. Обработку осуществляли на токарно-винторезном станке модели 16К20. Параметры процесса упрочнения: частота вращения детали – 1600 мин^{-1} ; подача инструмента – $0,05 \text{ мм/об}$; охлаждение – масло индустриальное.

В качестве инструмента для осуществления процесса импульсно-ударного упрочнения применяли двухрядный импульсно-ударный накатник, конструкция которого описана в [1]. Количество деформирующих шаров инструмента – 13 шт., материал деформирующих шаров инструмента – ШХ15; количество источников магнитного поля – 28 шт., материал источников магнитного поля – Nd Fe B; индукция магнитного поля, действующего на упрочняемую поверхность, – $0,25...0,30 \text{ Тл}$.

При измерении шумовых характеристик процесса пользовались стандартной методикой, изложенной в ГОСТ 12.1.050–86 [2]. Контроль уровня шума осуществляли при помощи анализатора шума и вибраций «АССИСТЕНТ БВЕК.438150-005».

Для определения доли шума, вносимого оборудованием, производили измерение шумовых характеристик станка, работающего «вхолостую», т. е. без работы инструмента.

Результаты исследования уровня звукового давления представлены на рис. 1, эквивалентного уровня звука от частоты вращения вала – на рис. 2.

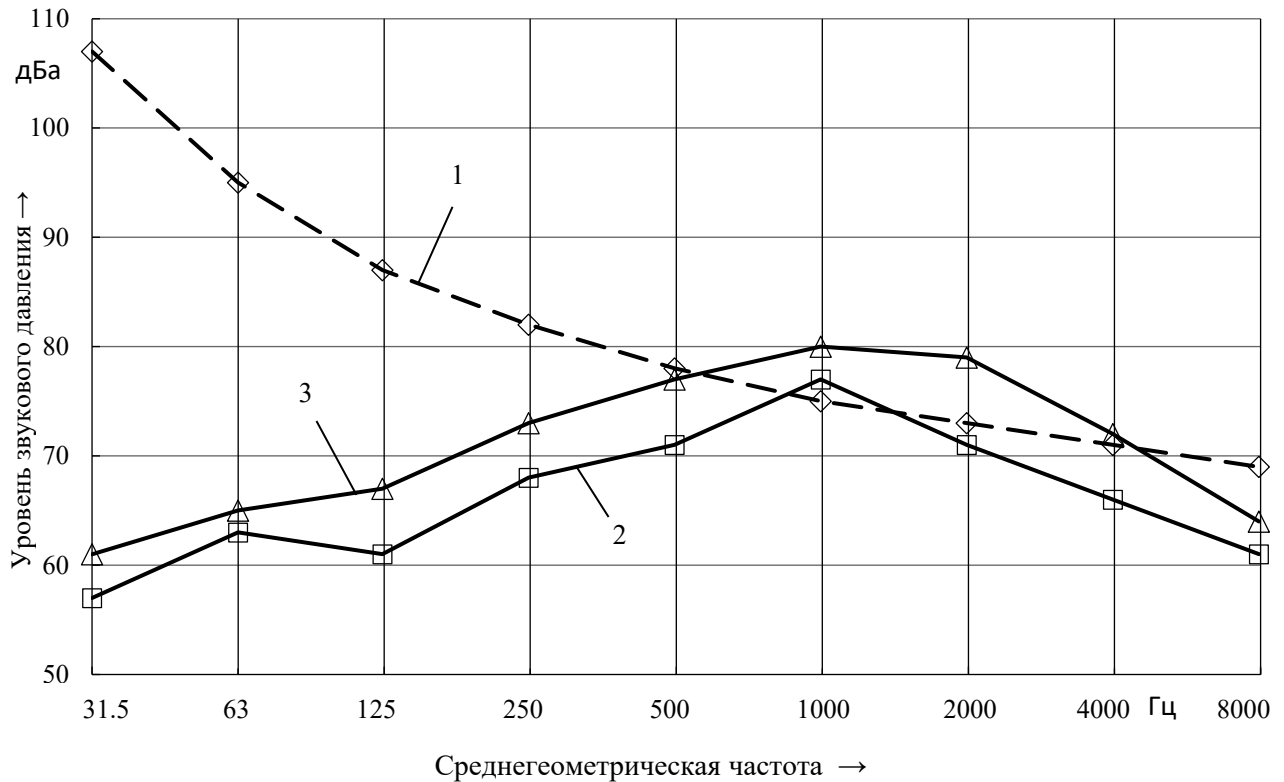


Рис. 1. Октавные уровни звукового давления при реализации метода импульсно-ударного упрочнения: 1 – допустимый уровень звукового давления в производственном помещении, установленный СанПиН; 2 – при работе станка 16K20 «вхолостую»; 3 – при импульсно-ударном упрочнении

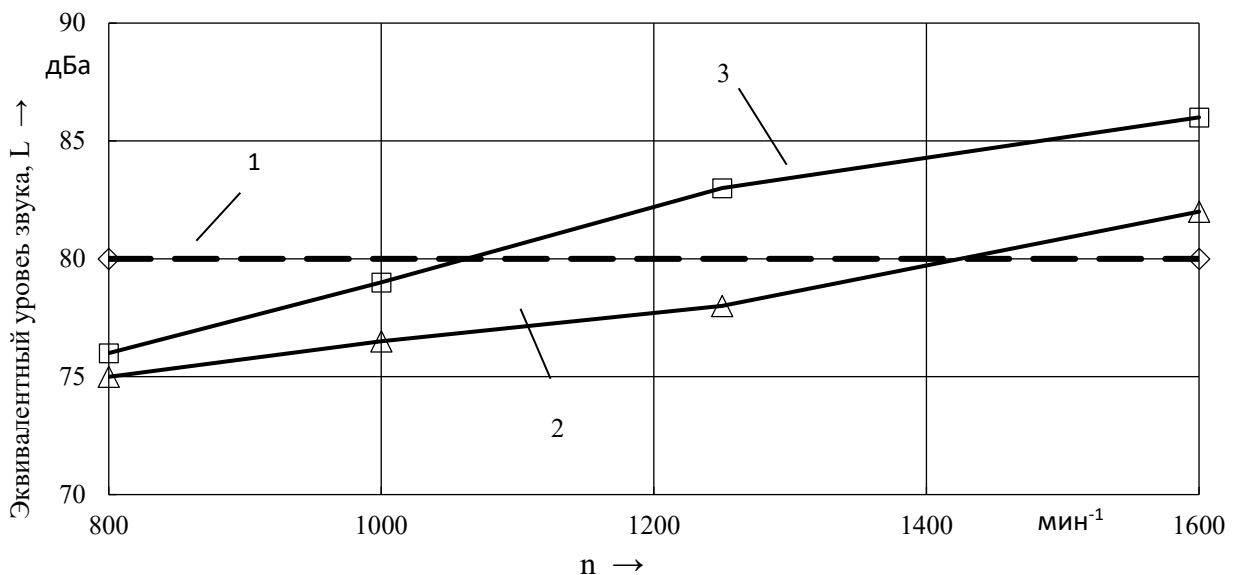


Рис. 2. Эквивалентный уровень звука при обработке вала импульсно-ударным упрочнением: 1 – допустимый эквивалентный уровень звука в производственном помещении, установленный СанПиН; 2 – при работе станка 16K20 «вхолостую»; 3 – при импульсно-ударном упрочнении

В процессе исследования было выявлено (см. рис. 1), что уровень звукового давления превышал максимальные значения, установленные СанПиН [3], в октавах 1000, 2000 и 4000 Гц. При этом превышение уровня звукового давления при осуществлении процесса импульсно-ударного упрочнения над уровнем звукового давления при работе оборудования «вхолостую» составило 3,9 % (80 и 77 дБа), 11,2 % (79 и 71 дБа), 6,1 % (72 и 66 дБа) для частот 1000, 2000 и 4000 Гц соответственно.

Результаты измерения эквивалентного уровня звука при упрочнении вала приведены на рис. 2. Допустимый уровень звука выходит за установленные пределы при частотах вращения детали 1250 и 1600 мин⁻¹. Превышение эквивалентного уровня звука при осуществлении процесса импульсно-ударного упрочнения над уровнем звука работающего оборудования «вхолостую» составило 6,4 % (78 и 83 дБа) и 4,9 % (86 и 82 дБа) для частот 1250 и 1600 мин⁻¹ соответственно.

Проведенные исследования позволили установить, что превышение уровня звукового давления при осуществлении процесса импульсно-ударного накатывания наблюдалось в области относительно высоких частот (1000...4000 Гц) и обусловлено, вероятно, шумом оборудования. Превышение эквивалентного уровня звука при частотах упрочнения 1250 и 1600 мин⁻¹ также, вероятно, вызвано вносимым шумом оборудования.

Для дополнительного снижения уровня звукового давления в названном диапазоне (1000...4000 Гц), а также эквивалентного уровня звука при реализации метода импульсно-ударного упрочнения рекомендуется предусмотреть кожух или вспомогательные звукопоглощающие элементы корпуса, что позволит снизить шум при обработке на 2...5 дБа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тарадейко, М. В.** Конструкция инструмента для совмещенного магнитно-динамического накатывания наружных поверхностей вращения / М. В. Тарадейко, Д. М. Свирепа // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2022. – С. 34–35.
2. Методы измерения шума на рабочих местах : ГОСТ 12.1.050–86. – Взамен ГОСТ 20445–75; введ. 01.01.87. – М. : Стандартинформ, 2007. – 19 с.
3. Об утверждении Санитарных норм, правил и гигиенических нормативов «Шум на рабочих местах» : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 16 нояб. 2011 г. № 115 // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система. – URL: <https://etalonline.by/document/?regnum=w21124521p> (дата обращения: 03.09.2026).

УДК 621.9.042

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЯ КАК ЗАДАЧА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

О. Н. ШИШОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Задача выбора рациональной технологии обработки отверстия относится к классу задач структурно-параметрической оптимизации технологических процессов, в которых определяются состав технологического маршрута и параметры входящих в него операций [1]. Для заданных геометрических характеристик обрабатываемой поверхности, требований к точности и качеству её обработки, а также параметров заготовки может существовать несколько допустимых технологических маршрутов, различающихся составом и последовательностью операций. Каждая операция при этом может выполняться различными способами, предусматривающими выбор оборудования, режущего инструмента и параметров режима резания [2].

В данном исследовании предлагается подход к выбору рациональной технологии обработки, основанный на комплексной оценке допустимых технологических маршрутов по основному машинному времени и затраченной работе оборудования. В рамках подхода указанные показатели объединяются в комплексный критерий, по минимальному значению которого выбирается рациональный маршрут при условии выполнения заданных требований.

При формализации задачи в математической модели выделяются параметры, необходимые для определения условий выполнения операций, расчёта основных характеристик процесса и формирования области поиска рациональных решений. Их значения используются при выборе оборудования, режущего инструмента и режимов резания. Состав рассматриваемых параметров определяется принятой постановкой задачи.

Для обработки отверстия задаётся конечный набор технологических операций, обеспечивающих формирование требуемых характеристик и технологическую реализуемость процесса. На их основе формируются возможные технологические маршруты, соответствующие заданным требованиям и ограничениям.

Выбор рациональной технологии осуществляется на двух взаимосвязанных уровнях – структурном и параметрическом. На структурном уровне формируются допустимые технологические маршруты, различающиеся составом и последовательностью операций. На параметрическом уровне для каждой операции определяется сочетание оборудования, режущего инструмента и параметров режима резания, обеспечивающее выполнение заданных требований.

Связь между уровнями определяется тем, что выбранная структура маршрута задаёт состав и последовательность операций, а параметры их выполнения влияют на условия последующей обработки. Поэтому при изменении

структуры маршрута изменяется и состав параметров, подлежащих выбору. В результате задача параметрической оптимизации рассматривается для каждой фиксированной структуры маршрута.

При фиксированной структуре маршрута определяется набор варьируемых параметров, характеризующих оборудование, режущий инструмент и режимы резания. Их значения должны удовлетворять установленным технологическим ограничениям и обеспечивать достижение требуемых характеристик обработки. Таким образом, параметрическая оптимизация сводится к поиску сочетания переменных, обеспечивающего наилучшее значение комплексного критерия в заданной области решений.

Для решения задачи параметрической оптимизации в исследовании используется генетический алгоритм [3]. Его применение позволяет осуществлять поиск сочетаний дискретных и непрерывных параметров при наличии технологических ограничений. Полученные варианты оцениваются по значению комплексного критерия, сформированного на основе основного машинного времени и затраченной работы оборудования.

Технологические ограничения в рассматриваемой постановке относятся к оборудованию токарной группы и учитываются при оценке вариантов технологического процесса. Они определяют область допустимых значений параметров и позволяют исключить варианты, не обеспечивающие выполнение заданных технологических условий. Расширение модели на другие технологические группы требует адаптации соответствующих параметров и ограничений.

Таким образом, предложенный подход объединяет выбор структуры технологического маршрута и параметрическую оптимизацию входящих в него операций. При фиксированной структуре маршрута генетический алгоритм используется для поиска рационального сочетания параметров оборудования, режущего инструмента и режима резания, после чего варианты сопоставляются по комплексному критерию при условии выполнения установленных технологических ограничений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Скуратов, Д. Л.** Модель структурно-параметрической оптимизации технологического процесса механической обработки на стадии его проектирования / Д. Л. Скуратов, С. Ю. Сидоров // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2006. – № 2-2. – С. 343–346.
2. **Технология машиностроения : учеб. пособие / под ред. М. Ф. Пашкевича.** – Мн. : Новое знание, 2008. – 478 с.
3. **Фролов, В. В.** Особенности реализации генетического алгоритма для проектирования технологических систем механической обработки / В. В. Фролов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/9 (57). – С. 60–65.

УДК 539.3:519.6

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО МОДУЛЯ ЮНГА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Н. АВЛАС, А. С. ПУЗАНОВ

Институт математики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Актуальность и цель работы. Композиционные порошковые материалы находят широкое применение во многих высокотехнологичных отраслях промышленности благодаря возможности целенаправленного изменения их физико-механических свойств путём варьирования состава, формы и объёмной доли наполнителя. Одной из ключевых характеристик, определяющих несущую способность и долговечность изделия, является эффективный модуль упругости (модуль Юнга). Экспериментальное определение этого параметра для каждого нового состава требует значительных временных и материальных затрат. В связи с этим особую актуальность приобретают вычислительные методики, позволяющие прогнозировать макроскопические упругие свойства композита на основе анализа его микроструктуры и свойств компонентов.

Целью работы является расширение существующего программного комплекса, реализующего численный метод для определения эффективного модуля Юнга композиционных порошковых материалов в двумерной постановке на основе энергетического баланса и метода контрольного объема, а также апробация комплекса на примере реальных композиционных систем.

Математическая модель и численный метод. В основе разработанного программного комплекса лежит математическая модель, имитирующая физический эксперимент по растяжению представительного объема материала (ячейки периодичности). На контактных границах между различными фазами использованы условия идеальной адгезии.

Эффективный модуль упругости определяется из условия равенства работы внешних сил, затраченной на деформацию представительного объема, и суммарной потенциальной энергии деформации всех ячеек сетки. Такой подход является физически обоснованным и позволяет получать интегральные характеристики композита на основе локальных полей напряжений и деформаций, вычисляемых согласно разработанному ранее численному методу [1].

Проведена апробация программного комплекса для разных композитов, в том числе исследовалась зависимость эффективного модуля от объёмной доли включений для меди с включениями карбида вольфрама (WC) и тефлона (PTFE), а также исследование градиентных покрытий. Полученные результаты качественно согласуются с физическими представлениями и справочными данными для чистых материалов.

Программный комплекс: архитектура и функциональные возможности. Численный метод внедрен в программный комплекс

CompositeMath, предназначенный для автоматизации процесса расчета эффективных характеристик (тепловых и упругих) композиционных порошковых материалов и ориентированный на использование в инженерной практике и научно-исследовательских работах при проектировании новых материалов и оптимизации их состава, предоставляя единую среду для проведения полного цикла виртуальных испытаний.

Комплекс реализован на языке C++ с использованием библиотеки Qt5. Приложение является локальным и предназначено для запуска на десктопных персональных компьютерах под управлением операционных систем семейства Windows. Модульная архитектура комплекса обеспечивает гибкость и возможность расширения функциональности без перестройки всей системы. Хранение исходных данных, настроек расчета и полученных результатов осуществляется в XML-файлах.

В составе комплекса выделены следующие основные модули.

1. Вычислительный модуль (вычислительное ядро комплекса). Содержит реализацию метода контрольного объема для каждого доступного класса задач с предзаданными граничными условиями на разных типах сеток.

2. Модуль управления вычислительными сетками. Содержит структуры данных, реализующих генерацию сетки на основании структуры композита из файла, обработку и хранение данных для численных алгоритмов.

3. Иные технические модули, обеспечивающие работоспособность комплекса.

Для взаимодействия пользователя с вычислительным ядром программного комплекса реализована графическая оболочка в виде отдельного приложения. В рамках данной оболочки пользователь осуществляет ввод и подготовку структуры исследуемого композита, настроек вычислительных алгоритмов, обновляет базу материалов.

Заключение. Разработанная реализация алгоритма для программного комплекса CompositeMath является эффективным инструментом для прогнозирования эффективного модуля Юнга композиционных порошковых материалов. Комплекс позволяет проводить виртуальные испытания, значительно сокращая трудоемкость и стоимость разработки новых материалов. Модульная архитектура и гибкость настроек делают его пригодным для решения широкого круга задач, включая анализ формы, размера, объемной доли включений и температуры на упругие характеристики. Представленные результаты вычислительных экспериментов подтверждают работоспособность и корректность разработанного подхода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громыко, Г. Ф. Численный метод для нахождения эффективного модуля Юнга композиционных порошковых материалов / Г. Ф. Громыко, А. Н. Авлас // Труды Института математики НАН Беларуси. – 2026. – Т. 34, № 1. – С. 96–117.

УДК 678.01:620:17

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ, НАПОЛНЕННЫХ КВАРЦЕВЫМ ПЕСКОМ

Х. В. АЛЛАХВЕРДИЕВА^{1,2}, Н. Т. КАХРАМАНОВ², Н. М. ХУДАВЕРДИЕВ²,
С. Р. АБДАЛОВА², З. Ф. ЮСИФОВА¹, А. М. АХМЕДОВА¹, Г. М. СЕИДОВА¹

¹Сумгаитский государственный университет

²Институт полимерных материалов

при Сумгайтском государственном университете

Сумгаит, Азербайджан

Композиты на основе полиолефинов и кварцевого песка – это экономичные, прочные песчано-полимерные материалы, используемые в строительстве, машиностроении и для создания износостойких покрытий [1]. Песок выступает наполнителем, повышая прочность и тем самым снижая себестоимость матрицы. Известно, что для получения высококачественного материала необходима определенная совместимость между наполнителем и полимерной матрицей. Каждый из компонентов вносит вклад в структуру и свойства композиционного материала. В связи с этим такие материалы становятся все более востребованными в современной промышленности, поскольку им можно придавать новые или улучшенные свойства [2]. В представленной работе изучено влияние особого типа компатибилизатора на физико-механические свойства композита на основе блок-сополимера пропилена с этиленом (БЕП) и кварцем. Состав композита подтвержден ИК-спектральным анализом, как показано на рис. 1.

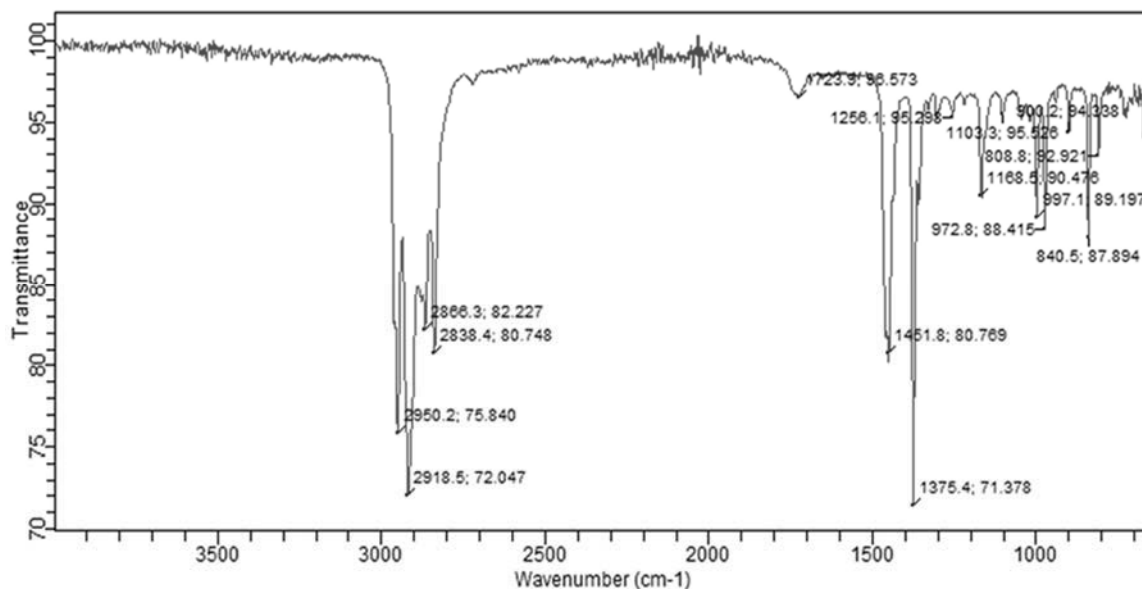


Рис. 1. ИК-спектральный анализ композита на основе БЕП и кварцевого песка

Рисунок подтверждает наличие БЕП и кварцевого наполнителя в составе исследуемого композиционного материала. Характерные полосы поглощения БЕП наблюдаются при 2950, 2918, 2886, 2838, 1451, 1375, 1256, 1168, 997, 972,

908 и 840 см^{-1} . Полосы в области около 1103, 808 и 728 см^{-1} могут быть связаны с колебаниями Si–O–Si кварцевой фазы. Отсутствие выраженной полосы C = O в области 1700...1750 см^{-1} свидетельствует об отсутствии существенного окисления полимерной матрицы. Полученные данные подтверждают сохранение химической структуры БЕП при введении кварцевого наполнителя и наличие кремнеземсодержащей дисперсной фазы в исследуемом композите.

Размер частиц наполнителя составлял 121 мкм. В табл. 1 приводятся результаты исследования разрушающего напряжения и относительного удлинения полимерных композитов на основе БЕП + кварцевый песок.

Табл. 1. Физико-механические свойства композитов

Состав композиции, мас. %	Разрушающее напряжение, МПа	Относительное удлинение, %
БЕП	30,66	20
97 БЕП + 1 кварц + 2 К	32,45	54
95 БЕП + 3 кварц + 2 К	35,05	42
93 БЕП + 5 кварц + 2 К	30,49	35
91 БЕП + 7 кварц + 2 К	39,84	40
88 БЕП + 10 кварц + 2 К	34,18	36
83 БЕП + 15 кварц + 2 К	42,52	42
78 БЕП + 20 кварц + 2 К	41,78	30
<i>Примечание</i> – К – компатибилизатор, модифицированный малеиновым ангидридом полипропилен		

Согласно результатам исследования (см. табл. 1), наивысший показатель прочности наблюдался в композиции с 15 % кварца. В этом случае предел прочности при разрыве составляет 42,52 МПа, а относительное удлинение – 42 %. При увеличении количества кварца до 20 % предел прочности при разрыве составляет 41,78 МПа, но относительное удлинение снижается до 30 %. Таким образом, включение частиц кварца в состав приводит к улучшению прочностных свойств материала. Однако чрезмерное увеличение количества кварца приводит к снижению эластичности композита. Исследования показали, что оптимальное сочетание механических свойств наблюдается в составе с содержанием кварца около 15 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. О возможности применения песчано-полимерных композиционных материалов в изделиях машиностроительного назначения / Т. Ю. Никонова, Г. С. Жетесова, О. М. Жаркевич [и др.] // BULLETIN of L. N. Gumilyov ENU. Technical Science and Technology Series. – 2023. – Vol. 144 (3). – P. 89–99.
2. Investigation of Properties of the Composite Material Based on the Epoxy and Silica Sand Polydisperse Mixture / M. M. Buzmakova, V. G. Gilev, A. F. Merzlyakov, S. V. Rusakov // PNRPU Mechanics Bulletin. – 2024. – № 6. – P. 15–24.

УДК 678.5:678.01:532.135

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА И РАЗМЕРА ЧАСТИЦ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА НА ТЕКУЧЕСТЬ КОМПОЗИТОВ

Х. В. АЛЛАХВЕРДИЕВА^{1,2}, Н. Т. КАХРАМАНОВ², Н. М. ХУДАВЕРДИЕВ²,
Р. Н. ЛАЛАЕВА², Л. Х. ХАМЕДОВА², А. А. ГАСАНОВА², У. В. БАГИРОВА²

¹Сумгаитский государственный университет

²Институт полимерных материалов
при Сумгайтском государственном университете
Сумгаит, Азербайджан

Известно, что технология, используемая для переработки получаемого композита, считается важным вопросом [1]. Одним из факторов, влияющих на технологию переработки, является количество наполнителя [2]. С этой целью в данной работе представлены результаты зависимости показателя текучести расплава (ПТР) от количества наполнителя. На начальном этапе исследования определен размер частиц кварца. Было установлено, что 90 % размеров составляют 121 мкм, как показано на рис. 1.



Рис.1. Размер частиц кварцевого песка

Как видно из таблицы, для композитов без компатибилизатора кварц в данном случае выступает как жесткий наполнитель. Увеличение ПТР может указывать на то, что частицы кварца при определенных концентрациях способствуют снижению вязкости расплава, или же на слабую межфазную адгезию, из-за чего полимер легче течет вокруг частиц. Максимальное значение

ПТР наблюдается при добавлении 15 % кварца (1,27 г/10 мин). При 20 % ПТР начинает снижаться (1,16 г/10 мин), что логично: при очень высоком наполнении частицы начинают физически препятствовать течению расплава.

Табл. 1. Показатель текучести расплава наполненных композитов

Состав композита без компатибилизатора, %	ПТР, г/10 мин	Состав композита с компатибилизатором, %	ПТР, г/10 мин
БЕП	0,60	БЕП	0,60
97 БЕП + 1 кварц	0,87	97 БЕП + 1 кварц + 2 К	0,73
95 БЕП + 3 кварц	1,07	95 БЕП + 3 кварц + 2 К	0,84
93 БЕП + 5 кварц	1,06	93 БЕП + 5 кварц + 2 К	0,663
91 БЕП + 7 кварц	1,17	91 БЕП + 7 кварц + 2 К	0,74
88 БЕП + 10 кварц	1,25	88 БЕП + 10 кварц + 2 К	0,73
83 БЕП + 15 кварц	1,27	83 БЕП + 15 кварц + 2 К	0,88
78 БЕП + 20 кварц	1,16	78 БЕП + 20 кварц + 2 К	1,06
<i>Примечание – К – компатибилизатор</i>			

Введение компатибилизатора значительно снижает показатель текучести расплава по сравнению с аналогичными составами без него. Например, для состава с 10 % кварца ПТР падает с 1,25 до 0,73 г/10 мин. Это прямое доказательство того, что компатибилизатор работает. Он улучшает взаимодействие на границе раздела «полимер – кварц». Цепочки полимера «пришиваются» к поверхности наполнителя, что увеличивает вязкость расплава и, соответственно, уменьшает его текучесть. Данные показывают, что использование компатибилизатора позволяет создать более стабильную и вязкую структуру материала. Без него наполнитель (кварц) повышает текучесть, что может негативно сказаться на физико-механических свойствах готового изделия. С добавкой компатибилизатора композит становится более однородным, что обычно коррелирует с улучшением прочностных характеристик.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Structural features and mechanism of crystallization of nanocomposites based on maleinated high density polyethylene and carbon black / Kh. V. Allahverdiyeva, N. T. Kakhramanov, G. S. Martynova [et al.] // Heliyon. – 2023. – Vol. 9, № 4.
2. Osipchik Reactive extrusion of dynamic elastoplastics on the basis of thermoplastic polyolefins and butyl rubber / Z. N. Guseynova, N. T. Kahramanov, A. A. Hasanova [et al.] // Chemical Problems. – 2019. – Vol. 17, № 2. – P. 267–274.

УДК 621.762

АЛЮМИНИЕВЫЕ БРОНЗЫ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ: ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ СВОЙСТВ

АН ЙИН, А. Д. ДОБРОВОЛЬСКИЙ

Научный руководитель И. А. ЛОЗИКОВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Алюминиевые бронзы получили широкое распространение в машиностроении. Они обладают удовлетворительным комплексом механических и антифрикционных свойств, хорошей коррозионной стойкостью и применяются для изготовления нагруженных деталей машин и механизмов, работающих в контакте с агрессивными средами в условиях интенсивного износа и при повышенных температурах [1–4]. На сегодняшний день промышленный выпуск этих бронз в Республике Беларусь не освоен. Основным поставщиком в РБ различного по сортаменту цветного металлопроката, а также прессованных и тянутых труб, металлопрофилей является Российская Федерация. В то же время поставляемый металлопрокат часто вызывает нарекания у потребителей ввиду низкой стабильности механических и трибологических свойств деталей, изготовленных из разных партий металла, особенно сложнолегированного, что связано с неоднородностью химического состава и структуры сплавов по объему получаемой отливки.

Также при изготовлении изделий ответственного назначения, работающих в особо жестких температурно-силовых условиях при повышенных ударных и вибрационных нагрузках, уровень свойств сплавов часто является недостаточным, что требует необходимости замены алюминиевых бронз на более дорогие хромовые или бериллиевые.

Указанные проблемы можно решить за счет использования при их производстве механически сплавленных модифицирующих лигатур с суб-/микроструктурным типом основы, содержащих синтезированные в процессе обработки нано-/субмикроразмерные включения, играющие роль эффективных модификаторов первого рода. Полученные по этой технологии сплавы наследуют суб-/микрокристаллический тип основы лигатуры, что значительно повышает физико-механические свойства бронзы, в том числе температуру начала рекристаллизации, тем самым значительно расширяет возможные области применения.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

– установить закономерности формирования фазового состава, структуры и свойств на всех стадиях получения модифицирующих лигатур на основе нестабилизированных порошков для производства модифицированных высокопрочных алюминиевых бронз конструкционного назначения;

– установить закономерности формирования фазового состава, структуры и свойств на всех стадиях производства модифицированных высокопрочных алюминиевых бронз конструкционного назначения, полученных по технологии, сочетающей реакционное механическое сплавление и литье с применением элементов рециклинга медных отходов;

– изучить влияние технологических факторов на структуру, фазовый состав, физико-механические свойства модифицированных высокопрочных алюминиевых бронз конструкционного назначения и определить граничные параметры реализации технологии;

– оптимизировать технологии получения материалов и исходные составы композиций, изучить физико-механические свойства материалов, разработать технологические процессы для производства изделий определенной номенклатуры в условиях как единичного, так и мелкосерийного наукоемкого производства.

Представленная тема предполагаемых исследований соответствует приоритетному направлению «Химические и физические процессы, основанные на них материалы с заданными свойствами и новые технологии» перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь. В Белорусско-Российском университете имеется необходимая материально-техническая база для проведения научно-исследовательских работ по разработке модифицирующих нано-/субмикроструктурных лигатур и получения сплавов с их применением, а создание теории и технологии получения модифицированных высокопрочных алюминиевых бронз конструкционного назначения с элементами рециклинга медных отходов позволит повысить в 1,5–2 раза стойкость изделий, снизить их металлоемкость и соответственно снизить стоимость производимых узлов и механизмов.

Разработанная технология позволит создать импортозамещающее производство и наладить выпуск данной группы сплавов и изделий из них в условиях малотоннажного наукоемкого производства для нужд предприятий Республики Беларусь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Николаев, А. К.** Применение жаропрочных медных сплавов в кристаллизаторах непрерывного литья слитков / А. К. Николаев, Г. В. Ашихмин // Цветная металлургия. – 2003. – № 11. – С. 28–36.
2. **Николаев, А. К.** Повышение качества полуфабрикатов из цветных металлов / А. К. Николаев // Цветные металлы. – 1982. – № 3. – С. 59–63.
3. **Захаров, М. В.** Жаропрочные сплавы / М. В. Захаров, А. М. Захаров. – М. : Металлургия, 1972. – 384 с.
4. **Марукович, Е. И.** Наноструктурная кристаллизация литейных сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко, А. В. Стеценко // Литье и металлургия. – 2022. – № 3. – С. 13–19.

УДК 666.762.14

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЯЗУЮЩИХ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МУЛЛИТОВЫХ ОГНЕУПОРОВ

Я. И. БЕКЕТОВА

Научный руководитель А. Р. ХАФИЗОВА

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Екатеринбург, Россия

Муллитовые огнеупоры широко используются для футеровки частей тепловых агрегатов благодаря высокой огнеупорности, устойчивости к термоударам и химическому воздействию. В настоящее время в качестве связующей системы применяется лигносульфонат технический, обеспечивающий временную прочность сырца и полностью выгорающий уже при температуре выше 400 °С. *Целью работы* является поиск и исследование альтернативных связующих для производства муллитовых огнеупоров с содержанием Al_2O_3 не менее 62 %, обеспечивающих снижение себестоимости изделий, а также повышение физико-механических свойств.

В качестве исходных сырьевых материалов использовались заполнитель шамотный ЗШК-1 и лом высокоглиноземистых изделий, электрокорунд фракции менее 50 мкм, глина Нижне-Увельского месторождения. Исследуемые как органические, так и неорганические связующие вводились в глиняном шликере с указанной плотностью укрепляющего раствора; составы представлены в табл. 1.

Табл. 1. Исследуемые составы муллитовых огнеупорных изделий

Компонент	Содержание, мас. %, в составе						
	1	2	3	4	5	6	7
Глина НУ-2	25	25	25	25	25	25	25
Лом БЛ	48	—	48	48	48	48	48
ЗШК-1	—	33	—	—	—	—	—
Электрокорунд, фр. 50 мкм	27	42	27	27	27	27	27
Связующие							
Укрепляющий раствор, $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$ (глиняный шликер и лигносульфонат технический)	6						
Укрепляющий раствор, $\rho = 1,17 \text{ г/см}^3$ (глиняный шликер и патока)			6				
Укрепляющий раствор, $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$ (глиняный шликер и декстрин)				6			
Укрепляющий раствор, $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$ (глиняный шликер и карбоксиметил-пропилцеллюлоза)					6		

Окончание табл. 1

Компонент	Содержание, мас. %, в составе						
	1	2	3	4	5	6	7
Укрепляющий раствор, $\rho = 1,16 \text{ г/см}^3$ (глиняный шликер и алюмохром-фосфатное связующее)						8	
Укрепляющий раствор, $\rho = 1,17 \text{ г/см}^3$ (глиняный шликер и ортофосфорная кислота)							6

Для приготовления укрепляющего раствора первым этапом готовили глиняный шликер – глину распускали в воде, затем готовый укрепляющий раствор получали смешением глиняного шликера с раствором лигно-сульфоната технического (ЛСТ). По аналогии готовили все остальные составы укрепляющих растворов с введением патоки, декстрина и карбокси-метил-пропилцеллюлозы (КМПЦ). Также были исследованы связующие, представляющие собой предварительно приготовленные глиноалюмохром-фосфатный и глинофосфатный растворы.

Результаты физико-механических показателей образцов после сушки и обжига при 110°C и 1400°C соответственно представлены в табл. 2.

Табл. 2. Физико-механические свойства образцов

Свойство	Состав						
	1	2	3	4	5	6	7
110 °C							
Водопоглощение, %	5,8	5,2	6,3	5,5	6,1	6,5	5,1
Открытая пористость, %	18,6	16,8	19,5	17,5	19,2	20,2	16,6
Кажущаяся плотность, г/см^3	2,53	2,59	2,51	2,55	2,52	2,49	2,61
Предел прочности при сжатии, МПа	12,9	11,5	12,7	17,3	7,8	10,9	28,9
1400 °C							
Водопоглощение, %	6,6	6	7,3	6,9	6,9	7,1	5,5
Открытая пористость, %	20,4	19,4	22,1	21,2	21,3	21,7	17,4
Кажущаяся плотность, г/см^3	2,48	2,54	2,43	2,45	2,46	2,44	2,52
Предел прочности при сжатии, МПа	48,5	53,0	36,0	53,0	50,0	41,2	48,0

Замена в шихте рядовых муллитовых огнеупоров боя рециклингового огнеупорного заполнителя БЛ на первородный шамотный заполнитель ЗШК

позволяет улучшить физико-химические свойства изделий как после сушки, так и после обжига: снизить открытую пористость с 20,4 % до 19,4 % и увеличить предел прочности при сжатии после обжига при 1400 °С с 48,5 до 53,0 МПа.

Замена в связующей части шихты ЛСТ на альтернативные временные связующие (патока, декстрин, КМПЦ) технически возможна. Наилучшие результаты показывает замена ЛСТ на декстрин и КМПЦ. Использование декстрина позволяет при практически равных показателях открытой пористости и кажущейся плотности по сравнению с составом 1 увеличить предел прочности при сжатии изделий после сушки с 13 до 17 МПа, а после обжига при 1400 °С – с 48,5 до 53,0 МПа. Использование КМПЦ привело к следующим результатам: незначительное увеличение открытой пористости с 20,4 % до 21,3 % и увеличение предела прочности при сжатии с 48,5 до 50,0 МПа.

Использование в качестве компонента укрепляющего раствора фосфатных связующих приводит к уплотнению и упрочнению изделий во всем диапазоне температур.

УДК 542.973

НЕПЛАТИНОВЫЙ КАТАЛИЗАТОР РАЗЛОЖЕНИЯ ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ДИНИТРАМИДА АММОНИЯ

Е. А. БОГДАНОВА^{1, 2}Научный руководитель А. Н. АСТАПОВ¹, канд. техн. наук¹Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
Москва, Россия²АО «Опытное конструкторское бюро «Факел»
Калининград, Россия

Внедрение так называемых «зеленых» топлив в серийные двигатели малой тяги встречает ряд ограничений, связанных с условиями функционирования, таких как высокие температуры разложения топлива, значительный перепад температур за короткие промежутки времени, высокое давление газов и т. д.

Ключевым функциональным материалом двигателя, работающего на однокомпонентном топливе, является катализатор, требующийся для разложения топлива. Динитрамид аммония (АДНА) является одним из наиболее перспективных окислителей для таких топлив благодаря высокому удельному импульсу и меньшей токсичности в сравнении с гидразином. Кроме того, АДНА обладает высокой плотностью (1,82 г/см³) и энергоемкостью, что позволяет создавать компактные топливные баки с увеличенным запасом рабочего тела, критически важные для малых космических аппаратов и двигателей ориентации и коррекции.

В течение длительного времени гидразин и его производные наиболее часто использовались в жидкостных ракетных двигателях. Традиционный катализатор Shell 405, успешно применявшийся для разложения гидразина, во многих проектах перенесен и для современных «зеленых» топлив. Однако Shell 405 содержит дорогостоящий драгоценный металл иридий и обладает недостаточной термической стабильностью оксидного носителя $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, что существенно ограничивает его эффективность в сложных термодинамических режимах. В связи с этим критически важной задачей является создание новых каталитических материалов, обладающих высокой термической стабильностью и рентабельностью.

В настоящей работе получен неплатиновый катализатор для разложения «зеленого» топлива, а именно водно-спиртового раствора динитрамида аммония. В качестве активного компонента выбран CuO (9,8 мас. %). Носитель изготовлен модификацией структуры $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ лантаном таким образом, чтобы повысить термостойкость, сопротивление спеканию, а также механическую прочность. В результате полученный катализатор можно описать формулой CuO/ГАЛ- $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, где ГАЛ – это смесь гексаалюминатов лантана. Введение лантана на стадии формирования носителя способствовало структурной стабилизации и формированию термодинамически стабильных фаз.

Исследование свойств включало определение статической и динамической механической прочности, площади удельной поверхности, способности сопро-

тивления спеканию, каталитической активности. Механическая прочность катализатора при раздавливании составила 18,85 МПа, тест на истирание показал 1 % потери массы, площадь удельной поверхности – 18,10 м²/г. Измерение площади удельной поверхности изготовленного носителя после длительной термообработки при температуре 1250 °С показало снижение менее чем на 5 %, что подтверждает высокую эффективность модификации лантаном, нацеленную на сохранение удельной поверхности катализатора и сопротивление спеканию. На профиле термопрограммируемого восстановления катализатора CuO/ГАЛ- α -Al₂O₃, представленном на рис. 1, наблюдается смещение восстановления оксида меди в область более высоких температур (460 °С...480 °С), что может свидетельствовать о сильном электронном взаимодействии между носителем и активным компонентом, предотвращающем раннее спекание. Рост поглощения водорода свыше 650 °С, вероятно, объясняется восстановительными процессами в гексаалюминатных фазах носителя. Таким образом, применение катализатора с взаимодействием между активным компонентом и носителем может оказаться перспективным, в том числе в силу бифункционального механизма процесса разложения.

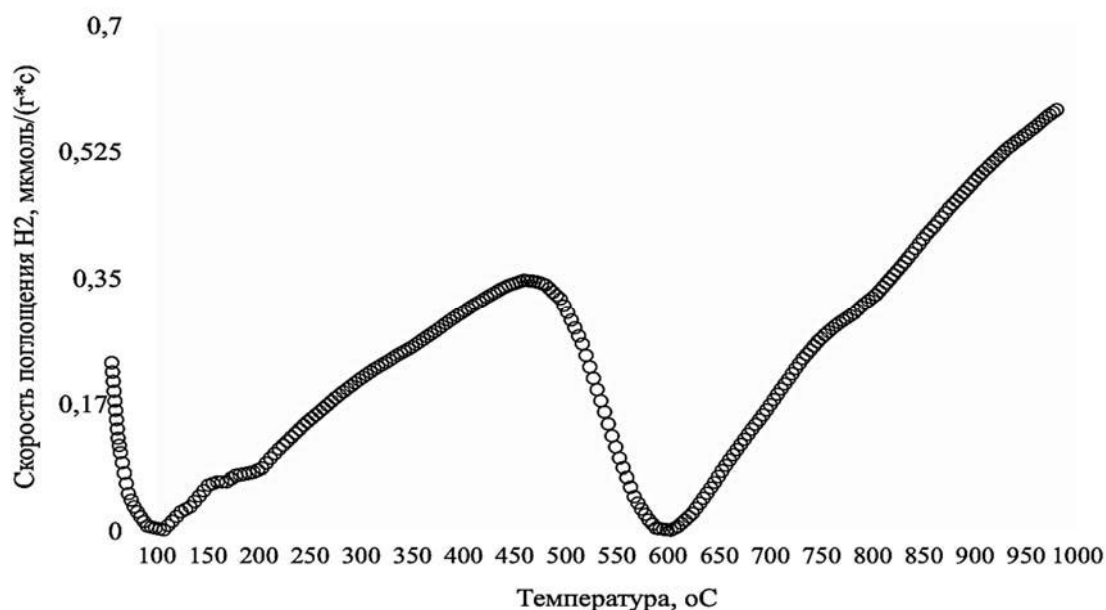


Рис. 1. Профиль термопрограммируемого восстановления катализатора CuO/ГАЛ- α -Al₂O₃

Проведенные лабораторные испытания CuO/ГАЛ- α -Al₂O₃ при контакте с топливом на основе динитрамида аммония показали эффективное разложение. Тем не менее стойкость катализатора при температурах свыше 1250 °С только планируется исследовать.

Разработанный неплатиновый катализатор CuO/ГАЛ- α -Al₂O₃ демонстрирует сочетание каталитической активности, механической прочности и исключительной термической стабильности, что делает его конкурентоспособной заменой традиционным иридиевым системам для двигателей малой тяги.

УДК 666.762.14

ВЛИЯНИЕ ДИГИДРОФОСФАТА ЦИНКА НА ОГНЕУПОРЫ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СОСТАВА

И. Е. БРУСНИЦЫН

Научный руководитель К. Г. ЗЕМЛЯНОЙ, канд. техн. наук

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Екатеринбург, Россия

В настоящее время вопрос термостойкости огнеупоров является актуальным, поскольку повышаются требования к качеству футеровки у металлургических предприятий. В данной работе предлагается добавить цинксодержащую добавку – дигидрофосфат цинка – для образования ганита (алюмината цинка), который является огнеупорной фазой, способной создать термостойкую структуру.

Состав шихты был подобран таким образом, чтобы он отвечал стандартному составу кирпича МЛС-62. Дигидрофосфат цинка добавлялся в количестве от 3 мас. % до 15 мас. %, заменяя в составе тонкомолотую составляющую. Образцы прессовались при давлении 100 МПа, в качестве связующего использовали лигносульфонат плотностью 1,22 г/см³. Образцы обжигались при температуре 1400 °С с выдержкой 2 ч. Для изучения фазового состава образцов был проведен рентгенофазовый анализ (рис. 1).

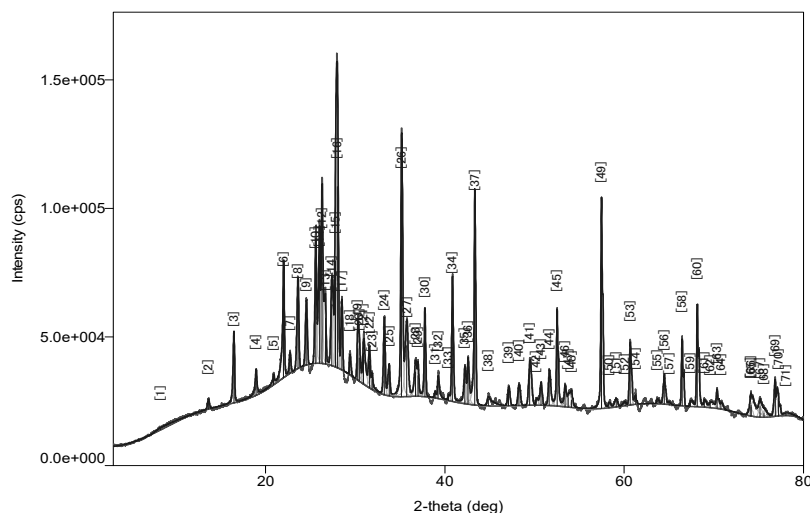


Рис. 1. Рентгенограмма состава с добавлением 15 % дигидрофосфата цинка после обжига при 1400 °С

По данным рентгенограммы можно сделать вывод, что состав с добавлением 15 % дигидрофосфата цинка практически перешел в расплав, а шпинели не образовалось. Дальнейшие исследования должны быть направлены на рассмотрение других цинксодержащих добавок, например, оксида или гидроксида цинка для получения алюмината цинка со структурой шпинели.

УДК 666.762.14

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АНДАЛУЗИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ СТЕКОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А. А. БЫКОВ

Научный руководитель А. Р. ХАФИЗОВА

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Екатеринбург, Россия

Современная стекольная промышленность предъявляет жесткие требования к огнеупорным материалам. Футеровка печей работает в экстремальных условиях: температуры достигают 1500 °С...1600 °С, а расплавы стекла и щелочная газовая среда являются химически агрессивными.

Циклические термонагрузки и необходимость обеспечения высокой чистоты стекломассы диктуют потребность в материалах с высокой термостойкостью, низким термическим расширением, отличной коррозионной стойкостью и длительным сроком службы, обеспечивающим межремонтный ресурс 7–10 лет.

Традиционно применяемые корундовые и циркониевые (бадделеито-корундовые, AZS) огнеупоры обладают рядом недостатков, включая высокую стоимость (особенно для плотных марок AZS-41) и, в случае с корундом, повышенное термическое расширение. В связи с этим актуальной задачей является поиск и разработка альтернативных, эффективных материалов. Уникальность андалузита заключается в его способности при обжиге (начиная с ~1400 °С) преобразовываться в муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) с минимальным объемным расширением (4 %...5 %), формируя высокопрочную композитную структуру из переплетенных игл муллита и кремнеземистого стекла. Это обеспечивает материалу высокую вязкость разрушения, низкий коэффициент термического линейного расширения ($\text{ТКЛР } 4,5 \dots 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) и, как следствие, превосходную стойкость к термическому удару.

Целью работы является разработка составов и технологии андалузитовых изделий для футеровки рабочего слоя стекловаренных печей. В качестве исходных сырьевых материалов были выбраны: андалузит иранского месторождения, электрокорунд белый, плавленый муллит, глина Б-1 Березовского месторождения, в качестве связующего компонента – алюмохромфосфатная связка (вводилась сверх 100 % массы). Составы представлены в табл. 1.

Табл. 1. Исследуемые составы андалузитовых огнеупорных изделий

Компонент	Содержание, мас. %, в составе						
	1	2	3	4	5	6	7
Андалузит	95	75	75	45	25	45	70
Электрокорунд	—	20	—	50	50	—	—
Плавленый муллит	—	—	20	—	20	50	25
Глина Б-1	5	5	—	5	5	5	5
Связующее АХФС	5	5	5	5	5	5	5

Результаты физико-механических показателей образцов после сушки и обжига при 110 °С и 1450 °С соответственно представлены в табл. 2.

Табл. 2. Физико-механические свойства образцов

Показатель	Состав						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>T</i> = 110 °С							
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,43	2,63	2,45	2,75	2,70	2,40	2,65
Открытая пористость, %	16,0	15,7	16,4	16,7	17,2	15,7	15,0
Предел прочности при сжатии, МПа	3,8	6,0	4,8	5,8	4,5	4,7	6,5
<i>T</i> = 1450 °С							
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,42	2,55	2,40	2,74	2,73	2,41	2,56
Открытая пористость, %	15,6	15,9	16,6	17,3	18,1	16,1	14,2
Предел прочности при сжатии, МПа	33,3	34,3	31,1	40,5	35,4	29,1	53,6
$\Delta L/L$, %	–0,3	–0,1	–1,3	0,1	0,2	0,6	1,1
Остаточная прочность после 50 теплосмен, %	86,8	87,8	65,6	48,9	63,3	97,9	83,6

Выводы.

1. Анализ результатов открытой пористости и кажущейся плотности при температуре 110 °С и 1450 °С показал различный характер уплотнения составов. Наименьшая открытая пористость после финального обжига при 1450 °С была достигнута для составов 1, 2 и 7 (15,6 %, 15,9 % и 14,2 % соответственно), в которых используется плавленный муллит. Составы же на чисто андалузитовой и корундовой основе (составы 4 и 5), несмотря на высокую кажущуюся плотность (до 2,74 г/см³), сохраняют повышенную пористость (до 18,1 %).

2. Лучшими значениями прочности на сжатие закономерно обладают составы 4, 5, 7 с высокой плотностью и большим количеством муллитовой фазы, однако критическим фактором является тип связки, формирующейся при обжиге. Использование АХФС, образующей фосфат алюминия, вносит вклад в упрочнение на низкотемпературных стадиях.

3. Все разработанные составы продемонстрировали высокую стойкость к термоударам, успешно выдержав 50 теплосмен (950 °С – проточная вода) без серьезного разрушения и с сохранением геометрической целостности (остаточные изменения размеров не превысили 2 %...3 %). Этот результат полностью согласуется с литературными данными о высокой термостойкости андалузитовых огнеупоров.

УДК 621.793.6

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ НА СТАЛИ 40Х, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ОКСИНИТРИРОВАНИЯ

Л. С. ВЕРТИНСКИЙ

Научный руководитель М. Н. БОСЯКОВ, канд. физ.-мат. наук, доц.

Физико-технический институт НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Оксинитрирование сталей, сочетающее ионно-плазменное азотирование (ИПА) с последующим термическим окислением, позволяет формировать двухслойную систему «нитрид + оксид» с улучшенными трибологическими и коррозионными свойствами [1].

Цель работы – исследование микроструктуры оксинитридных слоев на образцах из стали 40Х в зависимости от температуры ИПА (490 °С...580 °С) и исходной шероховатости поверхности.

Образцы из стали 40Х с шероховатостью поверхности $Ra = 0,08; 0,2; 0,5$ мкм подвергали ионно-плазменному азотированию в промышленной установке ФТИ 3.100.000 при температурах 490 °С, 520 °С и времени выдержки 18 ч, а также при 580 °С и выдержке 6 ч в газовой смеси азота, аргона и водорода. Затем проводили окисление в печи при 450 °С в течение 4 ч в воздушной среде при атмосферном давлении. Микроструктуру покрытий исследовали с помощью оптического микроскопа МИ-1 на поперечных шлифах.

На рис. 1 представлена микроструктура образцов после ИПА азотирования при различных температурах и последующего окисления. Наблюдается «белый» нитридный слой, который, согласно литературным данным для данных режимов обработки, представляет собой смесь ϵ -фазы ($Fe_{2-3}N$) и γ' -фазы (Fe_4N). Данный слой характеризуется высокой плотностью и светлым контрастом при оптическом наблюдении. На поверхности образцов обнаружен темный оксидный слой.

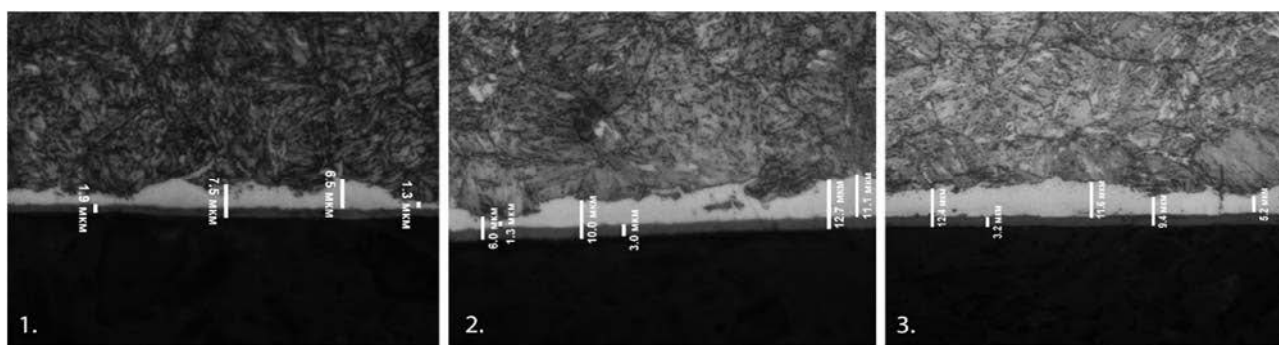


Рис. 1. Микроструктура образцов после ИПА при различных температурах и последующего окисления: 1 – 490 °С; 2 – 520 °С; 3 – 580 °С

Результаты измерения толщины «белого» и оксидного слоев на образцах из стали 40Х в зависимости от шероховатости исходной поверхности и температуры ИПА представлены в табл. 1.

С ростом температуры ИПА с 490 °С до 580 °С суммарная толщина «белого» и оксидного слоев возрастает, что обусловлено интенсификацией диффузионного насыщения поверхности азотом. При 490 °С...520 °С нитридный слой формируется переменной толщины, распространяясь преимущественно по границам зерен и дефектным участкам; при 580 °С фронт диффузии приобретает сплошной характер.

Табл. 1. Результаты измерения толщины «белого» и оксидного слоев в зависимости от шероховатости исходной поверхности и температуры ИПА образцов из стали 40Х

Шероховатость Ra , мкм	Температура ИПА, °С	Толщина «белого» слоя (средняя), мкм	Толщина оксидного слоя (средняя), мкм	Суммарная толщина оксидного и «белого» слоя, мкм
0,08	490	4,2	1,9	6,1
	520	6,2	3	9,2
	580	8,4	3,2	11,6
0,2	490	4,4	2,8	7,2
	520	4	3,2	7,2
	580	8	5,3	13,3
0,5	490	3,6	3,2	6,8
	520	3,6	4	7,6
	580	7,75	3,6	11,4

Из таблицы видно, что при повышении температуры с 490 °С до 580 °С суммарная толщина оксинитрированного слоя возрастает для всех значений шероховатости. Так, для образцов с $Ra = 0,08$ мкм суммарная толщина увеличивается с 6,1 до 11,6 мкм, для $Ra = 0,2$ мкм – с 7,2 до 13,3 мкм, для $Ra = 0,5$ мкм – с 6,8 до 11,3 мкм. Данная закономерность объясняется интенсификацией диффузионных процессов насыщения поверхности азотом при повышении температуры.

Таким образом, определяющим параметром, влияющим на толщину и морфологию формируемых слоев, является температура обработки. Влияние исходной шероховатости поверхности выражено менее отчетливо: прослеживается некоторая корреляция между увеличением Ra и изменением толщин отдельных слоёв в области температур 490 °С...520 °С.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта БРФФИ (договор № T26МП-047).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лахтин, Ю. М.** Технология ионного азотирования / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган, В. Н. Шапошников. – М. : Машиностроение, 1991. – 160 с.

УДК 621.793.74:669.017.3

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ
МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ НИТРИДОВ ГАФНИЯ И ТИТАНА ПОТОКОМ
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИОНОВ

О. Р. ГРЕБЕНЩИКОВ, М. М. ГРЕБЕНЩИКОВА, А. В. ГЕРАСИМОВ

Казанский национальный исследовательский технологический университет
Казань, Россия

Вопрос о глубине модификации материалов под действием потоков низкоэнергетических ионов (ПНЭИ) остается дискуссионным, особенно для объектов с различной электропроводностью и морфологией. Анализ литературных данных [1, 2] и собственные исследования авторов [3] показывают, что при обработке полимерных и органических материалов за счет их пористой структуры возможен частичный пробой поверхностного слоя. В результате модификация протекает не только на поверхности, но и во внутреннем объеме материала. Для многослойных нанокомпозитов на основе металлических сплавов ВТ-6, ВТ1-0 с гафниево-титановыми нитридными покрытиями такая гипотеза неприменима, поскольку они обладают высокой электропроводностью, близкой к металлической. При высокочастотной емкостной обработке общий механизм взаимодействия ПНЭИ с полимерными и нанокомпозиционными материалами сходен: ионы плазмы взаимодействуют с атомами поверхностного слоя. Основу процесса составляют обмен энергией и зарядом, тогда как химическая составляющая при низких энергиях и интенсивности ионного потока незначительна. Воздействие плазмы на органические материалы, состоящие преимущественно из легких элементов, сопровождается распылением атомов и фрагментов молекул. Титан, гафний, вольфрам и молибден распыляются значительно слабее. Изменения фазового состава и структуры поверхностного слоя в данной работе не рассматриваются. Высвобождение нанокристаллитов нитрида гафния связывается не с разрушением ковалентных и ионных связей кристалла, а с формированием условий, облегчающих отделение и выход кластерных нитридных структур с поверхности покрытия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние плазмы высокочастотного индукционного разряда на стекловолокно, оцененное с помощью рентгеновской компьютерной томографии / И. П. Ершов, Л. А. Зенитова, А. Н. Даутова, Ф. Р. Сагитова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2023. – № 5 (276). – С. 125–132.
2. Применение функциональных порошков и плазменных методов для модификации текстильных материалов / Э. Ф. Вознесенский, Ю. А. Тимошина, И. С. Мифтахов [и др.] // Наноиндустрия. – 2021. – Т. 14, № S6. – С. 385–392.
3. Гребенщикова, М. М. Получение биомедицинских материалов с биосовместимыми и биостойкими свойствами на основе многослойных покрытий / М. М. Гребенщикова // Титан. – 2024. – № 2 (82). – С. 37–40.

УДК 533.93:537.525

СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ПУЧКОВ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ФОКУСИРОВКИ

С. В. ДЕКТЯРЕВ, А. И. ИВАНОВА, Р. Д. ШИМУК

Научный руководитель О. С. КОРНЕВА

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Томск, Россия

Пучки ионов металлов и газов с длительностью импульса в несколько сотен микросекунд формируются в источниках на основе вакуумно-дуговой или газоразрядной плазмы с ускоряющим напряжением и с учетом средней зарядности ионов энергией до 100 кэВ. Однако плотность тока в этих источниках обычно не превышает 10 мА/см², что ограничивает предел максимальной импульсной плотности мощности в ионном пучке на уровне единиц киловатт на квадратный сантиметр. Идея формирования импульсного или импульсно-периодического пучка ионов металлов высокой плотности мощности (до 100 кВт/см²) основывается на экспериментальных результатах коллектива лаборатории НЛ ВИИ по развитию метода формирования высокоинтенсивных пучков ионов низкой энергии (до 3 кэВ). Суть метода заключается в плазменно-иммерсионном формировании высокоинтенсивных ионных пучков с помощью сеточного экстрагирующего и ограничивающего электродов, формирующих систему извлечения и транспортировки пучка в замкнутом пространстве дрейфа, погруженную непосредственно в созданную плазму. Вблизи поверхности сеточного электрода, находящегося под отрицательным потенциалом, образуется высоковольтный слой разделения зарядов, в котором происходит ускорение ионов [1]. Главное отличие этого подхода от традиционной имплантации состоит в том, что погруженная в плазму система ускорения и баллистической фокусировки ионов выступает в роли экстрактора, извлекающего и формирующего интенсивный поток ионов. Применение баллистической фокусировки ионов позволяет увеличить плотность ионного тока на несколько порядков.

Увеличение ускоряющего напряжения до десятков киловольт создает серьезные технические проблемы. Необходимость электрической изоляции фокусирующей системы от заземленного корпуса усложняется деградацией керамических изоляторов из-за осаждения плазмы, что вызывает токи утечки и пробой. Кроме того, подвод к мишени систем охлаждения, нагрева или вращения требует громоздких высоковольтных развязок. Сложная геометрия деталей приводит к концентрации электрического поля, вызывая автоэлектронную эмиссию, микродуги и локальное расплавление, что ведет к браку и аварийному отключению оборудования.

Переход к схеме с заземленными сеточной системой фокусировки ионного пучка и мишенью, т. е. нахождением их под нулевым потенциалом, и с подачей высоковольтного положительного импульса на источник плазмы дугового разряда (рис. 1, а) полностью снимает эти проблемы. Генерация металлической плазмы осуществляется с помощью вакуумно-дугового испарителя на базе дугового

разряда с охлаждаемым катодом. Плазменный поток формируется непрерывным вакуумно-дуговым разрядом с током дуги до 170 А. Генератор импульсно-периодического ускоряющего напряжения обеспечивает возможность формирования импульсных пучков ионов при полном токе генератора до 15 А. Длительность импульса ускоряющего напряжения может задаваться в диапазоне от 50 до 500 мкс. На выходе анода источника расположена фокусирующая система (рис. 1, б). Сеточный электрод изготовлен из вольфрамовой сетки с размером ячеек $0,5 \times 0,5 \text{ мм}^2$ и прозрачностью 80 %. Затеняющий диск, препятствующий прямому пролету микро-частиц с рабочей поверхности катода в область фокусировки пучка, устанавливается по центру фокусирующего электрода для отсечки микрокапельной фракции из области размещения мишени.

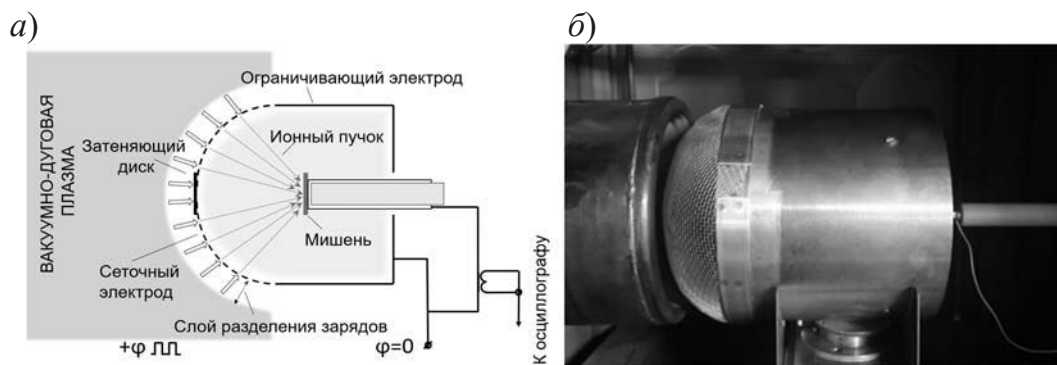


Рис. 1. Схема формирования ионного пучка (а) с баллистической системой фокусировки и транспортировки (б)

Ключевая особенность модернизированной высоковольтной системы источника ионов с генератором высоковольтных импульсов положительной полярности состоит в том, что здесь реализована комбинация непрерывной генерации металлической плазмы и формирования пучков ионов в импульсно-периодическом режиме.

Реализация метода высокоинтенсивной ионной имплантации и энергетического воздействия [2] позволила преодолеть ограничения классической ионной имплантации, обеспечив формирование модифицированных слоев толщиной на 2–3 порядка превышающей проективный пробег ионов, за счет интенсивных диффузионных процессов, в свою очередь приводящих к фазовым превращениям и синтезу уникальных свойств. Таким образом, данный метод может стать высокоэффективной технологией упрочнения деталей машин, инструмента и компонентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2026-0040).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. High intensity metal ion beam generation / A. I. Ryabchikov, P. S. Ananin, S. V. Dektyarev [et al.]. – 2017.
2. **Ryabchikov, A. I.** High-intensity implantation with an ion beam's energy impact on materials / A. I. Ryabchikov // IEEE Trans. Plasma Sci. – 2021. – № 49. – P. 2529–2534.

УДК 533.93:537.525

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО ИОННОГО
ОБЛУЧЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ СПЛАВА ВТ6

А. И. ИВАНОВА, Г. А. БЛЕЙХЕР, Р. Д. ШИМУК

Научный руководитель О. С. КОРНЕВА

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Томск, Россия

В условиях современного индустриального развития и постоянного усложнения условий эксплуатации технических систем характеристики конструкционных деталей и промышленного инструмента в значительной степени определяются физико-химическим состоянием поверхности. В связи с этим ионно-лучевая обработка в последние десятилетия утвердилась в качестве одного из наиболее перспективных и наукоемких методов направленной модификации поверхностных свойств материалов [1, 2]. Развитие метода высокоинтенсивной ионной имплантации пучками субмиллисекундной длительности позволило преодолеть ограничение малой глубины легирования [3]. Однако высокая плотность мощности создает риск перегрева, способного вызвать неконтролируемую рекристаллизацию и потерю твердости материала.

Ключевой научной задачей является поиск «технологического окна» параметров, активирующих диффузию без деградации структуры основы. В данной работе на основе математического моделирования исследована динамика температурных полей сплаве ВТ6 при высокоинтенсивной ионной имплантации пучками субмиллисекундной длительности.

Определение наиболее подходящих рабочих параметров ионного облучения производилось на примере пучка ионов азота (или ионов металла) с энергией E_{ion} до 30 кэВ. Частота следования импульсов тока f – в диапазоне от 1 до 40 имп/с, длительность одного импульса тока в течение периода τ_{imp} – от 50 до 450 мкс. Плотность тока в импульсе для пучка ионов азота i_{imp} – порядка $0,25 \text{ А/см}^2$, для пучка ионов металлов она может достигать $3,5 \text{ А/см}^2$. Здесь подразумевается значение плотности тока, усредненное по сечению пучка. Расчеты температур в образцах под действием интенсивного ионного пучка импульсно-периодического действия производился с привлечением математической модели, ранее описанной в [4]. На рис. 1 показана зависимость температуры поверхностных слоев образцов радиусом 1 см и толщиной 3 мм на этапе установления T_{back} от мощности пучка, усредненной по периоду Q_{per} для сплава ВТ6 (для двух разных размеров мишеней). Пунктиром обозначена температура начала роста зеренной структуры. В ходе исследования также была выявлена линейная зависимость максимальной температуры поверхности T_{max} от длительности импульса тока τ_{imp} при фиксированной импульсной мощности. На основе полученных графических зависимостей определены допустимые режимы обработки: при мощности $Q_{per} = 35 \text{ Вт}$ и импульсной мощности $2,36 \cdot 10^4 \text{ Вт}$ температура поверхности не превышает порог роста зерен, что гарантирует сохранение эксплуатационных характеристик изделия.

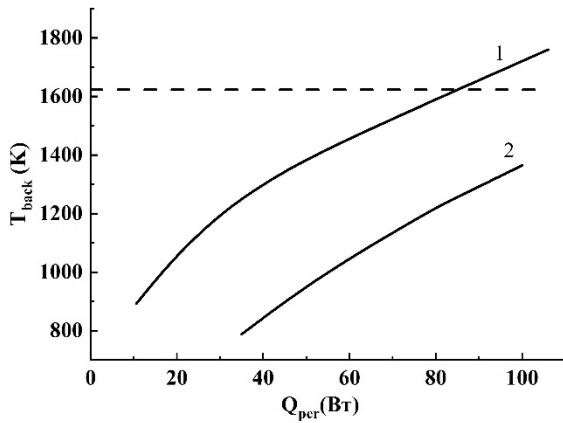


Рис. 1. Зависимость температуры T_{back} в поверхностных слоях образцов из сплава ВТ6 от мощности, усредненной по периоду Q_{per} , с радиусом образца: 1 – 1 см; 2 – 10 см

подвергается тонкий поверхностный слой порядка 0,3 мм. Остальной объем образца сохраняется при температуре, близкой к T_{back} .

В результате проведенного математического моделирования тепловых режимов при ионном облучении сплава ВТ6 было установлено, что в импульсно-периодическом режиме температура мишени стабилизируется на уровне фонового значения T_{back} , которое определяется балансом между средней мощностью пучка Q_{per} и интенсивностью теплообмена с окружающей средой. Показано, что кратковременный высокотемпературный разогрев, существенно превышающий T_{back} , локализован в тонком приповерхностном слое толщиной порядка 0,3 мм, что подтверждает возможность проведения модификации поверхности (включая перемешивание напыленных слоев) без изменения фазового состава и структуры основного объема материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2026-0040).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Synergistic Effects Under Ion-Beam Modification of Metals / A. M. Borisov [et al.] // EPJ Web of Conferences. – 2021. – Vol. 248. – Art. 04006.
2. Impact of nitrogen and manganese ion implantation on the tribological properties of Stellite 6 alloy / P. Budzyński [et al.] // Wear. – 2020. – Vol. 456. – Art. 203360.
3. Synergy of high-intensity chromium ion implantation and ion beam energy impact on the zirconium alloy surface / A. I. Ryabchikov [et al.] // Journal of Applied Physics. – 2024. – Vol. 136, iss. 14. – Art. 145903.
4. Numerical Simulation of Temperature Field Dynamics in Single-Crystal Silicon at Repetitively-Pulsed High-Intensity Ion Implantation and Energy Impact on the Surface Layer / A. I. Ivanova [et al.] // Russian Physics Journal. – 2023. – Vol. 65, iss. 11. – P. 1862–1866.

Моделирование температуры в образце толщиной 3 мм и радиусом 1 см вдоль поверхности и по толщине (в центре, т. е. для $r = 0$) в момент завершения импульса и на конец периода на примере случая с $Q_{per} = 35$ Вт, $Q_{imp} = 2,36 \cdot 10^4$ Вт и $\tau_{imp} = 450$ мкс, когда $T_{back} = 1250$ К, показало, что несмотря на высокий разогрев поверхности в течение действия импульса тока, к завершению периода весь образец остывает до температуры T_{back} . Высокотемпературному разогреву, существенно превышающему уровень T_{back} ,

УДК 575.22:678.073

ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДОВ РАСТИТЕЛЬНОЙ ГЕНЕТИКИ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Х. А. КАЗАКОВА

Туркменский сельскохозяйственный институт
Дашогуз, Туркменистан

В условиях глобального перехода современной промышленности к принципам устойчивого развития, циркулярной экономики и декарбонизации производства особую актуальность приобретает поиск возобновляемых источников сырья для получения конструкционных и функциональных материалов. Традиционные полимеры нефтехимического синтеза, несмотря на свои высокие технологические характеристики, обладают критической экологической нагрузкой на экосистемы, что стимулирует масштабную разработку экологически безопасных биоразлагаемых композитов на основе природных растительных биополимеров.

Ключевым структурным компонентом таких перспективных материалов выступает растительная целлюлоза – наиболее распространенный природный полисахарид, обладающий уникальным комплексом физико-механических свойств. Однако на практике исследователи и инженеры-технологи сталкиваются с тем, что свойства природной целлюлозы существенно варьируются в зависимости от видовой принадлежности сырья, условий произрастания и генетических особенностей продуцента [1]. В связи с этим возникает острая необходимость интеграции методов современной растительной генетики и передовых химико-технологических процессов переработки биомассы.

В рамках данного исследования были детально рассмотрены и проанализированы возможности направленной модификации экспрессии генов, которые непосредственно контролируют биосинтез фибриллярных структур клеточной стенки у перспективных технических сельскохозяйственных и дикорастущих культур [3]. С применением комплексных методов селекционного отбора, маркер-ориентированного анализа (MAS) и биоинформационного моделирования были изучены образцы с пониженным содержанием гемицеллюлозы, лигнина и оптимизированной кристалличностью целлюлозного матрикса.

Полученные экспериментальные данные убедительно показали, что извлеченная наноцеллюлоза из селекционных линий обладает существенно повышенной удельной прочностью на разрыв, увеличенным модулем упругости и улучшенной адгезией к полимерным матрицам различной природы. Методологическая база проведенной работы также включала детальный анализ полисахаридного состава с применением современных спектроскопических методов (ИК-спектроскопия с преобразованием Фурье) и растровой электронной микроскопии (РЭМ).

Экспериментально доказано, что тонкая регуляция экспрессии генов целлюлозных синтаз (CESA) позволяет целенаправленно варьировать степень полимеризации макромолекул целлюлозы еще на этапе роста растительной ткани [3]. Данный фактор имеет решающее значение, поскольку он позволяет существенно снизить энергоемкость последующей механической дезинтеграции волокон при получении фибриллярных суспензий наноразмерного уровня.

На основе полученных генетических и физико-химических характеристик сырья была разработана инновационная технологическая схема получения биокomпозитов промышленного назначения. Она включает в себя стадию предварительного ферментативного кондиционирования растительного сырья специфическими энзимными комплексами [1], что позволяет уменьшить общие затраты технологической энергии на 15 %...20 % по сравнению с традиционными методами чисто механического размола.

Проведенные лабораторные и стендовые испытания опытных образцов полимерных покрытий и формованных изделий подтвердили их превосходную термическую стабильность, устойчивость к воздействию влаги и агрессивных сред, а также высокую износостойкость в условиях интенсивного циклического механического нагружения [2].

Таким образом, предложенный синергетический подход, органично объединяющий достижения современной генетики растений, селекции и передового материаловедения, открывает принципиально новые широкие перспективы для создания высокоэффективных инновационных композитов.

Разработанные научно-обоснованные технологические решения могут быть успешно и в кратчайшие сроки внедрены в реальные производственные процессы выпуска экологичной биоразлагаемой упаковки, а также в машиностроительной отрасли для создания легких армирующих конструкционных элементов. Это полностью отвечает стратегическим общегосударственным задачам инновационного технологического развития промышленности и перехода на «зеленые» стандарты производства [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Султанова, И. Н.** Биотехнологические аспекты получения растительных полимеров / И. Н. Султанова // Вестник науки и технологий. – 2025. – № 4. – С. 112–118.
2. **Иванов, А. А.** Новые материалы на основе растительных биополимеров / А. А. Иванов, Б. В. Петров. – Мн. : Технология, 2024. – 145 с.
3. **Петрова, Е. В.** Генетическая модификация технических культур для целлюлозно-бумажной промышленности / Е. В. Петрова // Научные труды БРУ. – 2023. – Т. 12, № 2. – С. 45–52.
4. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления : ГОСТ 7.1–2024. – Введ. 2024-07-01. – Мн. : Госстандарт, 2024.

УДК 538.975:546.28

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬЕФА КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО
И ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ ПОСЛЕ НАНЕСЕНИЯ СЕРЕБРАК. Б. КИМ¹, С. С. ЧЕРНЕНКО¹, М. В. ГРЕЧКИНА², А. С. ЛЕНЬШИН^{1, 2}¹Воронежский государственный университет инженерных технологий²Воронежский государственный университет

Воронеж, Россия

Методом атомно-силовой микроскопии проведено сопоставление рельефа кремния до и после нанесения серебра. Обозначения c-Si и c-Si/Ag соответствуют кристаллическому кремнию до и после нанесения Ag; meso-por-Si и meso-por-Si/Ag – мезопористому; macro-por-Si и macro-por-Si/Ag – макропористому кремнию.

Пористые слои формировали электрохимическим травлением: meso-por-Si – при плотности тока 25 мА/см², macro-por-Si – при 50 мА/см². Серебро наносили термическим испарением в вакууме. Поверхность исследовали на микроскопе SOLVER P47 PRO, данные обрабатывали в программе NOVA. Сопоставляли максимальную высоту, среднюю арифметическую шероховатость Sa и энтропию.

Для c-Si максимальная высота составляет 45,9 нм, Sa – 1,58 нм, энтропия – 6,27. После нанесения серебра для c-Si/Ag значения увеличиваются до 118 нм, 9,05 нм и 9,02 соответственно. Таким образом, на исследованном участке кристаллического кремния зарегистрирован рост всех трех параметров.

Для meso-por-Si максимальная высота составляет 282 нм, Sa – 8,81 нм, энтропия – 8,95. После нанесения Ag максимальная высота meso-por-Si/Ag уменьшается до 117 нм, тогда как Sa возрастает до 12,8 нм, а энтропия – до 9,55. Уменьшение максимальной высоты мезопористого образца сопровождается увеличением средней шероховатости и энтропии.

Для macro-por-Si максимальная высота равна 153 нм, Sa – 9,70 нм, энтропия – 9,13. После нанесения Ag для macro-por-Si/Ag значения снижаются соответственно до 74 нм, 5,49 нм и 8,33. Для макропористого кремния установлено однонаправленное уменьшение всех рассматриваемых параметров.

АСМ-данные показывают, что изменение рельефа после нанесения серебра зависит от морфологического типа подложки. Для c-Si увеличение максимальной высоты, Sa и энтропии соответствует возрастанию высотной неоднородности поверхности. Для meso-por-Si снижение максимальной высоты при росте Sa и энтропии отражает перераспределение высотных неоднородностей. Для macro-por-Si уменьшение всех параметров соответствует сглаживанию рельефа. Следовательно, исходная морфология кремния определяет направление изменения количественных характеристик поверхности при формировании серебряного покрытия.

Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 25-73-00149.

УДК 539.216.2

МИКРОНАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ГУБЧАТОМ ТИТАНЕ

О. Д. КОЗЛОВА

Научный руководитель К. В. СТЕПАНОВА, канд. техн. наук, доц.

Петрозаводский государственный университет

Петрозаводск, Россия

Весьма актуально создание новых композитных материалов с развитой поверхностью для решения прикладных задач катализа и фотокатализа, энергетики и медицины [1]. Перспективной матрицей-основой для нанесения покрытий различной функциональности являются пористые порошковые материалы из губчатого титана (ППМ ГТ), т. к. они исходно обладают высоким значением удельной поверхности. Показано [2, 3], что анодирование в особых условиях ППМ ГТ позволяет синтезировать на их поверхности анодные оксиды Ti как с нанотрубчатой/нанопористой морфологией, так и с иерархической микронаноструктурой, модификация которых наночастицами (НЧ) позволяет создать композит с уникальными характеристиками. Электрохимическое окрашивание (ЭХО) анодированных материалов – один из методов создания композитов с НЧ Cu/CuO, позволяющий контролировать размер, морфологию и количество осажденных НЧ, варьируя параметры процесса [4].

Целью работы является анодный синтез оксидного слоя на образцах ППМ ГТ марки ТПП-6 (рис. 1, а) в 10 % H_2SO_4 + 0,15 % HF и последующая модификация НЧ Cu/CuO. Анодирование выполнялось в течение 1 ч в гальваностатическом режиме – ГСР ($j_m = 202$ мА/г) и вольтстатическом режиме – ВСР ($U_a = 15$ В). Впервые выполнена модификация НЧ Cu/CuO кратковременным (100...300 с) электрохимическим окрашиванием на переменном токе при $U = 1,4...2$ В [5] в растворе 20 г/л $CuSO_4$ + 20 г/л $MgSO_4$ + 6 г/л H_2SO_4 [2].

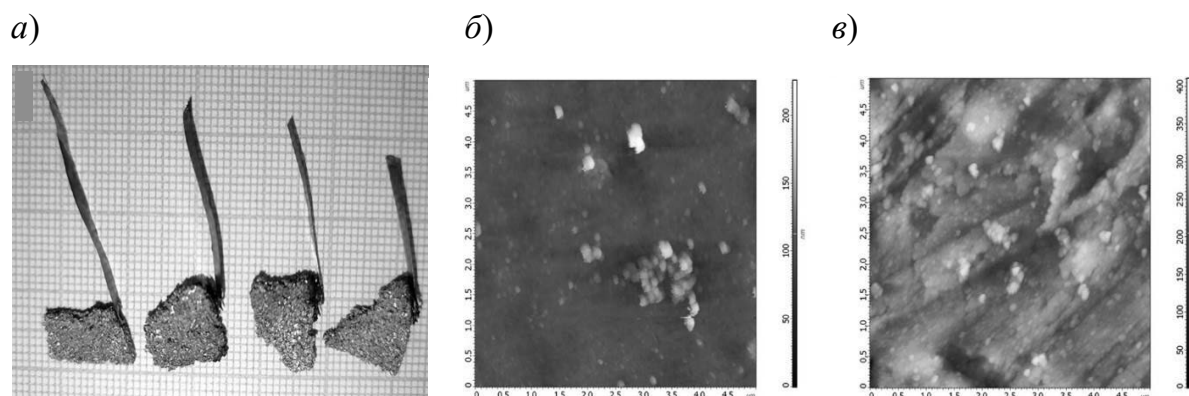


Рис. 1. Фото образцов ППМ ГТ до анодирования (а) и АСМ-изображения после анодирования в ГСР (б) и ВСР (в)

Методом АСМ обнаружено, что на поверхности анодированного ППМ ГТ наблюдается присутствие микронаноструктурированного оксидного слоя

(рис. 1, б, в): на фоне нанотрубчатого TiO_2 присутствуют кристаллические образования анатаза [3]. После модификации на поверхности дополнительно появляются многочисленные НЧ (рис. 2), скорее всего Cu/CuO [4] размером от 25 до 50 нм.

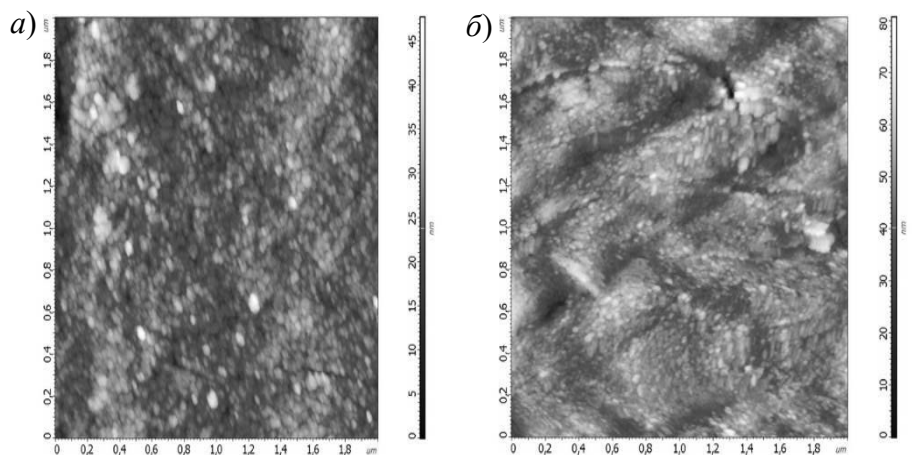


Рис. 2. АСМ-изображения поверхности образцов ППМ ГТ, анодированных в ГСР (а) и ВСР (б) после модификации Cu/CuO

Результаты оценки потенциала разомкнутой цепи и краевых углов смачивания свидетельствуют о хорошей коррозионной стойкости и супергидрофильности созданного нанокompозита, что говорит о необходимости продолжения исследований таких покрытий. Таким образом, показано, что ЭХО при особых условиях приводит к формированию нанокompозитного слоя $\text{Ti/TiO}_2/\text{Cu(CuO)}$ на поверхности ППМ ГТ, перспективного для фотокаталитической конверсии углекислого газа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Sengupta, J.** Advancements in Titanium Dioxide Nanotube-Based Sensors for Medical Diagnostics: A Two-Decade Review / J. Sengupta, C. M. Hussain // *Nanomaterials*. – 2025. – Vol. 15. – P. 1044–1065.
2. Самоорганизация биоактивного наноструктурированного оксидного слоя на поверхности спеченного порошка губчатого титана при электрохимическом анодировании / А. Н. Кокатев, К. В. Степанова, Н. М. Яковлева [и др.] // *Журнал технической физики*. – 2018. – Т. 88, вып. 9. – С. 1377–1383.
3. Анодно-оксидные покрытия с иерархической микронаноструктурой на спеченных порошках титана / Н. М. Яковлева, А. М. Шульга, И. В. Лукиянчук [и др.] // *Конденсированные среды и межфазные границы*. – 2022. – Т. 24 (4). – С. 572–583.
4. Исследование защитно-декоративных нанокompозитных анодных покрытий черного цвета на алюминиевом сплаве АМг5 / Н. М. Яковлева, А. Н. Кокатев, К. И. Оськин [и др.] // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. – 2023. – Т. 89, № 7. – С. 34–44.
5. CuO/Cu composite nanospheres on a TiO_2 nanotube array for amperometric sensing of glucose / Z. Zhou, Z. Zhu, F. Cui [et al.] // *Microchimica Acta*. – 2020. – Vol. 187, № 123. – P. 1–8.

УДК 621.83

ВЫБОР МАТЕРИАЛА И РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ОГРАЖДЕНИЯ ДЛЯ СТАНКА 3A161

Е. Г. КРИВОНОГОВА, Д. И. ЕВМЕНЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В базовой комплектации станка не предусмотрено наличие ограждения для защиты станочника от вылетающей заготовки.

При подборе кожухов для абразивных кругов станка 3A161 применяется действующий ГОСТ 30677–2000 (его типы и размеры). Безопасность процесса эксплуатации станка 3A161 регламентируется ГОСТ 12.2.009–99 *Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности* и ТР ТС 010/2011.

Для обеспечения безопасности работающего на круглошлифовальном станке 3A161 при вылете заготовки необходимо правильно подобрать материал кожуха и определить величину его минимальной расчетной толщины. Инженерный расчет выполняется на основании законов механики деформируемого твердого тела для движущейся материальной точки и требований стандартов безопасности станкостроения ГОСТ EN 13218 и EN ISO 23125.

Для выполнения расчета принимаем худший сценарий: в момент срыва заготовка мгновенно ускоряется шлифовальным кругом до его линейной скорости ($v = 35$ м/с). Масса рассматриваемой заготовки составляет 2,36 кг.

Определяем кинетическую энергию удара по формуле

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2},$$

где m – масса заготовки, кг; v – линейная скорость в момент удара, м/с.

$$E_k = \frac{2,36 \cdot 35^2}{2} = 1445,5 \text{ Дж}.$$

Следовательно, экран должен полностью поглотить 1,45 кДж энергии за счет упругопластической деформации.

Величина расчетной толщины будет зависеть от выбранного материала.

На основании проведенного литературного анализа можно сделать вывод, что использовать обычное стекло, оргстекло (акрил) или текстолит категорически запрещено – они при возникновении аварийной ситуации разлетятся на опасные осколки. Рассматривать установку защитного ограждения, полностью изготовленного популярными методами 3D-печати (FDM, SLA, SLS), для удержания вылетающей заготовки энергией 1445,5 Дж также категорически не рекомендуется из-за особенностей структуры.

Из полимеров рекомендуется использовать только монолитный поликарбонат (МПК).

В станкостроении прочность поликарбоната оценивается не по классическим статическим формулам, а по результатам баллистических краш-тестов (метод сквозного пробития стандартным бойком массой 2,5 кг).

Согласно эмпирическим графикам стандартов безопасности для удержания энергии 1445 Дж (1,45 кДж) чистый, новый монолитный поликарбонат без дефектов требует толщины $S = 6$ мм. При такой толщине пластик сработает на пределе текучести: вследствие удара он сильно выгнется, покроется микротрещинами, но задержит летящую заготовку.

В реальных условиях производства использовать чистые 6 мм категорически запрещено из-за старения материала и способа его закрепления. Монолитный поликарбонат интенсивно теряет ударную вязкость под воздействием смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), ультрафиолета и вследствие постоянных ударов горячей мелкой стружкой. Ударная стойкость МПК уже через 2 года эксплуатации уменьшается до 60 % от первоначальной, а через 5–7 лет – до 20 %...30 %. Материал становится хрупким, как обычное стекло.

Для расчетного срока службы экрана в 2–3 года принимаем коэффициент старения $K_c = 1,6$.

Лабораторные тесты проводятся на идеально зажатом по всему периметру листе. В самодельном или покупном щите станка заделка краев имеет люфты. Для компенсации динамических нагрузок вводится коэффициент динамичности и надежности $K_d = 1,3$.

Определяем минимальную толщину листа по формуле

$$S_{\min} = S \cdot K_c \cdot K_d,$$

где S – стандартная величина толщины листа, мм; K_c – коэффициент старения; K_d – коэффициент динамичности и надежности.

$$S_{\min} = 6 \cdot 1,6 \cdot 1,3 = 12,48 \text{ мм.}$$

Следовательно, в качестве материала необходимо использовать стандартный лист монолитного поликарбоната ближайшей большей заводской толщины – 12 или 14 мм. Альтернативой может являться многослойный пакет. Допускается сборка пакета из двух листов, причем толщина внешнего листа должна составлять 8 мм, внутреннего, повернутого к зоне резания, – 4...5 мм. Между ними обязательно оставляется воздушный зазор в 1...2 мм через резиновую прокладку. Такой вариант исполнения гасит ударную волну еще эффективнее за счет трения слоев друг о друга.

УДК 621.83

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ НАГРУЖЕНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Е. Г. КРИВОНОГОВА, В. В. ШЕВЦОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Конечно-элементный анализ выполнен для узла шестерен привода подачи тонера МФУ Kyocera TASKalfa 5003i.

В качестве вариантов рассматривался силовой анализ, когда задается действующий крутящий момент, и кинематический анализ, когда нагружение производят с помощью задания угла поворота.

При выполнении силового анализа соединение нагружается крутящим моментом. К внутренней грани шестерни прикладывается чистый силовой фактор (Torque), т. е. программе сообщается физическое воздействие: «На деталь давит двигатель с конкретным крутящим моментом». Значение крутящего момента, которое использовалось в расчете, составляет 1 Н·м.

Система SolidWorks воспринимает силу как константу. Она берет жесткость заданного материала, геометрию зубьев и рассчитывает, насколько сильно они изогнутся и сожмутся под этой нагрузкой. Следовательно, напряжения, которые показаны на эпюре, являются прямым результатом действия силового фактора. Угол поворота в данном случае является выходным неизвестным параметром, который программа вычисляет в процессе.

Результаты силового анализа показаны на рис. 1.



Рис. 1. Результаты силового анализа

При выполнении кинематического анализа, когда нагружение производится с помощью угла поворота, силовой фактор не прикладывается, а задается жесткое перемещение (On Cylindrical Faces – правильный микроугол в радианах). Системе сообщается геометрическое условие: «Деталь механически повернется строго на этот угол, несмотря ни на что».

SolidWorks принудительно смещает узлы сетки на заданный угол. Так как ответная шестерня зафиксирована, материал начинает сопротивляться этому смещению. Значение угла поворота, которое использовалось в расчете, составляет 0,00735 рад.

Система вычисляет, какая сила реакции возникла в зацеплении, чтобы удержать деталь в таком положении. Следовательно, напряжения, которые показаны на эпюре, являются результатом сопротивления материала принудительному сдвигу. При этом крутящий момент является неизвестным выходным параметром, который программа вычисляет на основе жесткости.

Результаты кинематического анализа показаны на рис. 2.



Рис. 2. Результаты кинематического анализа

Как можно заметить при рассмотрении эпюр напряжений, наблюдается их полное совпадение, что объясняется тем, что в основе линейного анализа SolidWorks лежит закон Гука.

Так как геометрия шестерен, зацепление и жесткость материала в обоих случаях одинаковы, математическое уравнение сборки не меняется. Просто решение выполняется с двух разных сторон.

При силовом анализе по заданному силовому фактору определяется перемещение, затем напряжение. При кинематическом анализе по заданному угловому перемещению определяется, что для его обеспечения понадобился 1 Н·м, следовательно, результирующие напряжения будут одинаковыми.

Так как в обоих случаях в точке контакта зубьев возникает абсолютно одинаковое физическое межмолекулярное давление, эпюры напряжений по *von Mises* совпадут до последнего знака после запятой.

Однако, несмотря на одинаковый результат на эпюрах напряжений, внутренние алгоритмы SolidWorks при этих двух видах расчетов работают по-разному. Это важно учитывать при проектировании и корректно задавать исходные данные. Расчеты через угловое перемещение математически гораздо стабильнее. Если в сборке есть небольшие зазоры или люфты, расчет с крутящим моментом может вылететь с ошибкой. Расчет с углом поворота провернет деталь ровно на заданную величину, выберет люфт и корректно завершит анализ.

УДК 661.882

ПОЛУЧЕНИЕ ДИОКСИДА ТИТАНА ИЗ ДИОПСИДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ТИТАНОМАГНЕТИТОВ

Е. Н. КУЗИН

Научный руководитель Н. Е. КРУЧИНИНА, д-р техн. наук, проф.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Вопросам производства соединений титана уделяется достаточно много внимания. Сокращение сырьевой базы, сложная геополитическая обстановка и новые глобальные вызовы диктуют спрос на поиск новых решений по добыче/производству соединений титана [1].

В качестве перспективных источников соединений титана можно отметить сфеновый и кварц-лейкоксеновый концентраты, однако вопрос их комплексной переработки в настоящее время не решен.

Сегодня при нехватке высококачественного сырья все более популярными становятся методы побочного извлечения соединений титана.

В процессе обогащения титаномagnetитов образуется значительное количество диопсидсодержащих отходов, концентрация соединений титана в которых может достигать нескольких процентов. Сульфатизацией диопсида получают растворы с высоким содержанием скандия, титана и магния, которые направляют на извлечение соединений скандия [2].

Для извлечения титана из маточных растворов может быть использован метод экстракции с использованием растворов Д2ЭГФК. Титансодержащие растворы переработки отходов обогащения титаномagnetитов (диопсид) в противоточном режиме обрабатывают раствором Д2ЭГФК в керосине. Насыщенный экстрагент промывают водой и реэкстрагируют 10...15-процентным раствором серной кислоты с добавкой до 5 г/дм³ пероксида водорода.

Полученный сернокислый раствор, содержащий пероксидный комплекс титана, подвергают анодному окислению и растворению с использованием в качестве анода титанового лома. Применение титановых электродов позволяет не только разрушать пероксидный комплекс, но и дополнительно насыщать раствор катионами титана. Полученный раствор подвергают процессам термогидролиза с получением диоксида титана технического качества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузин, Е. Н. Оценка возможности использования лейкоксен-кварцевого концентрата в качестве сырья для получения титанатов алюминия и магния / Е. Н. Кузин, И. Г. Мокрушин, Н. Е. Кручинина // Записки Горного института. – 2023. – Т. 264. – С. 886–894.
2. Комплексная технология переработки диопсида с получением скандиевого концентрата и минеральных продуктов / А. Д. Зайцева, Е. Н. Кузин, Н. Е. Кручинина [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336, № 6. – С. 69–77.

УДК 546.73

О МЕХАНИЗМЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ
ПОЛИ[БИС(2-МЕТИЛ-1Н-ИМИДАЗОЛАТО-К²Н¹, N³)КОБАЛЬТА(II)] (ZIF-67)
В ВОДНОЙ СРЕДЕ

А. Л. КУЛИКОВ

Научный руководитель С. К. ДЕДУШЕНКО, канд. хим. наук, доц.
Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
Москва, Россия

Металлоорганические каркасы (MOF) семейства цеолитоподобных имидазолов представляют интерес для каталитических и электрохимических применений. В частности, полиимидазолат кобальта (ZIF-67), построенный из ионов Co^{2+} и 2-метилимидазолатных лигандов, используют в качестве прекурсора пористых углеродных и металлоуглеродных материалов, а также при создании электрокатализаторов, материалов для накопления энергии и сорбентов.

ZIF-67 может быть осажден в водном растворе, что делает его привлекательным реагентом с точки зрения «зеленой» химии. Однако механизм кристаллизации ZIF-67 в водной среде и его стабильность не изучены.

Мы исследовали кристаллизацию ZIF-67 из водного раствора при различных pH в широком диапазоне температур. Для этого азотнокислый раствор, содержащий $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и 2-метилимидазол, титровался 2 М NaOH до pH 3...12. Полученные таким образом растворы исследовались методом электронной спектроскопии, а осадки – методом рентгенографии.

В целом кривая кислотно-основного титрования (рис. 1) содержит два выраженных скачка, что указывает многостадийный характер превращений в системе.

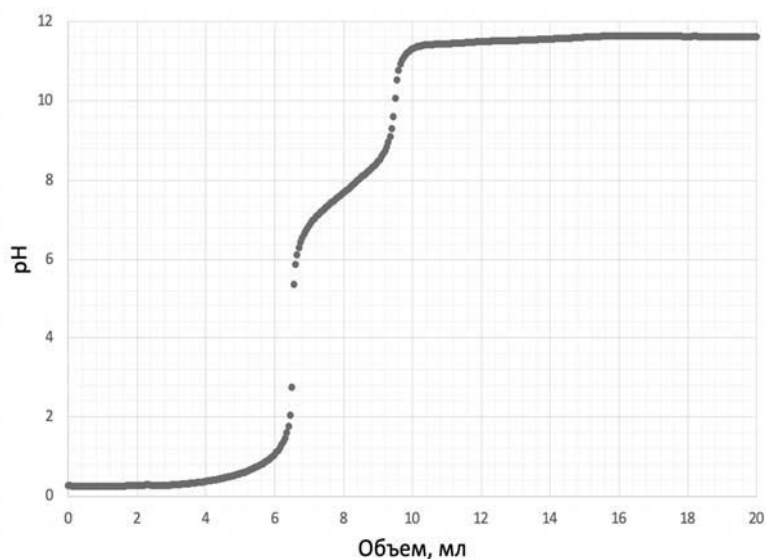


Рис. 1. Кривая pH-титрования системы Co^{2+} /2-метилимидазол 2 М NaOH

Первый скачок наблюдается вблизи $\text{pH} \approx 2$ и связан с депротонированием катиона 2-метилимидазолия, образующегося в кислой среде, с образованием нейтральной молекулы 2-метилимидазола. Второй скачок в области $\text{pH} \approx 8$ соответствует депротонированию 2-метилимидазола с образованием аниона 2-метилимидазол-1-ида и формированию условий, благоприятных для координации Co^{2+} с депротонированным лигандом.

В процессе титрования наблюдается изменение цвета раствора. При pH около 7...8 раствор приобретает интенсивную фиолетовую окраску. Одновременно в электронных спектрах (рис. 2) резко возрастает поглощение в области 530...600 нм, что свидетельствует о накоплении растворимого окрашенного комплекса кобальта с 2-метилимидазолом. При дальнейшем увеличении pH до $\approx 8,8$ наблюдается образование сине-фиолетового осадка, а интенсивность полосы поглощения маточного раствора снижается вследствие уменьшения концентрации кобальта.

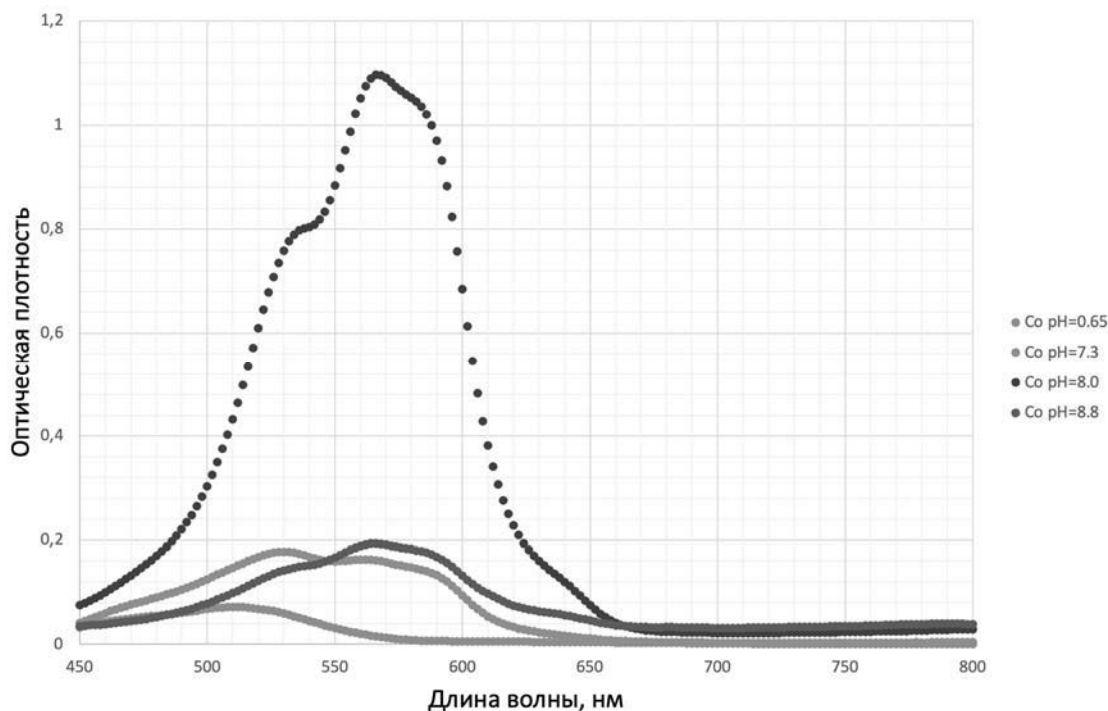


Рис. 2. Электронные спектры растворов кобальта и 2-метилимидазола при различных pH

Изменение температуры раствора не вносит значимых изменений в динамику процесса.

Таким образом, совместное применение pH -титрования и электронной спектроскопии позволяет контролировать основные стадии синтеза ZIF-67 в водной среде, выявлять область образования растворимых кобальтсодержащих комплексов и фиксировать начало формирования твердой фазы. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшей оптимизации условий кристаллизации ZIF-67.

УДК 669.1.017:620.18; 669.2.017:620.18; 615.465

МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ХИРУРГИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА И КОБАЛЬТА

П. Е. ЛУЩИК, Д. И. МАЦИНОВА

Научный руководитель И. В. РАФАЛЬСКИЙ, канд. техн. наук, доц.

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

Минск, Беларусь

Материалы медицинского назначения на основе сплавов железа и кобальта находят все более широкое применение в производстве хирургических имплантатов благодаря сочетанию высокой прочности, коррозионной стойкости и биосовместимости.

Традиционное литье остается одним из базовых методов получения заготовок для металлических имплантатов. В процессе кристаллизации формируется макроструктура материала, которая во многом определяет его эксплуатационные свойства. Характерной особенностью сплавов на основе железа и кобальта является дендритная ликвация, приводящая к неоднородному распределению компонентов по объему отливки. Для снижения ликвации применяют модифицирование расплава и оптимизацию скорости охлаждения. Пористость, возникающая из-за газовыделения и усадки при затвердевании, минимизируется путем дегазации расплава, использования флюсов и подбора оптимальных параметров заливки [1].

Порошковая металлургия предоставляет дополнительные возможности для создания материалов на основе сплавов железа и кобальта с заданными характеристиками. Порошки получают методами распыления расплава (газовым или водяным) либо механическим легированием, позволяющим формировать композиционные частицы с градиентным составом [2]. Спекание прессованных заготовок проводят в защитной атмосфере при температурах 1100 °С...1300 °С, что обеспечивает диффузионное связывание частиц без полного плавления. Дополнительное уплотнение достигается горячим изостатическим прессованием (ГИП), которое устраняет остаточную пористость и повышает плотность материала до 98 %...99 % от теоретической. Контроль пористости и плотности осуществляют методами гидростатического взвешивания, ртутной порометрии и рентгеновской томографии, что позволяет регулировать эти параметры в зависимости от назначения имплантата: например, для улучшения остео-интеграции создают пористые структуры с пораи 100...500 мкм [3].

Аддитивные технологии открывают новые перспективы для изготовления сложных гибридных имплантатов из сплавов на основе железа и кобальта с контролируемой микроструктурой. Селективное лазерное сплавление (SLM) использует порошковый материал, который локально расплавляется лазерным лучом по заданной траектории. Параметры процесса – мощность лазера, скорость сканирования, толщина слоя – напрямую влияют на формирование

мелкозернистой структуры и остаточные напряжения. Электронно-лучевая плавка (EBM) в вакууме снижает окисление и позволяет получать более однородную структуру по сравнению с SLM. Оба метода обеспечивают высокую точность геометрии и возможность создания решётчатых структур, снижающих массу имплантата без потери прочности [4].

Гибридные методы объединяют традиционные и современные подходы для улучшения свойств хирургических имплантатов. Например, литье заготовок из сплавов на основе железа и кобальта сочетают с поверхностным модифицированием – нанесением биоактивных покрытий гидроксиапатита методом плазменного напыления либо электрофоретического осаждения. Это повышает остеокондуктивность поверхности, не ухудшая механических свойств основы. Альтернативой служат износостойкие и коррозионно-стойкие покрытия из нитрида титана (TiN), наносимые методами физического осаждения из газовой фазы (PVD) или химического осаждения (CVD). Такие покрытия формируют на поверхности имплантата тонкий (1...10 мкм) слой с высокой твердостью, что критично для подвижных соединений в ортопедии [5].

Таким образом, выбор метода изготовления гибридных материалов на основе железа и кобальта зависит от требуемых характеристик имплантата. Традиционное литье обеспечивает возможность получения крупноразмерных конструкций, порошковая металлургия – пористых биоактивных структур, аддитивные технологии – сложных индивидуальных форм, а гибридные методы позволяют сочетать преимущества разных подходов для достижения оптимального баланса свойств изделий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Куликов, С. А.** Влияние кобальта на свойства литейных сплавов / С. А. Куликов, Ф. И. Рудницкий // *Литье и металлургия*. – 2024. – № 4. – С. 17–24.
2. **Baghbaderani, H. A.** Investigation of nanostructure formation mechanism and magnetic properties in Fe₄₅Co₄₅Ni₁₀ system synthesized by mechanical alloying / H. A. Baghbaderani, S. Sharafi, M. Delshad Chermahini // *Powder Technology*. – 2012. – Vol. 230. – P. 241–246.
3. **Lario, J.** Evolution of the microstructure and mechanical properties of a Ti35Nb2Sn alloy post-processed by hot isostatic pressing for biomedical applications / J. Lario, Á. Vicente, V. Amigó // *Metals*. – 2021. – Vol. 11, № 7. – URL: <https://clck.ru/pJhpn> (дата обращения: 02.09.2026).
4. **Николаев, А. И.** Пористые материалы для имплантатов : методы контроля структуры / А. И. Николаев, Л. М. Цепов. – СПб. : ЭЛБИ, 2023. – 312 с.
5. Experimental investigation of tribo-mechanical and chemical properties of TiN PVD coating on titanium substrate for biomedical implants manufacturing / G. M. Uddin, M. Jawad, M. Ghufra [et al.] // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2019. – Vol. 102. – P. 1391–1404.

УДК 666.762.32

РАЗРАБОТКА ПЕРИКЛАЗОВЫХ НАБИВНЫХ МАСС ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ

А. А. МАЛЬЦЕВ

Научный руководитель А. Р. ХАФИЗОВА

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Екатеринбург, Россия

В современной металлургической промышленности для футеровки индукционных тигельных печей используют набивные массы. Они представляют собой неформованные огнеупорные смеси, которые применяются в увлажненном или сухом виде. Работа посвящена разработке набивных масс на основе MgO, обеспечивающих стойкость к термическим напряжениям, высокую механическую прочность, а также химическую стойкость к воздействию металла и шлаков.

В качестве основного сырьевого компонента использовались плавленные периклазовые порошки фракции 4...0 мм производства ООО «Группа «Магнетит» с содержанием MgO не менее 96 %. Для повышения физико-механических и эксплуатационных свойств в набивные массы вводились спекающие и функциональные добавки; исследуемые составы представлены в табл. 1. Одним из основных требований, предъявляемых к набивным массам, является их объемопостоянство в службе; в соответствии с этим требованием предварительно была подобрана максимальная плотность упаковки с показателем насыпной плотности $\rho = 2,22 \text{ г/см}^3$ для фракций плавленных порошков 4...0 мм.

Табл. 1. Составы набивных периклазовых масс

Компонент	Содержание, мас. %, в составе						
	1	2	3	4	5	6	7
Плавленный MgO фракций 4...0 мм	98	98	98	88	95	96	96
Электрокорунд фракции < 0,050 мм	—	—	—	10	—	—	—
Борная кислота	2	—	—	2	2	2	2
Плавиковый шпат	—	2	—	—	—	—	—
Гексаметафосфат натрия	—	—	2	—	—	—	—
Оксид хрома техническая	—	—	—	—	3	—	—
Бадделеитовый порошок	—	—	—	—	—	2	—
Пыль циклонная титаносодержащая	—	—	—	—	—	—	2

Для определения физико-механических свойств были подготовлены образцы цилиндрической формы для составов согласно табл. 1 с использованием лигносульфоната технического 5 мас. %...7 мас. % (сверх 100 % массы). Прессование образцов проводилось на гидравлическом прессе при давлении, соответствующем уплотнению массы при вибротрамбовке (500 кгс/см²). Далее

образцы подвергли сушке и обжигу в лабораторной муфельной печи при температурах 1200 °С, 1400 °С и 1500 °С. Результаты физико-механических показателей представлены в табл. 2.

Табл. 2. Физико-механические свойства образцов

Свойство	Значение для состава						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>T</i> = 1200 °С							
Усадка, %	0,28	0	0	0	0	1,11	0
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,83	2,90	2,94	2,69	2,86	2,88	2,82
Открытая пористость, %	22,5	18,4	17,1	24,0	19,9	18,9	20,7
Предел прочности при сжатии, МПа	26,1	16,3	18,7	19,7	25,5	32,2	17,7
<i>T</i> = 1400 °С							
Усадка, %	0	0,42	0	0	0	0,84	0,51
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,87	2,90	2,94	2,80	2,88	2,93	2,88
Открытая пористость, %	18,9	18,2	17,2	21	19,3	16,8	18,3
Предел прочности при сжатии, МПа	32,6	39,7	24,6	45,8	33,2	58,6	41,7
<i>T</i> = 1500 °С							
Усадка, %	0,23	0,34	0,51	–2,50	0,83	1,20	0,36
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,89	2,91	2,95	2,81	2,91	2,91	2,87
Открытая пористость, %	17,9	17,2	16,7	20,6	17,9	17,0	18,2
Предел прочности при сжатии, МПа	32,3	31,1	22,5	31,2	28,2	47,6	46,9

При анализе плавленных магниезиальных образцов с жидкофазными добавками (составы 1–3) наблюдается снижение кажущейся плотности и увеличение пористости от спеченного (контактного) слоя к буферному. Значительное спекание обеспечивает гексаметафосфат натрия с максимальной кажущейся плотностью и минимальной пористостью ($\rho_{\text{каж}} = 2,95$ г/см³, $P_{\text{откр}} = 16,7$ %) в сравнении со всеми образцами. При оценке результатов для состава с электрокорундом наблюдается рост при температуре обжига 1500 °С. Несмотря на это, данный состав сохраняет тенденцию снижения плотности и увеличения пористости от рабочего слоя к буферному.

При добавлении окиси хрома к магниезиальным набивным массам на плавленных порошках указано, что образцы более плотные ($\rho_{\text{каж}} = 2,91$ г/см³), но обладают средним значением предела прочности при сжатии ($\sigma_{\text{сж}} = 28,2$ МПа) относительно всех составов. Для образцов с добавлением диоксида циркония наблюдается характерное увеличение прочности образцов до максимального значения при 1400 °С ($\sigma_{\text{сж}} = 58,6$ МПа), а при дальнейшем повышении температуры – снижение этого показателя. При добавлении TiO₂ показатели кажущейся плотности и пористости также равномерно снижаются от максимально спеченного слоя к буферному. На образцах с титаносодержащим шлаком при максимальной температуре обжига (1500 °С) сохраняется значительное упрочнение структуры ($\sigma_{\text{сж}} = 46,9$ МПа).

УДК 529.23

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК ПОЛИАНИЛИНА НА АЛЮМИНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Д. И. МИННЕАХМЕТОВ, В. С. МИЧНИК, А. И. САМИГУЛЛИНА
Научный руководитель И. Н. МУЛЛАГАЛИЕВ, канд. физ.-мат. наук
Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

Проводящие полимеры представляют собой перспективный класс материалов, сочетающих электропроводность и технологичность полимеров [1]. Среди них полианилин и его производные занимают особое место благодаря химической стабильности и возможности управления уровнем легирования [2]. Данные материалы активно применяются в создании сенсоров, органических светодиодов и гибкой электроники.

ПАНИ наносили на алюминиевую подложку методом вакуумного напыления на УВП-250 при давлении $10^{-5} \dots 10^{-6}$ мм рт. ст. Морфологию поверхности исследовали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) в полуконтактном режиме. АСМ позволяет получать трехмерные изображения поверхности с высоким пространственным разрешением и проводить анализ параметров шероховатости, включая среднеквадратичную шероховатость, максимальную высоту пика, а также другие характеристики рельефа (рис. 1 и 2).

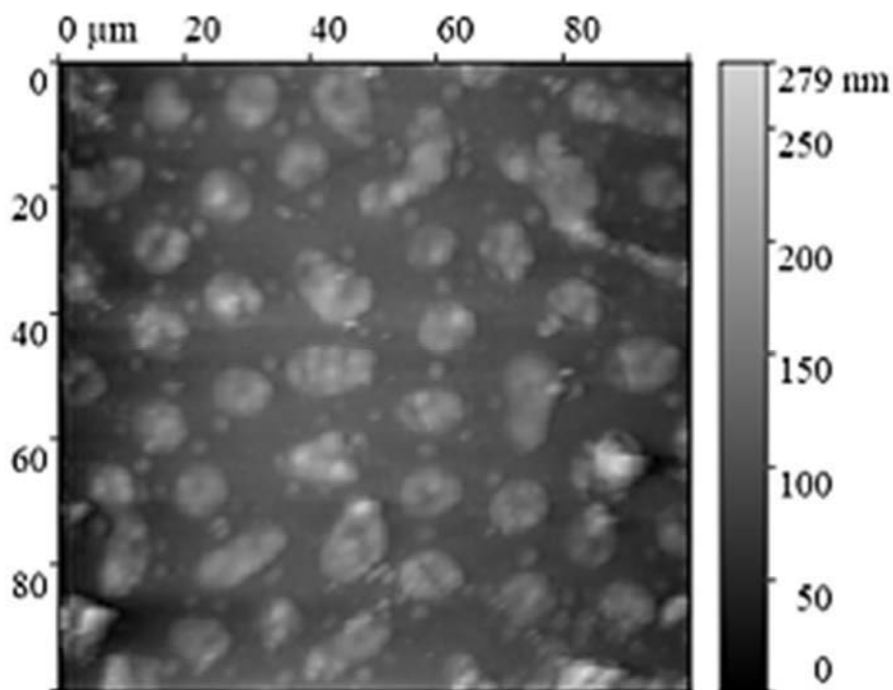


Рис. 1. Двухмерное АСМ-изображение поверхности ПАНИ

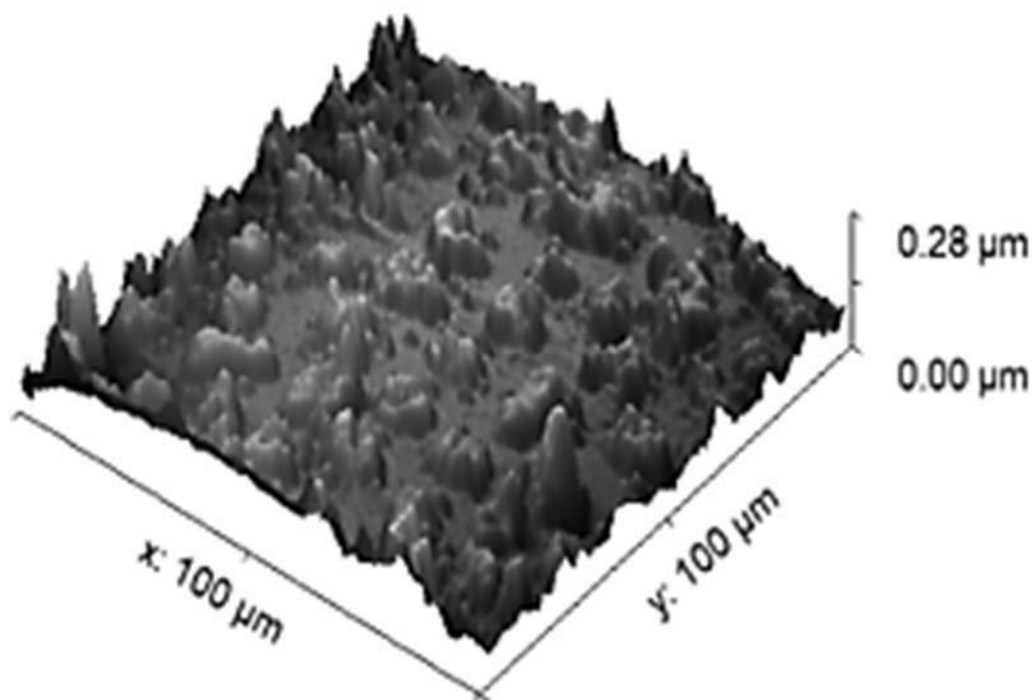


Рис. 2. Трехмерное АСМ-изображение поверхности ПАНИ

По данным АСМ, поверхность пленок ПАНИ на алюминии имеет зернистый рельеф с неравномерным распределением полимерных фракций. Трехмерные профили отображают типичную для вакуумного напыления топографию с чередованием локальных пиков и впадин. При оценке шероховатости наблюдается масштабный эффект: значение Sq снижается по мере увеличения площади сканирования. На участке 20×20 мкм² среднеквадратичная шероховатость составляет примерно 0,035 мкм, тогда как на площади 100×100 мкм² она падает до 0,027 мкм. Такое поведение параметра обусловлено статистическим усреднением рельефа: на малых участках основной вклад вносят отдельные локальные неоднородности. В целом полученные значения указывают на то, что вакуумное напыление позволяет формировать достаточно гладкие слои полианилина, что критически важно для создания активных элементов органической электроники и сенсоров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атомно-силовая микроскопия наноструктур полианилина / Ю. М. Спивак [и др.] // Биотехносфера. – 2012. – № 1 (19). – С. 7–12.
2. **Лобов, И. А.** Особенности формирования морфологии пленок полианилина и композита полианилин/углеродные нанотрубки, допированных додецилбензолсульфокислотой / И. А. Лобов, Н. А. Давлеткильдеев, Д. В. Соколов // Омский научный вестник. – 2016. – № 4 (148). – С. 128–131.

УДК 621.762

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНООСНОГО СТАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ ГИРОИДНОЙ СЕТКИ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА, НАПОЛНЕННОГО КОРУНДОМ Al_2O_3

Д. А. МИШИН

Научный руководитель Т. В. ТАРАСОВА, канд. техн. наук, доц.
Московский государственный технический университет «СТАНКИН»
Москва, Россия

Аддитивные технологии благодаря своей гибкости позволяют получать изделия, по сложности формы значительно превосходящие детали, полученные традиционными технологиями [1–3]. Одним из способов дальнейшего повышения механических характеристик аддитивных изделий является создание деталей с металлической матрицей, наполненных керамическим материалом [4–6].

Для проверки данного предположения в ANSYS Mechanical выполнен расчет статического сжатия модели периодической решетки из сплава титана в двух вариантах: с заполнением внутренних полостей керамическим порошком и без заполнения.

В качестве исходных данных для компьютерного моделирования использовались:

– форма, ориентация и геометрические параметры периодической решетки: гироидный куб со стороной $10 \times 10 \times 10$ мм, толщиной стенки 0,25 мм, шагом решетки 2,5 мм;

– механические характеристики используемых материалов ВТ6 и Al_2O_3 , согласно базе данных ANSYS Mechanical;

– направление и величина приложенной силы: нагрузка вдоль оси Z, равная 5000 Н, которая прилагалась на плоскую поверхность куба из композиционного материала или торцевые поверхности решетки в случае отсутствия заполнения.

Распределение и величина деформаций представлены на рис. 1.

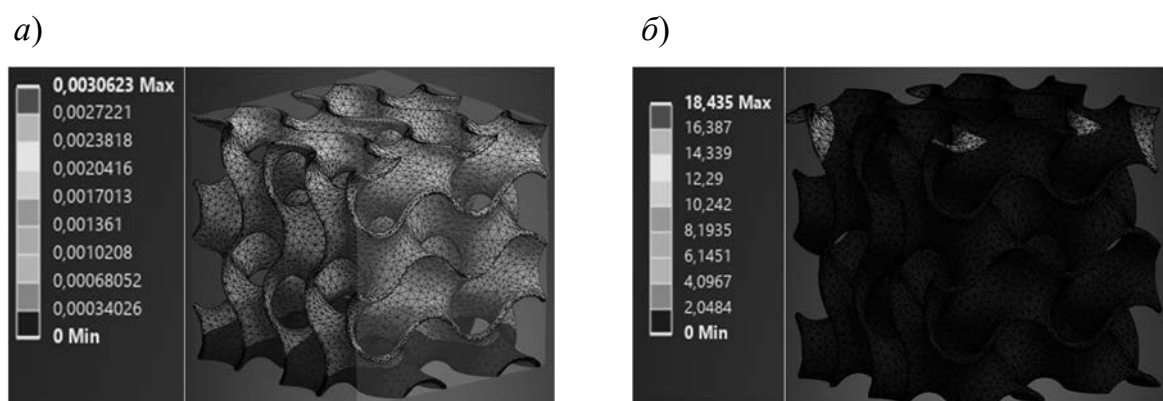


Рис. 1. Распределение деформаций в решетке, армированной корундом (а) и неармированной (б)

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о значительном снижении деформаций отдельных участков матрицы при ее наполнении армирующим материалом, а также о снижении напряжений металлической матрицы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аддитивные технологии. Базовые принципы. Термины и определения: ГОСТ Р 57558–2025 (ISO/ASTM 52900:2021). – 2025.
2. **Григорьев, С. Н.** Возможности технологии аддитивного производства для изготовления сложнопрофильных деталей и получения функциональных покрытий для производства порошков / С. Н. Григорьев, Т. В. Тарасова // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2015. – № 10. – С. 5–11.
3. **Тарасова, Т. В.** Аддитивное производство : учеб. пособие / Т. В. Тарасова. – М. : ИНФРА-М, 2020. – 196 с.
4. **Borikar, G. P.** Additively manufactured lattice structures and materials: present progress and future scope / G. P. Borikar, A. R. Patil, S. B. Kolekar // *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* – 2023. – № 24. – P. 2133–2180.
5. **Shivank, A. T.** Additive manufacturing of titanium-based lattice structures for medical applications / A. T. Shivank, M. Manjaiah // *Bioprinting*. – 2023. – № 30.
6. The quality of thin-walled structures of AlSi10Mg produced by selective laser melting / T. V. Tarasova, P. A. Podrabinnik, N. N. Babushkin [et al.] // *Temperature Material Processes (An International Quarterly of Technology Plasma Processes)*. – 2024.

УДК 678.742.3:678.046

МИКРОСТРУКТУРНАЯ ОЦЕНКА ДИСПЕРСИИ $\text{Al}(\text{OH})_3$ И БЕНТОНИТА В ОГНЕСТОЙКОМ РАНДОМ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОМ КОМПОЗИТЕ

Ф. А. МУСТАФАЕВА^{1,2}, Н. Т. КАХРАМАНОВ², У. В. БАГИРОВА²¹Сумгаитский государственный университет²Институт полимерных материалов

при Сумгайтском государственном университете

Сумгаит, Азербайджан

Рандом полипропилен (ППР) обладает превосходными механическими свойствами, но является легковоспламеняющимся, что обуславливает необходимость в экологически чистых, не содержащих галогенов антипиренах, таких как гидроксид алюминия (ГА) [1, 2]. Хотя ГА обеспечивает эндотермическое разложение, высокие концентрации часто ухудшают характеристики материала, что требует использования синергетических наполнителей, таких как бентонит, для образования защитного слоя обугливания при более низких концентрациях [3, 4]. В данном исследовании изучаются микроструктурная дисперсия и морфология межфазной границы композитов ППР (Topilene® R200P), содержащих как ГА, так и бентонит.

На основе изображений, полученных с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (JSM-6610), можем проанализировать микроструктурную морфологию и распределение наполнителя в двух различных композитах из ППР. Хорошо известно, что конечные качества композита предопределены его супрамолекулярной структурой. Исследование с помощью СЭМ дополнительно подтвердило состояние дисперсии бентонита в композиции ППР / компатибилизатор / ГА (рис. 1).

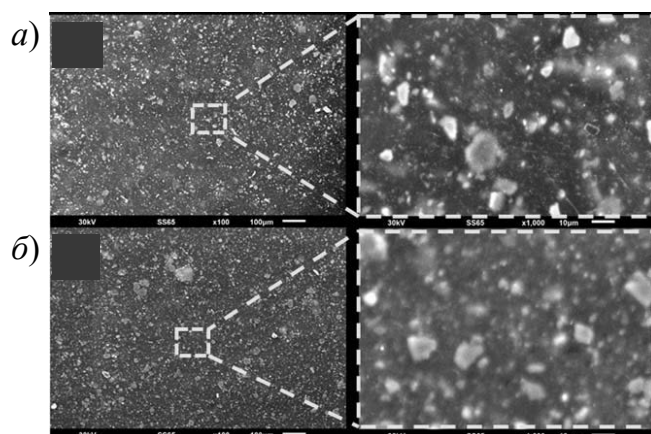


Рис. 1. СЭМ-изображения ППР / компатибилизатор / ГА (45 %) / бентонит (5 %) (а) и ППР / компатибилизатор / ГА (25 %) / бентонит (25 %) (б)

На изображениях в левой панели представлен широкоугольный вид основной матрицы. Они показывают, насколько равномерно распределены наполнители в ППР на макроуровне. На правой панели увеличенные

изображения наглядно демонстрируют локальное межфазное взаимодействие, форму и индивидуальные размеры минеральных частиц, внедренных в полимерную матрицу. Сравнительный анализ изображений композитов, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа, представлен в табл. 1. В обоих образцах наполнители демонстрируют в целом однородное распределение по всей ППР-матрице, без массивного макрофазового расслоения или крупных структурных трещин. На изображениях с большим увеличением ($\times 1,000$) наполнители, по-видимому, прочно внедрены в фазу ППР. Однако наличие отчетливых острых краев указывает на типичную морфологию физического смешивания, характерную для высоконаполненных термопластичных композитов.

Табл. 1. Микроструктурное сравнение композитов на основе ППР / компатибилизатор / ГА / бентонит

Особенность	Композит (а)	Композит (б)
Распределение соотношения наполнителя	В основном состоит из ГА, с незначительной примесью бентонитовой глины	Равномерное распределение по весу (соотношение 1:1) ГА и бентонитовой глины
Разброс размеров частиц	Высокий контраст между множеством мелких частиц и некоторыми более крупными, угловатыми кристаллическими структурами (видимыми в рамке с большим увеличением)	Более равномерное распределение частиц разных размеров с плотной пространственной структурой
Агломерация и плотность	Из-за высокой общей концентрации ГА (45 %) частицы имеют высокую плотность и образуют скопления неправильной формы	Отдельные слои/пластинки бентонита и частиц ГА смешиваются более тщательно, образуя узкие промежутки между ними

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Flame Retardant Polypropylenes: A Review / F. Seidi, E. Movahedifar, G. Naderi [et al.] // Polymers (Basel). – 2020. – Vol. 12 (8).
2. Flame retardant treatments for polypropylene: Strategies and recent advances / W. Zhao, C. K. Kundu, Z. Li [et al.] // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2021. – Vol. 145.
3. Fire-resistant polymer composites based on mineral fillers / F. Mustafayeva, N. Kakhramanov, Kh. Allahverdiyeva [et al.] // RSC Adv. – 2026. – Vol. 16 (7). – P. 6257–6287.
4. **Mustafayeva, F. A.** Flame retardant effect of aluminum hydroxide in polymeric materials: A review / F. A. Mustafayeva, N. T. Kakhramanov // Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. – 2025. – Vol. 68, № 5. – P. 72–100.

УДК 678.01:620:17

ПРОЧНОСТЬ НА РАСТЯЖЕНИЕ ЛПЭНП, АРМИРОВАННОГО МУКОЙ
ИЗ МИКРОГРАНУЛ КУКУРУЗНОЙ ШЕЛУХИ:
РОЛЬ КОМПАТИБИЛИЗАТОРА

Ф. А. МУСТАФАЕВА^{1, 2}, Э. А. МУСТАФАЕВ²,
А. Т. ОРУДЖОВА², И. М. НАСИРОВА¹

¹Сумгаитский государственный университет

²Институт полимерных материалов

при Сумгайтском государственном университете

Сумгаит, Азербайджан

В последние годы растущая обеспокоенность по поводу экологической устойчивости и потребность в возобновляемых ресурсах серьезно повлияли на развитие биокompозитов [1, 2]. Биокompозиты определяются как материалы, имеющие одно или несколько биологических источников. Натуральные волокна имеют многообещающее будущее в качестве наполнителей и армирующих материалов в терморезактивных полимерах, термопластах и эластомерах.

Кукурузная шелуха – это возобновляемый лигноцеллюлозный сельскохозяйственный побочный продукт, высоко ценимый как экологически чистое натуральное волокно. Благодаря своей волокнистой структуре и богатому составу они часто используются в качестве армирующих наполнителей как в биоразлагаемых, так и в синтетических полимерных матрицах для создания экологически чистых композитов [3]. Натуральные волокна кукурузной шелухи обладают гидрофильными свойствами и содержат полярные гидроксильные (–ОН) группы. Это создает специфические проблемы совместимости в зависимости от целевой полимерной матрицы. Совместимость с гидрофобными/синтетическими полимерами в данном исследовании – ЛПЭНП (линейный полиэтилен низкой плотности) – обычно низкая. Для улучшения совместимости в исследовании использовались 1 мас. % технологической добавки LIBAID T-2 (Liberty Chemicals) и 2 мас. % Exxelor TM PO 1020 (ExxonMobil Chemical).

На рис. 1 показано, как добавление кукурузной шелухи и компатибилизатора влияет на прочность на растяжение. В частности, сравниваются механические характеристики композитов, полученных с добавлением компатибилизатора и без него. Данные показывают, что увеличение содержания кукурузной шелухи, как правило, снижает прочность на растяжение, в то время как введение компатибилизатора неизменно повышает ее. При всех исследованных процентных соотношениях композиты с компатибилизатором имеют более высокие значения, чем композиты без компатибилизатора. Добавление компатибилизатора неизменно улучшает прочность на растяжение, поскольку способствует лучшему связыванию наполнителя из кукурузной шелухи с полимерной матрицей. Высокая концентрация наполнителя обычно приводит к агломерации частиц и плохой передаче напряжений внутри матрицы, снижая общую прочность материала. Композит с компатибилизатором демонстрирует среднее увеличение прочности примерно на 1...2 МПа по сравнению с некомпатибилизированным аналогом на каждом этапе нагружения. Компатибилизатор

действует как молекулярный мостик. Он улучшает межфазную адгезию между гидрофильными волокнами кукурузной шелухи и гидрофобной полимерной матрицей, предотвращая преждевременное механическое разрушение.

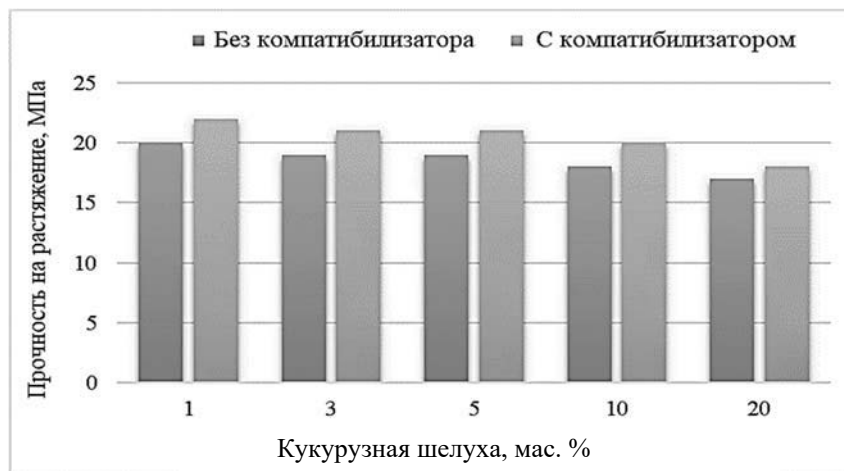


Рис. 1. Влияние наличия компатибилизатора и содержания кукурузной шелухи на прочность на растяжение композитов на основе ЛПЭНП

На основании представленной гистограммы видно, что снижение прочности на разрыв биокompозитов из кукурузной шелухи и ЛПЭНП по мере увеличения содержания наполнителя обусловлено двумя основными факторами: плохой межфазной адгезией (гидрофильная или гидрофобная природа) и агломерацией частиц. Кукурузная шелуха – это натуральное волокно, богатое целлюлозой, что делает его очень гидрофильным. Напротив, линейный полиэтилен низкой плотности – это неполярный полимер, который является очень гидрофобным. Это несоответствие приводит к плохому смачиванию волокон полимерной матрицей, что приводит к слабому межфазному слою. При приложении растягивающей нагрузки матрица не может эффективно передавать напряжение на более прочные волокна кукурузной шелухи, что вызывает преждевременное разрушение. При низких концентрациях частицы кукурузной шелухи относительно хорошо диспергированы в ЛПЭНП. По мере увеличения массовой доли до 20 мас. % волокна естественным образом начинают слипаться, образуя более крупные агломераты. Эти комки создают микроскопические пустоты, локальные структурные неоднородности и точки сильной концентрации напряжений, где легко возникают и распространяются трещины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Haruna, B.** Acomprehensive review of performance enhancement of hybrid rice husk polymer resin biocomposite / B. Haruna, I. Abdullahi, U. Abdullahi // J. Umm Al-Qura Univ. Eng. Archit. – 2025. – Vol. 16. – P. 1309–1321.
2. Rice husk filled polymer composites / R. Arjmandi, A. Hassan, K. Majeed [et al.] // International Journal of Polymer Science. – 2015.
3. **Ratna, A. S.** Advances and prospects of corn husk as a sustainable material in composites and other technical applications / A. S. Ratna, A. Ghosh, S. Mukhopadhyay // Journal of Cleaner Production. – 2022. – Vol. 371.

УДК 678.01:620:17

МИКРОКОМПОЗИТЫ РАНДОМ ПОЛИПРОПИЛЕНА С КУКУРУЗНОЙ ШЕЛУХОЙ: ВЛИЯНИЕ КОМПАТИБИЛИЗАТОРА НА ПРОЧНОСТЬ

Ф. А. МУСТАФАЕВА^{1,2}, Ф. С. СУЛЕЙМАНЛЫ¹,
М. М. МУСТАФАЕВ¹, У. А. ХУДИЕВА²

¹Сумгаитский государственный университет

²Институт полимерных материалов

при Сумгайтском государственном университете

Сумгаит, Азербайджан

На сегодняшний день количество природных или сельскохозяйственных отходов, таких как сухие листья, рисовые отходы и шелуха из различных природных ресурсов, увеличилось из-за роста населения [1]. Люди сжигают эти отходы, нанося вред окружающей среде и серьезно влияя как на людей, так и на животных. Утилизация отходов представляет собой проблему, и сегодня наиболее важной задачей является поиск новых способов использования этих отходов [2]. Использование сельскохозяйственных отходов в качестве наполнителя в полимерных композитах может минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Использование остатков кукурузной шелухи в биокомпозитах предоставляет множество преимуществ, например позволяет снизить относительное количество синтетических полимеров. В представленном исследовании изложены результаты влияния добавления микроразмерной муки из кукурузной шелухи и присутствия компатибилизатора на прочностные характеристики композитов на основе рандом полипропилена.

Гигроскопическая природа целлюлозы, основного компонента растительных волокон, приводит к изменению размеров и последующему ухудшению механических характеристик композита [3]. Введение компатибилизатора может оказаться эффективной стратегией для достижения высоких адгезионных сил. Среди различных компатибилизаторов, таких как полимеры, модифицированные малеиновым ангидридом, силановые связующие агенты, эпоксидные смолы, органосиланы, изоцианаты и т. д., полипропилен, модифицированный малеиновым ангидридом, часто используется для улучшения адгезии на границе раздела полимерных матриц и агроволокон. По этой причине в исследованиях использовался именно такой состав – Exxelor TM PO 1020 компатибилизатора (2 мас. %). Также был добавлен 1 мас. % LIBAID T-2 технологической добавки.

На основании представленной гистограммы (рис. 1) можно сделать вывод, что добавление компатибилизатора, как правило, увеличивает и стабилизирует прочность на растяжение композита из кукурузной шелухи и рандом полипропилена. Практически во всех составах композиты с компатибилизатором обладают более высокими показателями прочности, чем композиты без компатибилизатора. Это свидетельствует о том, что компатибилизатор успешно повышает общую прочность материала на растяжение за счет улучшения межфазного сцепления. Максимальная общая прочность на растяжение

достигает приблизительно 28 МПа при содержании 1 мас. % кукурузной шелухи и компатибилизатора.

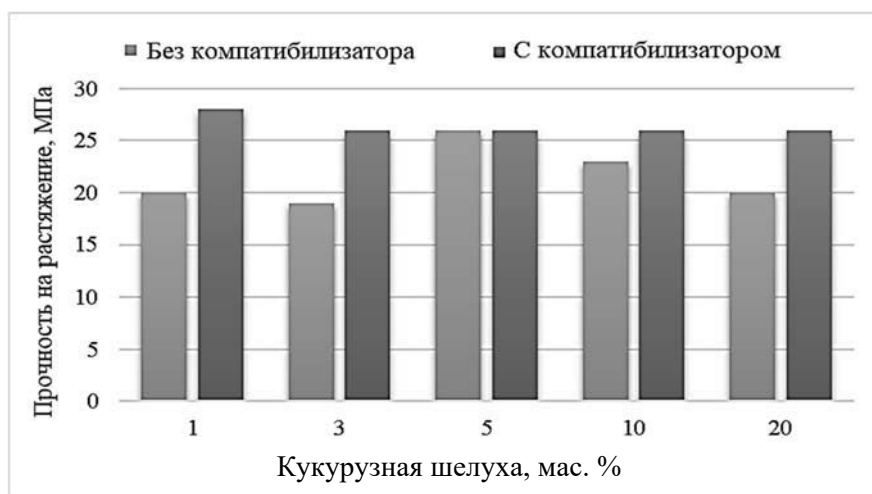


Рис. 1. Влияние компатибилизатора на прочность композитов из кукурузной шелухи и рандом полипропилена

При содержании кукурузной шелухи 5 мас. % прочность на растяжение одинакова как с добавлением компатибилизатора, так и без него. Это позволяет предположить, что при данном соотношении естественное распределение или сцепление компонентов само по себе обеспечивает максимальную эффективность, делая компатибилизатор излишним для повышения прочности.

Без компатибилизатора прочность на разрыв колеблется непостоянно по мере добавления кукурузной шелухи, достигая своего минимума при 20 мас. %. При добавлении компатибилизатора прочность незначительно снижается после достижения концентрации 1 мас. %, но остается очень стабильной и неизменной на уровне 26 МПа.

В полимерной химии мука из кукурузной шелухи является гидрофильной (водолюбивой), тогда как рандом полипропилен является гидрофобным (водоотталкивающим). Компатибилизатор действует как химический мостик, улучшающий межфазную адгезию, позволяя более эффективно передавать напряжения между матрицей сополимера полипропилена со случайным расположением молекул и наполнителями из кукурузной шелухи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mechanical properties of polyester/corn husk fibre composite produced using vacuum infusion technique / Md. Shibly, C. Ming, D. Koay, S. Chun // *Polymers and Polymer Composites*. – 2021. – Vol. 29. – P. 1532–1540.
2. Recent Progress of Rice Husk Reinforced Polymer Composites: A Review / M. A. Suhot, M. Z. Hassan, S. A. Aziz [et al.] // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13.
3. Review on Mechanical Improvements and Environmental Benefits of Rice Husk Reinforced Polymer Composites / S. Monga, M. Kadian, S. Nagoria [et al.] // *Curr World Environ.* – 2024. – Vol. 19 (3).

УДК 546.185; 666.76

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СОСТАВОВ ТЕРМОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР И ФОСФАТНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

В. И. НОВИЦКАЯ, А. Н. КУДЛАШ

Научный руководитель К. Н. ЛАПКО, канд. хим. наук, доц.

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

Термостойкие теплоизолирующие материалы (ТТМ) на основе неорганических полых микросфер широко востребованы в различных отраслях, а их разработка и усовершенствование свойств критически важны с точки зрения энергоэффективности [1, 2]. Модифицирование составов ТТМ направлено на улучшение их функциональных свойств, уменьшение времени отверждения, повышение их долговечности, устойчивости к различным воздействиям и снижение стоимости производства [2].

Цель исследования заключалась в проведении модифицирования химического состава ТТМ, полученных на основе стеклянных полых микросфер (СПМС) и дигидрофосфата магния в качестве твердого связующего.

Методика изготовления материалов. Образцы ТТМ в форме цилиндров ($d = 30$ мм, $h = 10$ мм) были получены путем прессования ($p_{уд} \approx 370$ кПа) однородной смеси, полученной методом воздушно-взвешенного перемешивания, следующих компонентов: связующего, основного и функционального (СПМС) наполнителей. В качестве основного наполнителя использовали корунд (К), смесь корунда с высокоглиноземистым цементом (К-ГЦ) и модифицирующими добавками с сохранением соотношений основных компонентов. Первичное отверждение полученных композитов проводили в эксикаторе ($\phi \sim 75\%$, 1 сут), далее проводили термообработку (ТО) в печи при нагревании до 400°C (скорость $5^\circ\text{C}/\text{мин}$, воздушная атмосфера). Ранее [1] для данного типа ТТМ было предложено оптимальное содержание компонентов: связующее – 30 мас. %, основной наполнитель – 40 мас. %, СПМС – 30 мас. %.

Методы исследования ТТМ: комплексный термический анализ (КТА), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), рентгенофазовый анализ (РФА), определение теплопроводности и термического сопротивления методом лазерной вспышки (LFA), изучение эксплуатационных характеристик ТТМ (прочность $\sigma_{сж}$, плотность, водопоглощение и водостойкость).

Результаты. Разработаны и исследованы составы теплоизолирующих композитов на основе твердого магнийфосфатного связующего и СПМС. Проведено химическое модифицирование составов ТТМ путем введения активных наполнителей-модификаторов (Fe_3O_4 , FeO , Cu_2O , CuO , ZnO , MgO (периклаз), $\text{Mg}_{0,4}\text{Zn}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_4$). Определены оптимальные составы для теплоизолирующих фосфатных композитов и обоснован подходящий режим их ТО. Изучены термические превращения модифицированных составов в интервале температур $20^\circ\text{C} \dots 1000^\circ\text{C}$. Показано, что все исследованные композиты устойчивы в этом диапазоне температур. Изучены прочность, плотность, водопоглощение (ВП) и водостойкость полученных образцов ТТМ. Показано,

что теплоизолирующие композиты обладают следующими характеристиками: $\sigma_{сж} \sim 2...4$ МПа, $\rho \sim 0,6$ г/см³, ВП $\sim 40\%...50\%$, а также являются водостойкими.

Установлено, что наибольший положительный эффект модифицирования обнаружен для ТТМ на основе наполнителя состава К-Fe₃O₄10. Показано, что переход от комплексного трехкомпонентного наполнителя К-ГЦ10-Fe₃O₄10 к двухкомпонентной системе позволяет сохранить эксплуатационные характеристики образцов на том же уровне ($\sigma_{сж} \sim 3,5$ МПа, $\rho \sim 0,6$ г/см³) и уменьшить стоимость материала, содержащего стеклянные полые микросферы.

Результаты термического анализа полученных ТТМ показали, что после термообработки до 400 °С композиты с наполнителем К-Fe₃O₄10 обладают стабильными термическими (рис. 1) и функциональными характеристиками, что делает их перспективными теплоизолирующими материалами для использования в условиях высоких температур и повышенной влажности. Композитные образцы на основе этого наполнителя успешно выдержали 20 циклов нагрева-охлаждения (20 °С...800 °С) в воздушной среде, что указывает на термоциклическую устойчивость материала.

Исследование температуропроводности и теплопроводности λ образцов на основе наполнителя К-Fe₃O₄10 показало нелинейную зависимость этих величин от температуры (рис. 2); значения λ для данного образца ТТМ возрастают от 0,16 до 0,42 Вт/(м·К) в интервале 20 °С...1000 °С.

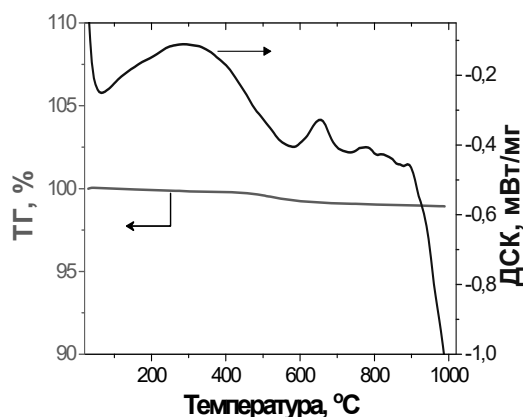


Рис. 1. Термограмма образца фосфатного ТТМ на основе СПМС с наполнителем К-Fe₃O₄10 (ТО = 400 °С)

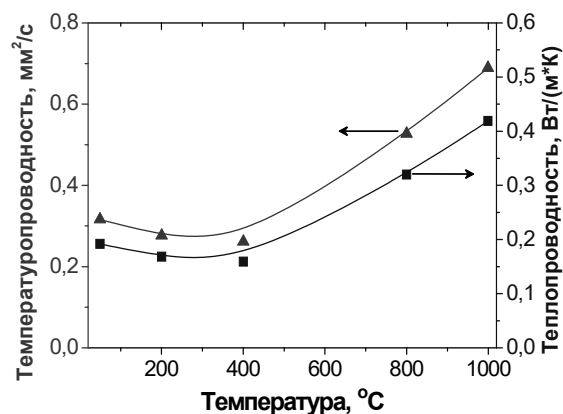


Рис. 2. Зависимость температуропроводности и теплопроводности образца ТТМ с наполнителем К-Fe₃O₄10

Таким образом, проведено модифицирование образцов ТТМ на основе СПМС и твердого магнийфосфатного связующего, получены водостойкие композиты прочностью $\sim 3,5$ МПа, теплопроводностью $0,2...0,4$ Вт/(м·К).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Термостойкие теплоизолирующие композиционные материалы на основе полых микросфер и твердых фосфатных связующих: разработка и исследование / Н. С. Апанасевич, А. А. Сокол, А. Н. Кудлаш [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Химия. – 2022. – № 2. – С. 70–82.
2. Review of lightweight, high-temperature thermal insulating materials for aerospace / Q. Zhang, H. Huang, C. Lei [et al.] // Materials. – 2025. – Vol. 18, iss. 2383. – P. 1–18.

УДК 691.175, 620.172

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕЧАТИ ABS-ПЛАСТИКА НА ПРИМЕРЕ НЕКОТОРЫХ 3D-ПРИНТЕРОВ

А. А. ПРОТАСЕВИЧ

Научный руководитель И. А. ЛЕОНОВИЧ, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Результат анализа данных при испытании стандартных образцов из ABS-пластика на растяжение, напечатанных на 3D-принтерах Bambu Lab H2D, Raise3D Pro3 и Vshaper PRO, показал существенное отличие в средней плотности полученного материала при одинаковой заданной степени заполнения (от 60 % до 100 %). При этом наиболее высокие значения прочности наблюдались в образцах, напечатанных на принтере Vshaper PRO, имеющих наиболее высокую плотность. На принтерах Bambu Lab H2D и Raise3D Pro3 получен значительно более легкий материал при несколько пониженной прочности [1].

На принтере Vshaper PRO при 100-процентном заполнении достигнуты максимальные абсолютные значения: предел прочности 36,10 МПа при средней плотности материала 1,00 г/см³. Для принтера Bambu Lab H2D при 100-процентном заполнении предел прочности ABS-пластика составил 34,10 МПа, а средняя плотность – 0,80 г/см³. На принтере Raise3D Pro3 при 100-процентном заполнении предел прочности достигал 29,15 МПа при средней плотности 0,78 г/см³. Очевидно, что скорость уменьшения средней плотности пластика получилась выше, чем скорость падения его прочности, что следует учитывать при определении эффективности 3D-принтера.

При больших объемах производства расход материала имеет важное значение, поэтому за показатель эффективности печати 3D-принтера нами принято отношение предела прочности на растяжение к средней плотности ABS-пластика. В результате у принтера Vshaper PRO этот показатель составил 36,1 МПа·см³/г, у принтера Bambu Lab H2D – 42,6 МПа·см³/г, у принтера Raise3D Pro3 – 37,4 МПа·см³/г.

Таким образом, установлено, что наибольшей абсолютной прочностью обладает Vshaper PRO, однако по эффективности использования материала (прочность, приходящаяся на грамм пластика) лидирует Bambu Lab H2D.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протасевич, А. А. Сопоставление результатов испытаний образцов из ABS-пластика, напечатанных на разных 3D-принтерах / А. А. Протасевич, Д. И. Евмененко // Материалы 62 студенч. науч.-техн. конф. Бел.-Рос. ун-та. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2026. – С. 148–150.

УДК 544.723:004.42

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС SORBLAB
ДЛЯ АНАЛИЗА КИНЕТИКИ СОРБЦИИН. С. ПУЗАНОВ¹, К. Б. КИМ¹, М. С. ИГУМНОВ^{1, 2}, Ю. М. НЕЧЕСОВА¹Научный руководитель С. И. НИФТАЛИЕВ¹, д-р хим. наук, проф.¹Воронежский государственный университет инженерных технологий
Воронеж, Россия²Елецкий государственный университет имени И. А. Бунина
Елец, Россия

Обработка кинетических данных включает несколько последовательных этапов: пересчет измеряемого сигнала по градуировочной зависимости, определение сорбционной емкости, подбор параметров кинетических моделей и оценку качества аппроксимации. При выполнении этих операций в электронных таблицах или нескольких программных средствах значительная часть времени затрачивается на перенос данных и повторение однотипных расчетов, что усложняет воспроизводимость результатов. Для объединения этих этапов разработан программный комплекс SorbLab, предназначенный для автоматизации расчета и визуализации кинетики сорбции [1].

Программа реализована на языке C# в виде многооконного настольного приложения. Для численных расчетов используется библиотека MathNet.Numerics, построение графиков выполняется средствами System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting, а сохранение проектов – с применением Newtonsoft.Json. Такое сочетание позволяет объединить в одном программном продукте ввод экспериментальных значений, математическую обработку, визуальное представление и сохранение результатов.

Работа с экспериментом начинается с ввода или импорта исходных данных. В программе формируется и сохраняется градуировочная зависимость, используемая для пересчета измеряемого сигнала, например оптической плотности, в концентрацию сорбата. После задания объема раствора и массы сорбента рассчитывается сорбционная емкость, а полученные значения отображаются на графике. Такое представление позволяет контролировать исходные данные и сразу сопоставлять их с результатами последующей аппроксимации.

В SorbLab реализована аппроксимация кинетических кривых моделями псевдо-первого и псевдо-второго порядков. Для каждой модели автоматически определяются расчетная равновесная сорбционная емкость q_e и соответствующая константа скорости k_1 или k_2 . Параметры подбираются нелинейным методом наименьших квадратов путем минимизации отклонения между экспериментальной и расчетной кривыми. Такой подход позволяет выполнять оценку непосредственно в исходных координатах и избегать части искажений, связанных с линеаризацией кинетических уравнений [2].

Качество аппроксимации оценивается по коэффициенту детерминации R^2 и сумме квадратов отклонений SSE. Численные показатели рассматриваются

совместно с графическим представлением: в одном окне отображаются экспериментальные точки и рассчитанные кривые, что позволяет оценить характер расхождений на различных участках процесса. Программа поддерживает одновременное отображение нескольких серий данных и модельных кривых, что удобно при сравнении сорбентов и выборе модели, наиболее адекватно описывающей конкретную экспериментальную систему.

Исходные значения, сведения о калибровках и результаты моделирования сохраняются в структурированном формате JSON. Благодаря этому проект можно повторно открыть и воспроизвести последовательность расчета без повторного ввода данных. Валидация программного комплекса на экспериментальных данных показала согласованность получаемых параметров с результатами независимых расчетов и литературными данными [1]. Автоматизация уменьшает число ручных операций, снижает риск ошибок при переносе значений и стандартизирует обработку серий кинетических экспериментов.

Комплекс может использоваться в исследовательской и учебной работе. При скрининге сорбционных материалов он ускоряет обработку большого числа кинетических кривых и облегчает сопоставление значений q_e , k_1 и k_2 . В образовательном процессе программа позволяет сосредоточить внимание на физическом смысле моделей и влиянии экспериментальных данных на результат аппроксимации, не сводя работу к повторению однотипных вычислений.

Дальнейшее развитие SorbLab предполагает создание модуля анализа равновесных изотерм с поддержкой моделей Лэнгмюра, Фрейндлиха, Темкина, Дубинина – Радушкевича, BET и других зависимостей [3]. Для каждой модели планируется оценивать параметры и качество описания экспериментальных данных. В качестве перспективных направлений также рассматриваются анализ кинетики десорбции и моделирование динамики сорбции в колонках. Эти функции находятся на этапе разработки и проверки и должны расширить возможности комплекса для анализа сорбционных процессов.

Таким образом, действующая версия SorbLab обеспечивает полный цикл обработки кинетического эксперимента: от ввода и калибровки данных до подбора моделей, визуального сравнения и сохранения результатов. Программа сокращает трудоемкость анализа, повышает его воспроизводимость и позволяет сосредоточить внимание на интерпретации полученных параметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. «SorbLab» – программный модуль для расчета и визуализации математических моделей кинетики и изотерм сорбции / Н. С. Пузанов, К. Б. Ким, М. С. Игумнов, С. И. Нифталиев // Вестник технологического университета. – 2026. – Т. 29, № 3. – С. 146–152.
2. **Wang, J.** Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications, and solving methods / J. Wang, X. Guo // Journal of Hazardous Materials. – 2020. – Vol. 390. – Art. 1221563.
3. **Al-Ghouti, M. A.** Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review / M. A. Al-Ghouti, D. A. Da'ana // Journal of Hazardous Materials. – 2020. – Vol. 393. – Art. 122383.

УДК 666.762.326

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ
ПЕРИКЛАЗОВЫХ ТОРКРЕТ-МАСС
ДЛЯ РЕМОНТА СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

А. О. ПУТРОВ

Научный руководитель К. Г. ЗЕМЛЯНОЙ, канд. техн. наук, доц.
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
Екатеринбург, Россия

Торкретирование является основным методом горячего ремонта футеровки электродуговых печей и печей-ковшей, обеспечивая продление срока службы агрегатов и снижение удельного расхода огнеупоров. В мировой практике доля агрегатов, ремонтируемых этим методом, достигает 100 %. В Российской Федерации ввиду высокой стоимости новых огнеупорных футеровок и необходимости снижения себестоимости производимой стали этот метод является ключевым для поддержания технической готовности оборудования.

Россия обладает крупнейшей сырьевой базой магнезита: Саткинское, Халиловское, Савинское месторождения. Однако до 40 %...50 % рынка высококачественных периклазовых торкрет-масс занимает импорт. Отечественные составы часто не обеспечивают требуемой стойкости в зонах шлакового пояса и откосов. *Цель работы* – разработка состава и ресурсосберегающей технологии производства периклазовых торкрет-масс с использованием рециклинга огнеупоров и сырого магнезита, обеспечивающих снижение себестоимости продукции и уменьшение техногенной нагрузки на окружающую среду.

Использованы методы рентгенофазового анализа, дифференциально-термического анализа, оптической и электронной микроскопии. Физико-механические свойства определяли по стандартным методикам. Разработаны оригинальные методы оценки адгезии и припекания к горячей поверхности.

Исследованы промышленные торкрет-массы ValGun 90 и Dalgun P-906, выявлены их недостатки: водопотребность – 14 %, отскок – 32 %...36 %, пористость – 36 %. Показано, что замена спеченного периклаза на плавленный снижает водопотребность с 14,5 % до 8,5 %. Введение сырого тонкомолотого магнезита (15 мас. %, $S_{уд} = 600 \text{ м}^2/\text{кг}$) совместно с комплексом добавок (триполифосфат натрия – 4 %, тетраборат натрия – 3 %, микрокремнезем – 1 %) позволяет снизить водопотребность до 7,5 %...8,0 %. Установлено, что совместное использование магнезита с борной кислотой недопустимо. Разработанный состав содержит (мас. %): периклаз плавленный рециклинговый 3...1 мм – 30, периклаз плавленный рециклинговый 1...0 мм – 47, магнезит – 15, триполифосфат натрия – 4, тетраборат натрия – 3, HexxPolymer P-100 – 1.

ДТА показал стадийность: дегидратация (381,9 °C) → разложение MgCO_3 (556,3 °C) → плавление фосфатов (666,8 °C) → плавление боратов (777,6 °C) → синтез форстерита (1079,5 °C). Моделирование горячего нанесения (700 °C) подтвердило якорное зацепление и адгезию 0,78 МПа (после 1650 °C).

Разработан технологический регламент, выпущена опытно-промышленная партия 1 т. Свойства: водопотребность – 7,5 %...8,0 %, отскок – 25 %...26 %, прочность после 1200 °С – 32...36 МПа, пористость – 30 %...31 %, плотность – 2,97...3,01 г/см³, адгезия – 1,5 МПа.

Ресурсосбережение и экологическая эффективность. Разработанная технология базируется на использовании вторичного сырья – отработанного периклазоуглеродистого кирпича, проходящего обезуглероживающий обжиг при 1050 °С...1150 °С. Это позволяет вовлечь в производственный оборот отходы огнеупорной промышленности, снижая объём захоронения техногенных отходов и уменьшая потребность в добыче первичного магнезитового сырья. Применение рециклингового периклаза с содержанием MgO до 94,99 % после обжига обеспечивает качество, сопоставимое с первородным плавленным периклазом, при значительном снижении затрат на сырьё.

Использование природного тонкомолотого магнезита вместо энергоемкого плавленного периклаза в тонкомолотой фракции позволяет сократить энергозатраты на стадии подготовки сырья. Дополнительный экологический эффект достигается за счет снижения водопотребности – уменьшение расхода воды на 40 %...45 % по сравнению с аналогами, что сокращает объём сточных вод и снижает энергозатраты на сушку покрытия. Снижение отскока на 15 % (абсолютных) уменьшает потери материала при нанесении, что сокращает общий расход сырья на ремонт агрегатов. Снижение себестоимости продукции достигается за счет: использования рециклингового заполнителя (экономия на сырьё до 30 %...40 %), снижения водопотребности (уменьшение расхода воды и времени сушки), уменьшения отскока (снижение удельного расхода массы на 1 т футеровки). Разработанная технология позволяет снизить удельные затраты на ремонт футеровки на 20 %...25 % по сравнению с импортными аналогами.

Разработанный состав превосходит аналоги по всем ключевым показателям: снижение водопотребности в 1,8 раза, рост прочности вдвое, снижение отскока на 15 %. Технология основана на использовании рециклинга отработанных периклазоуглеродистых изделий и природного сырья, что обеспечивает ресурсосбережение, снижение объёма техногенных отходов и уменьшение себестоимости продукции на 20 %...25 %. Рекомендуются к внедрению на предприятиях огнеупорной и металлургической промышленности, обеспечивая импортозамещение и повышение экологической безопасности производства.

УДК 544.72

СОРБЕНТЫ СО СЛОИСТОЙ И КАРКАСНОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ SR И Y ИЗ КАРБОНАТНОЙ СРЕДЫ

Д. В. ТРУНОВ, А. Ю. ТОМАШПОЛЬСКАЯ

Научный руководитель Г. О. КАЛАШНИКОВА, канд. техн. наук
Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН»
Апатиты, Россия

Эффективность сорбционных процессов существенно зависит как от структурных особенностей сорбента, так и от состава жидкой фазы. В литературе описано применение слоистых минералов (например, каолинита и биотита) в нитратных и хлоридных средах, однако при изменении состава раствора их сорбционные свойства могут кардинально меняться. Интерес представляет изучение сорбции в карбонатных средах, которые используются в радиохимии (в качестве эффективных элюентов и мягких щелочных сред, совместимых с фармпрепаратами), гидрометаллургии (карбонатное выщелачивание) и т. д. При этом данные о поведении различных по структуре минеральных матриц в концентрированных карбонатных растворах в литературе практически отсутствуют.

Для оценки потенциала слоистых материалов в условиях карбонатной среды, в качестве объектов исследования были выбраны следующие объекты исследования: нормандит, куплетскит, квинтинит, лампрофиллит, шунгит и биотит.

Эксперимент с этими образцами заключался в обработке минералов смешанным раствором солей, содержащем Y^{3+} (1 мг/л), Sr^{2+} (1 мг/л), Na_2CO_3 (2 М), в течение 24 ч. Затем образцы обрабатывали раствором кислоты HCl (0,1 М) в течение 2 ч.

Для анализа химического состава образцов и их обработанных форм была проведена подготовка срезов препаратов в виде эпоксидных шайб, залитых в специальные формы. Перед анализом каждый образец подвергался полировке на алмазных пастах. Анализ химического состава полированных срезов слоистых минералов осуществляли при помощи сканирующего электронного микроскопа LEO-1450 (Carl Zeiss Microscopy, ГИ ФИЦ КНЦ РАН), оснащенного рентгеновской энергодисперсионной системой AZtec с детектором ULTIMAX 100 (Oxford Instruments, ГИ ФИЦ КНЦ РАН). Анализ показал, что содержание Sr и Y в них находится ниже предела обнаружения прибора. Это указывает на отсутствие существенной сорбционной активности слоистых минералов по отношению к исследуемым элементам в высококонцентрированных карбонатных средах.

Эксперименты с минералами, обладающими каркасной структурой (зорит (ETS-4), иванюкит (SIV), линтисит (AM-4), натисит (Natisite)), заключались в обработке порошков сорбентов в статических условиях раствором сложного состава YCl_3 (1 мг/л по Y^{3+}), $SrCl_2$ (1 мг/л по Sr^{2+}), Na_2CO_3 (2 М) в течение 24 ч при постоянном перемешивании на магнитной мешалке. После контакта

с данным раствором образцы были дополнительно обработаны раствором HCl (0,1 М) в течение 30 мин. Также была проведена дополнительная серия экспериментов, в которой порошки предварительно обрабатывали раствором NaOH (0,1 М) в течение 10 мин, затем раствором HCl (0,1 М) в течение 10 мин, и только после этого раствором, содержащим Sr и Y.

Для контроля сорбции Sr и Y для выбранных сорбентов был проведен анализ состава растворов после эксперимента при помощи атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) на приборе Perkin Elmer Optima 2100DV (ИППЭС ФИЦ КНЦ РАН).

Для расчета коэффициента распределения использована формула

$$K_d = \left(\frac{C_o - C_e}{C_e} \right) \cdot \frac{V}{m}, \quad (1)$$

где C_o – исходная концентрация элемента в растворе, мг/л; C_e – равновесная концентрация элемента в растворе, мг/л; V – объем раствора, мл; m – масса сорбента, г.

Результаты расчета представлены в табл. 1.

Табл. 1. Значения K_d для сорбентов SIV, AM-4, ETS-4 и Natisite

Схема обработки	K_d , см ³ /г	Сорбент			
		SIV	AM-4	ETS-4	Natisite
YCl ₃ + SrCl ₂ + Na ₂ CO ₃	Sr	9,4·10 ³	1,3·10 ⁴	4,0·10 ³	4,7·10 ²
	Y	5,6·10 ²	7,1·10 ³	3,1·10 ³	2,3·10 ²
NaOH → HCl → (YCl ₃ + SrCl ₂ + Na ₂ CO ₃)	Sr	1,9·10 ⁵	2,2·10 ³	6,0·10 ²	7,4·10 ²
	Y	8,8·10 ²	1,9·10 ²	2,9·10 ²	1,9·10 ²

Минералы с каркасной кристаллической структурой продемонстрировали высокую сорбционную способность; также для некоторых образцов (SIV, Natisite) наблюдается увеличение сродства после предварительной подготовки – дополнительное насыщение кристаллической структуры катионами Na⁺ и последующая декатионизация.

Отсутствие сорбции на слоистых минералах, вероятно, связано с блокировкой межслоевого пространства крупными карбонат-ионами и образованием устойчивых карбонатных комплексов Y в растворе, а также осаждения карбоната Sr, что снижает их способность к ионному обмену. Напротив, микропористая структура каркасных цеолитов (SIV, AM-4, ETS-4, Natisite) обеспечивает молекулярно-ситовой эффект и высокую селективность.

Работа выполнена в рамках Хоз. договора № 1/24 от 24.09.2024 НИР «Поиск и исследование минералов – природных сорбентов редкоземельных элементов и стронция», заключенного между СПбГУ и ФИЦ КНЦ РАН в рамках гранта РНФ № 24-63-00006.

УДК 544.55

ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КАРБИДОВ
ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

В. С. ФЕДОРОВ, А. НАСЫРБАЕВ

Научный руководитель Д. С. НИКИТИН, д-р техн. наук, доц.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Томск, Россия

Развитие науки и техники стимулирует непрерывный рост требований к инструментальным материалам, тугоплавким керамикам и износостойким покрытиям, что обуславливает постепенный переход от традиционных металлов к керамическим материалам на основе *d*-элементов (W, Zr, Ti, Ta, Hf, Nb). Однако этот переход ограничивается сложностью и высокой энергоемкостью классических методов синтеза тугоплавких соединений; проблеме их получения призван решить плазмодинамический синтез (ПДС) [1]. Данный метод, основанный на использовании высокоскоростных плазменных струй, позволяет эффективно преодолевать технологические барьеры традиционной металлургии.

Карбиды переходных металлов востребованы для создания высокотвердой износостойкой керамики. Перспективно использование метастабильных нестехиометрических кубических фаз вместо стабильных. Их синтез требует сверхбыстрого охлаждения при высоких температурах, что реализуется методом плазмодинамического синтеза (ПДС), позволяющим получать такие соединения в нанодисперсном состоянии.

В работе исследована возможность получения нанодисперсного кубического карбида вольфрама WC_{1-x} в высокоскоростной плазменной струе. Содержание кубической фазы составило ~90 %, её стехиометрия соответствует $WC_{0,86}$ (параметр решетки $a = 4,2535 \text{ \AA}$). Метастабильное состояние и нанодисперсность порошка перспективны для создания высокотвердой износостойкой керамики. Дальнейшие исследования направлены на изучение эволюции фазового состава при консолидации порошка и оценку его влияния на эксплуатационные свойства конечного материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FSWW-2026-0084).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Plasmodynamic synthesis of nanocrystalline structures in the C-N system / A. A. Sivkov, A. Y. Pak, D. S. Nikitin [et al.] // Nanotechnologies in Russia. – 2013. – Vol. 8, № 7–8. – P. 489–494.

УДК 621.762

ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР
КАК ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ РЕАКЦИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА

В. С. ФЕДОРОВ, А. НАСЫРБАЕВ

Научный руководитель Д. С. НИКИТИН, д-р техн. наук, доц.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Томск, Россия

Переход к низкоуглеродной энергетике повышает интерес к водороду как к перспективному энергоносителю. Одним из наиболее экологически привлекательных способов его получения является электрохимическое разложение воды, однако эффективность процесса во многом определяется активностью электрокатализатора. Наиболее эффективные катализаторы в реакции выделения водорода (hydrogen evolution reaction – HER) основаны на благородных металлах, прежде всего на платине, что ограничивает их широкое применение из-за высокой стоимости и ограниченности ресурсов. В связи с этим актуальна разработка углеродных и других недорогих материалов с высокой каталитической активностью [1].

Углеродные наноматериалы характеризуются химической стабильностью, высокой удельной поверхностью, электропроводностью и возможностью управления структурой. Особое значение имеет дефектность углеродной матрицы, поскольку вакансии и искажения графеновых слоев могут выступать активными центрами электрохимических реакций. Плазмодинамический синтез позволяет формировать такие структуры в условиях низкотемпературной неравновесной плазмы и сверхбыстрого охлаждения. В [2] показано, что температура плазменной струи превышает 10^4 К, а скорость охлаждения достигает $10^7...10^8$ К/с, что способствует сохранению метастабильных дефектных состояний.

Синтез углеродных наноматериалов осуществляли в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе с графитовыми электродами. В межэлектродное пространство загружали графитовый порошок чистотой 99,9 % и массой 0,350 г. Разряд осуществляли от ёмкостного накопителя при рабочем напряжении около 1350 В; накопленная энергия составляла 20,90 кДж, амплитудный ток – 95,40 кА, максимальная мощность – 128,33 МВт. Возникающая плазма ускорялась под действием электромагнитных сил и истекала в реакционную камеру, заполненную аргоном при давлении 101 кПа. Быстрое расширение и охлаждение плазмы приводило к конденсации углерода и формированию нанодисперсного продукта.

Структуру продуктов исследовали методами рентгеновской дифрактометрии, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. Электрокаталитические свойства определяли в трехэлектродной ячейке в 0,5 М H_2SO_4 . Рабочим электродом служил стеклоуглерод с нанесенным слоем материала;

измерения проводили методами линейной и циклической вольтамперометрии. Активность оценивали по перенапряжению при плотностях тока 1, 10 и 100 мА/см² и по тафелевскому наклону. Для повышения активности часть материала модифицировали платиной методом влажной пропитки с использованием H₂PtCl₆.

Рентгенофазовый анализ показал преимущественное формирование графитоподобной углеродной фазы. Уширение и смещение дифракционных максимумов свидетельствуют о нарушении кристаллической структуры. Средний размер областей когерентного рассеяния составил около 12,6 нм. Исследования микроструктуры выявили развитую и неоднородную поверхность, квазидвумерные и нанокристаллические образования, а также дефектные области; размер частиц находился в диапазоне 10...80 нм.

Формирование такой структуры связано с последовательным испарением и ионизацией углерода, образованием малых кластеров, их коагуляцией и последующей закалкой. При охлаждении система не достигает термодинамического равновесия, вследствие чего сохраняются вакансии, краевые участки, искривления графеновых слоев и другие структурные дефекты. Они изменяют локальное электронное состояние углерода и могут формировать центры адсорбции водородсодержащих частиц.

Синтезированный материал проявил собственную активность в HER. Для него тафелевский наклон составил 252 мВ/дек, что указывает на более медленную кинетику по сравнению с платиной. Модификация углеродной матрицы Pt привела к существенному улучшению характеристик. При содержании 5 % Pt перенапряжение при 10 мА/см² снизилось до 65 мВ, а тафелевский наклон – до 82 мВ/дек. При 10 % Pt достигнуты 19 мВ и 32 мВ/дек соответственно; при 100 мА/см² перенапряжение составило 92 мВ. Таким образом, увеличение содержания Pt обеспечивает наиболее выраженное ускорение кинетики реакции.

Высокая активность композита обусловлена совместным действием высокодефектной углеродной основы и дисперсной Pt. Межфазное взаимодействие Pt–C дополнительно влияет на электронное состояние каталитических центров и энергию связывания водорода.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 26-79-10179, <https://rscf.ru/project/26-79-10179/>.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. A brief review on plasma for synthesis and processing of electrode materials / B. Ouyang, Y. Zhang, X. Xia [et al.] // *Materials Today Nano*. – 2018. – Vol. 3. – P. 28–47.
2. **Boulos, M. I.** Thermal Plasma Processing / M. I. Boulos // *IEEE Transactions on Plasma Science*. – 1991. – Vol. 19, № 6. – P. 1078–1089.

УДК 666.762.3

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ОГНЕУПОРНЫХ ОБРАЗЦОВ ПЕРИКЛАЗОФОРСТЕРИТОВОГО СОСТАВА

С. В. ХАМИДУЛЛИН

Научный руководитель А. Р. ХАФИЗОВА

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Екатеринбург, Россия

Регенератор является одним из важнейших элементов стекловаренной печи: в нем происходит охлаждение отходящих дымовых газов и подогрев подаваемого на горение воздуха, при этом на футеровку воздействуют перепады температуры, химические вещества, находящиеся в дымовых газах, а также абразивные частицы стекольной шихты. В связи с этим для футеровки насадки регенератора используются прочные и термостойкие огнеупоры определенного химического состава. В настоящий момент широко применяются бадделеито-периклазовые, хромокорундовые и циркономуллитовые огнеупоры немецкого производства; они отвечают требованиям, предъявляемым к огнеупорам в данной области применения, однако их существенным недостатком является высокая стоимость.

В связи с этим была поставлена задача по разработке огнеупоров, которые будут удовлетворять поставленным требованиям, при этом имея низкую стоимость по сравнению с вышеупомянутыми огнеупорами. Подходящими под заданные критерии являются периклазофорстеритовые огнеупоры; из практики известно, что они обладают свойствами, удовлетворяющими требованиям, предъявляемым к огнеупорам, применяемым для футеровки насадок регенераторов стекловаренных печей, к тому же сырье, из которого производят периклазофорстеритовые огнеупоры, добывается в России и не является дорогостоящим [1].

В качестве исходного сырья были выбраны плавленный периклаз Саткинского месторождения и оливин Йовского месторождения: при совместном обжиге данных материалов образуется форстеритовая связь, которая позволяет достичь требуемых свойств. Образцы представляют собой цилиндры размерами 36×36 и 50×50 мм, давление прессования достигает 120 МПа. В качестве временного связующего был выбран ЛСТ (лигносульфонат технический), влажность шихты – 5 %. После прессования образцы сушатся, а затем обжигаются в лабораторной муфельной печи при температуре 1650 °С с выдержкой 2 ч.

На первом этапе исследования рассматривалось влияние количества оливина в шихте на итоговые физико-механические показатели образцов. По результатам было установлено, что чем ниже количество оливина, тем прочнее и плотнее получаются образцы (табл. 1), что логично, ведь плотность периклаза выше, чем плотность оливина. Однако уменьшение количества оливина в шихте приводит к уменьшению содержания форстерита в образцах,

поэтому было принято решение направить дальнейшие исследования на поиск спекающей добавки для достижения требуемых параметров.

Табл. 1. Характеристики образцов с последовательным уменьшением количества оливина в шихте

Состав	$P_{откр}$, %	$\rho_{каж}$, кг/м ³	Предел прочности на сжатие, МПа
1 (наибольшее содержание оливина)	20,47	2,77	12,23
2	19,87	2,79	14,31
3	19,50	2,82	18,40
4	19,47	2,82	17,02
5 (наименьшее содержание оливина)	19,17	2,85	19,33

На следующем этапе исследования были составлены шихтовые составы с использованием спекающих добавок для твердофазного спекания. В качестве добавок использовались: огнеупорная глина, триполифосфат натрия, микрокремнезем, Litopix P5, борная кислота. При этом в качестве исходного был выбран состав 3 с повышенным содержанием тонкомола. Состав 6 не содержит добавок, в состав 7 были добавлены огнеупорная глина, триполифосфат натрия, микрокремнезем и борная кислота, состав 8 является аналогичным составу 7, но содержание добавок увеличено в 2 раза, в состав 9 были добавлены огнеупорная глина и Litopix P5 (табл. 2).

Табл. 2. Характеристики образцов с введением спекающих добавок

Состав	$P_{откр}$, %	$\rho_{каж}$, кг/м ³	Предел прочности на сжатие, МПа
6	17,9	2,89	31,52
7	19,7	2,85	35,27
8	19,62	2,86	32,9
9	19,92	2,85	33,6

По результатам исследования были получены два перспективных состава – 6 и 7; дальнейшие исследования будут вестись в том же направлении, однако будут использованы добавки для жидкофазного спекания, также будет рассмотрена возможность увеличения давления прессования в целях достижения большей прочности образцов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хорошавин, Л. Б.** Форстерит $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{Forsterite } 2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ / Л. Б. Хорошавин. – М. : Теплотехник, 2004. – 366 с. : ил.

УДК 621.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ PVD-ПОКРЫТИЙ

М. В. ЧУПРОВ

Научный руководитель Е.С. СОТОВА, канд. техн. наук, доц.
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
Москва, Россия

Введение. Для высокотехнологичных отраслей обработка резанием конструкционных материалов (нержавеющие стали, жаропрочные и титановые сплавы) является важной и технологически сложной задачей. При обработке металлообрабатывающий инструмент подвержен интенсивному износу. В целях повышения долговечности инструмента применяют нанокompозитные износостойкие PVD-покрытия, которые, в свою очередь, способны придать поверхностному слою режущего инструмента, изготовленному из твердого сплава, уникальный комплекс функциональных характеристик: повышенную твердость, устойчивость к окислению, термомеханическую стабильность, более низкий коэффициент трения.

Перспективные нанокompозитные износостойкие PVD-покрытия. Объектом исследования выступали тестовые образцы, представляющие собой диски диаметром 30 мм толщиной 5 мм из твердого сплава марки BK10XOM, с нанесенными экспериментальными нанокompозитными износостойкими PVD-покрытиями (табл. 1), выбранными на основе анализа современных научных публикаций и патентных данных.

Табл. 1

Наименование образца с покрытием	Средняя плотность микрокапельной фазы на поверхности покрытия $\bar{P} \pm 3\sigma$, %	Результат исследования поверхности лунок износа тестовых образцов с покрытиями		
		Толщина покрытия, мкм	Объем изношенного материала, мм ³	Скорость износа, мм ³ /мин
AlTiN-G	$4,70 \pm 1,57$	1,487	$0,144 \cdot 10^{-3}$	$4,81 \cdot 10^{-6}$
TiAlN-ML	$0,48 \pm 0,21$	1,383	$0,100 \cdot 10^{-3}$	$5,02 \cdot 10^{-6}$
TiAlCrSiN	$1,33 \pm 0,20$	0,307	$0,306 \cdot 10^{-3}$	$15,29 \cdot 10^{-6}$
TiN	$1,36 \pm 0,54$	1,681	$0,208 \cdot 10^{-3}$	$10,38 \cdot 10^{-6}$

Продолжение табл. 1

Наименование образца с покрытием	Микротвердость покрытия $H_{\mu 50}$, ГПа	Класс адгезионной прочности по стандарту ISO 26443	Трещиностойкость и адгезионная прочность покрытия, Н
AlTiN-G	$48,0 \pm 7,6$	HF3	~16
TiAlN-ML	$38,5 \pm 1,6$	HF2	~18
TiAlCrSiN	$22,2 \pm 0,7$	HF1	~20
TiN	$33,1 \pm 1,3$	HF1	~24

Твердосплавные образцы: AlTiN-G (с градиентным покрытием AlTiN), TiAlN-ML (с многослойным покрытием TiAlN), TiAlCrSiN (с монослойным

покрытием TiAlCrSiN), TiN (с монослойным покрытием TiN). Износостойкие нитридные покрытия были нанесены методом физического осаждения из паровой фазы (PVD) на установке $\pi 311$, Platin AG (Швейцария).

Также для образцов проводился анализ химического состава покрытий и определение коэффициента трения.

Плотность микрокапельной фазы на поверхности нанесенного покрытия оценивали по отражающей способности поверхности образцов. В результате анализа выявлено, что на величину плотности существенное влияние оказывает количественное соотношение тугоплавких и легкоплавких компонентов в покрытии. При этом многослойная архитектура покрытия (TiAlN-ML) способствует снижению образования микрокапель.

Оценка износостойкости в условиях абразивного износа. Оборудование Calowear (CSM Instruments SA, Peseux, Швейцария). Исследованные покрытия демонстрируют, что увеличение толщины покрытия не гарантирует снижение скорости износа и указывает на доминирующую роль физико-механических свойств и фазового состава покрытия по сравнению с его геометрической толщиной.

Адгезионная прочность покрытий к твердосплавной подложке. Метод Роквелла, стандарт ISO 26443. Выявлено, что для применений, требующих высокой адгезионной прочности, предпочтительны покрытия TiAlCrSiN или TiN, а покрытие AlTiN-G рекомендовано для условий с умеренными нагрузками.

Трещиностойкость и адгезионная прочность покрытия по оценке критической нагрузки. Оборудование Nanovea M1 (Ирвин, Южная Калифорния, США), стандарт ASTM C1624. Для исследуемых покрытий не зафиксировано критического отслаивания от подложки, разрушение носило характер повреждения самого покрытия. Тонкие покрытия (TiAlCrSiN) демонстрируют ранний контакт индентора с подложкой, что маскирует истинную прочность покрытия. Относительно низкие значения по сравнению с литературными данными могут быть объяснены отсутствием предварительной полировки образцов, что увеличивает шероховатость и создает концентраторы напряжений.

Микротвердость износостойких покрытий. Метод Виккерса. Малое значение твердости покрытия (TiAlCrSiN) можно объяснить его малой толщиной: под действием нагрузки на индентор происходит влияние материала основания на деформацию покрытия, хотя визуально «прорыва» индентором покрытия не наблюдалось.

Коэффициент трения. Оборудование Ducom POD 4.0 (Ducom Instruments, Индия), стандарт ASTM G99. Коэффициент трения образцов в условиях сухого трения скольжения в первую очередь определяется химическим составом покрытия, при этом толщина покрытия оказывает влияние на его износостойкость. Так, наименьший коэффициент трения (около 0,15) как при нагрузке 5 Н, так и при 10 Н продемонстрировали покрытия TiN и TiAlCrSiN. Однако меньшее время до истирания у многокомпонентного покрытия TiAlCrSiN (80 с против 460 с у TiN) указывает на то, что уменьшение толщины покрытия снижает его долговечность, несмотря на низкий коэффициент трения.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 075-03-2025-702/5 от 11.11.2025, шифр проекта FSFS-2025-0010.

УДК 621.83

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ПРИВОДА ПОДАЧИ ТОНЕРА МФУ

В. В. ШЕВЦОВ

Научный руководитель Е. Г. КРИВОНОГОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Зубчатые колеса большинства узлов многофункциональных устройств изготавливают из различных пластиков, чтобы снизить их массогабаритные показатели и уменьшить себестоимость производства. Для получения таких изделий используют методы литьевого (литье под давлением) и аддитивного производства, которые принципиально отличаются подходом к изготовлению деталей и организацией производственного процесса.

Главное отличие между этими методами заключается в необходимости предварительного изготовления технологической оснастки для литейного производства. Классическое литье невозможно запустить без предварительного создания форм, стержней и моделей, тогда как аддитивные технологии позволяют формировать деталь слой за слоем напрямую по цифровой модели. С точки зрения организации процессов литейное производство представляет собой сложный многоэтапный цикл. Чтобы получить финальную отливку, требуется подготовить формовочные материалы, изготовить саму форму, выплавить или выжечь модель, залить жидкий металл, дождаться его остывания, извлечь готовую деталь и провести её последующую обработку. Каждый из этих шагов жестко привязан к специализированному оборудованию и труду квалифицированных рабочих разных направлений. Следовательно, литейное производство требует больших производственных площадей, а также значительных капитальных затрат на техническое оснащение и содержание многочисленного персонала, что может быть целесообразно в массовом и крупносерийном производстве.

Аддитивное производство отличается значительно более простой структурой организации технологического процесса, который полностью сосредоточен на одном или нескольких 3D-принтерах, работающих под управлением инженера по аддитивным технологиям. Для запуска цикла достаточно иметь цифровую модель изделия, на основе которой оборудование самостоятельно формирует деталь послойно. Такой подход позволяет существенно сократить парк оборудования и численность производственного персонала по сравнению с традиционным литьем. Преимущества аддитивных технологий особенно очевидны в сегменте мелкосерийного и ремонтного производства, поскольку они полностью исключают необходимость проектирования, изготовления и хранения дорогостоящей технологической оснастки, а также позволяют оперативно и без лишних затрат вносить изменения в конструкцию изделия.

Зубчатые колеса рассматриваемого устройства в заводском варианте изготавливаются литьем под давлением из материала полиацеталь (полиоксиметилен, POM или полиформальдегид). Данный материал представляет собой прочный инженерный термопластичный материал с высокой жесткостью, низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью. Он способен выдерживать высокие статические нагрузки без деформации.

Основными материалами, которые могут использоваться при 3D-печати, на основании анализа, изложенного в [1], являются фотополимерные смолы от Formlabs Grey Resin V4, Rigid Resin, Tough 2000 Resin. Основные механические свойства и характеристики этих материалов представлены в табл. 1.

Табл.1. Механические характеристики прочности и пластичности

Показатель	Полиацеталь (POM)	Rigid Resin	Tough 2000 Resin	Grey Resin V4
Предел прочности при растяжении	60...75 МПа	88 МПа	46 МПа	65 МПа
Модуль упругости при растяжении	$2,6...3,2 \cdot 10^4$ МПа	$4,1 \cdot 10^4$ МПа	$2,2 \cdot 10^4$ МПа	$2,8 \cdot 10^4$ МПа
Относительное удлинение	30 %...50 %	1,7 %	48 %	8 %...12 % после постотверждения
Модуль упругости при изгибе	$2,5...3,2 \cdot 10^4$ МПа	$9,9 \cdot 10^4$ МПа	$1,9 \cdot 10^4$ МПа	$2,2 \cdot 10^4$ МПа
Прочность при изгибе	80...115 МПа	121 МПа	67 МПа	85...90 МПа
Ударная вязкость	50...80 Дж/м	21 Дж/м	46 Дж/м	25...27 Дж/м
Термостойкость при 0,45 МПа	100 °C ...136 °C	88 °C	70 °C	61 °C...73 °C

Материал POM является лучшим выбором при литье под давлением для серийных или тяжелонагруженных узлов скольжения, шестерен, втулок. Он прочный и износостойкий.

При 3D-печати следует выбрать Tough 2000, если деталь будет работать на изгиб, переносить падения, удары и работать как ABS-пластик.

При необходимости обеспечения максимальной статической жесткости в 3D-печати следует выбрать Rigid Resin. Он идеален для аэродинамических моделей, тонкостенных неподвижных конструкций, фиксаторов и шаблонов, которые не должны деформироваться.

Материал Grey Resin V4 применим исключительно для макетирования, примерки формы, визуальных прототипов и демонстрационных моделей без реальной механической нагрузки.

Следовательно, для изготовления зубчатых колес привода подачи тонера МФУ методом аддитивных технологий необходимо выбирать Tough 2000, а в литьевом производстве лучшим выбором является POM в различных модификациях.

УДК 666.762.11

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУСУХИМ СПОСОБОМ КОРУНДОВЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

М. В. ЩЕПЕТКИН

Научный руководитель А. Р. ХАФИЗОВА

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Екатеринбург, Россия

Актуальность создания теплоизоляционных изделий на основе сфериокорунда определяется необходимостью снижения тепловых потерь в высокотемпературных агрегатах с водородсодержащей и восстановительной средой. Традиционные алюмосиликатные материалы в таких условиях быстро разрушаются, тогда как сфериокорунд сочетает химическую инертность, термостойкость и стабильность объема [1].

Целью работы является получение теплоизоляционного материала на основе сфериокорунда методом полусухого прессования с кажущейся плотностью менее $1,4 \text{ г/см}^3$, а также соответствующего свойствам, представленным в ГОСТ 5040–2015 для изделий КТ-1,3.

Исследуемые изделия предназначены для службы, в основном, в сажевом реакторе. К теплоизоляционному слою данного агрегата предъявляется комплекс жестких требований (а именно: химическая стойкость к сильной восстановительной среде, термостойкость, низкая теплопроводность, минимальная усадка), которым в полной мере удовлетворяют изделия на основе сфериокорунда.

В качестве исходных сырьевых материалов в работе использовались: сфериокорунд в качестве заполнителя фракции 3...1 мм и кальцинированный глинозем как тонкомолотая составляющая, а также АХФС, добавляемый сверх 100 % в качестве связующего. Состав сырьевой смеси представлен в табл. 1.

Табл. 1. Состав сырьевой смеси

Сфериокорунд фракции 3...1 мм	Кальцинированный глинозем	АХФС
70	30	Сверх 100 %

Для получения изделий была использована следующая технология. Производилось смешение исходных сырьевых материалов. Затем образцы прессовались на гидравлическом прессе при давлениях от 0,5 до 1 МПа; производилась термообработка при конечной температуре $1400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ при скорости $200 \text{ }^{\circ}\text{C/ч}$ с выдержкой 1 ч.

Физико-механические свойства получившихся образцов при различных условиях подготовки (табл. 2) представлены в табл. 3.

Табл. 2. Условия подготовки образцов

Номер состава	Давление прессования, МПа	Количество АХФС в массе, %
1	1	9
2	1	10
3	0,5	10

Табл. 3. Физико-механические свойства исследуемых образцов

Свойство	Значение для состава		
	1	2	3
После 110 °С			
$\rho_{\text{каж}}, \text{г/см}^3$	1,36	1,44	1,42
$\sigma_{\text{сж}}, \text{МПа}$	2,2	3,1	2,7
После 1400 °С			
$\rho_{\text{каж}}, \text{г/см}^3$	1,35	1,45	1,41
$\sigma_{\text{сж}}, \text{МПа}$	5,9	15,4	7,7
$\Delta l, \%$	0,57	0,41	0,30

Состав 3 продемонстрировал наилучшие физико-механические показатели и был выбран в качестве эталонного.

В рамках апробации исследуемого состава был изготовлен опытный образец. В дальнейшем на изделии было определено значение теплопроводности, которое при 350 °С составило 0,3 Вт/(м·К), а при 650 °С – 0,7 Вт/(м·К), что также находится в пределах ГОСТ 5040–2015.

По результатам исследования был подобран и испытан подходящий гранулометрический состав, включающий: 70 мас. % сферокорунда фракции 3...1 мм и 30 мас. % кальцинированного глинозема. Были подобраны необходимые технологические параметры для производства изделий: давление прессования – 0,5 МПа, количество АХФС в массе – 10 мас. %.

Разработано теплоизоляционное изделие на основе сферокорунда, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 5040–2015.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплоизоляционные материалы на основе сферокорунда / Н. М. Пермикина, З. Ю. Евдокимова, А. П. Кукурузов, Г. А. Панов // Огнеупоры. – 1987. – № 8. – С. 3–6.

УДК 666.321

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА КАОЛИНА ПРОСЯНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШЛИКЕРА

С. В. ЮДАХИНА

Научный руководитель И. А. ПАВЛОВА, канд. техн. наук, доц.

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
Екатеринбург, Россия

Каолины служат основой для производства широкого спектра керамических и огнеупорных изделий. Для получения качественной продукции каолин должен обладать стабильными реологическими свойствами, определяющими поведение шликерных масс. Работа посвящена выявлению связи между минеральным составом каолина и поведением сырья в технологических процессах, что позволит уточнить применение его в шликерных или пластичных керамических массах. Считается, что наличие в каолинах смектита является причиной получения керамических шликеров с нестабильной текучестью, способных к неконтролируемому загустеванию. В связи с этим смектитсодержащие каолины не применяют в шликерном литье.

Для проведения исследований использовали каолин Просяновского месторождения, обогащенный мокрым способом. Исследуемый каолин является качественным сырьем в керамической промышленности. Шликеры на его основе отличаются стабильной вязкостью и минимальной тиксотропией, что, наряду с высокой кристалличностью каолинита, может быть обусловлено также минеральным составом каолина, влияющим на реологические свойства.

Методом рентгенофазового анализа исследован минеральный состав каолина-сырца и образца, насыщенного этиленгликолем (рис. 1), который, внедряясь в межслоевое пространство смектитов, вызывает их набухание и смещение дифракционного максимума в область малых углов, что позволяет идентифицировать смектитовую фазу. На дифрактограмме насыщенного образца зафиксирован рефлекс с межплоскостным расстоянием 16,779 Å, подтверждающий присутствие смектита. Расчет фазового состава каолина (табл. 1) показывает наличие смектита в количестве до 5 %.

Зависимость текучести каолинового шликера от концентрации электролита (в качестве электролита использован раствор силиката натрия) представлена на рис. 2. Время истечения шликера определяли с помощью вискозиметра Коля с диаметром выходного отверстия 6 мм с замерами через 30 с, 30 мин и 3 ч после приготовления шликера.

По гистограмме четко видно, что по времени истечения, зафиксированному через 30 с и 30 мин после приготовления, шликер сохраняет высокую текучесть в интервале концентраций электролита от 0,25 % до 2,0 %.

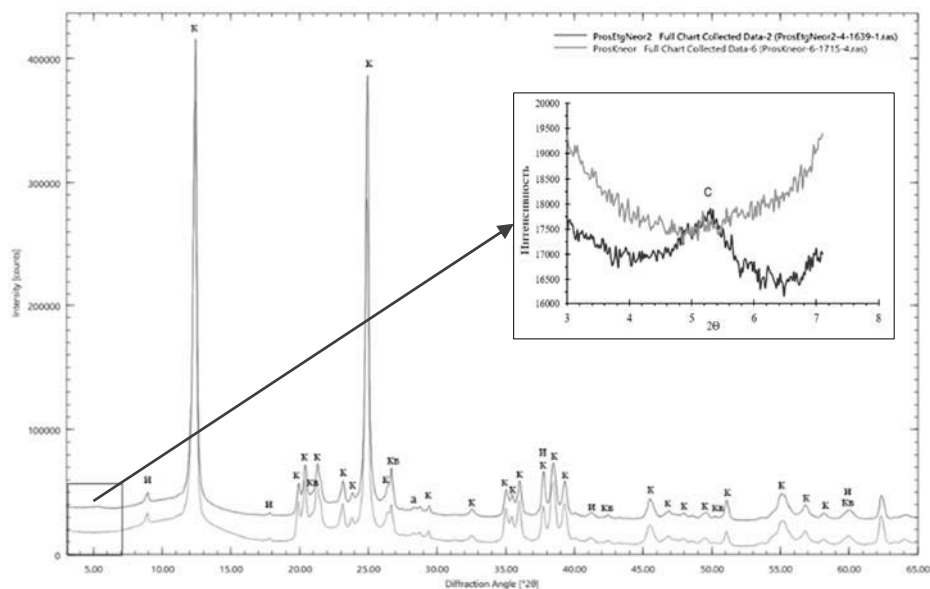


Рис. 1. Дифрактограммы сырого каолина Просяновского месторождения (оранжевый график) и каолина, насыщенного этиленгликолем (синий график): К – каолинит; И – иллит; Кв – кварц; С – смектит

Табл. 1. Минеральный состав каолина Просяновского месторождения

Минерал	Каолинит	Смектит	Иллит	Кварц	Анортит
Содержание, мас. %	90	До 5	До 3	До 1	До 2

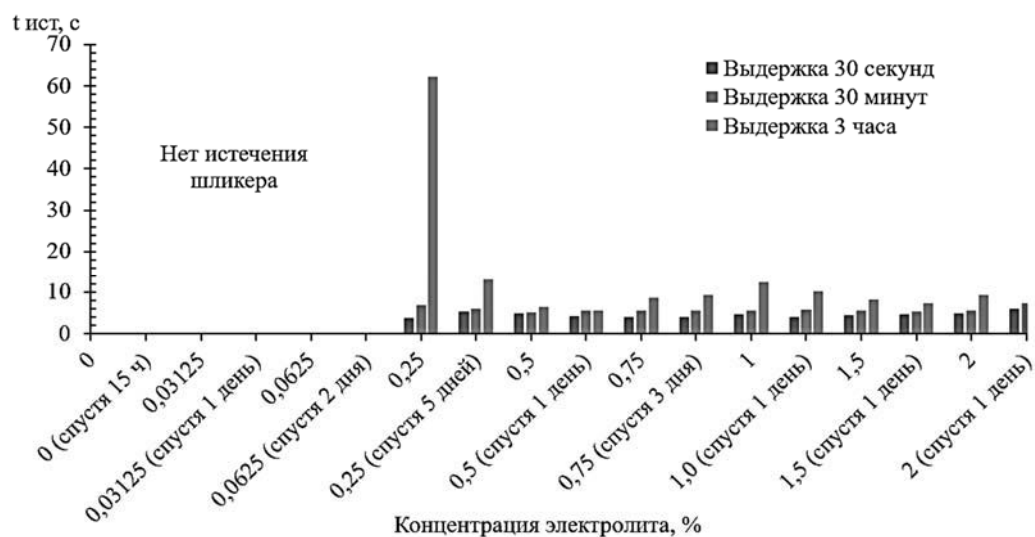


Рис. 2. Гистограмма времени истечения от концентрации электролита

Таким образом, установлено, что наличие смектита до 5 % в составе просяновского каолина не оказывает значимого влияния на реологию шликерных масс, тогда как при использовании некоторых других каолинов, например, кыштымского или журавлиноложского, часто происходит загустевание шликера даже при отсутствии смектита в некоторых сортах этих каолинов. Можно сделать вывод, что не только наличие смектита влияет на реологические свойства каолиновых шликеров.

УДК 666.1.039.2

ИОНООБМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА,
ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ

М. В. ЯКОВЛЕВА, М. З. ЗИЯТДИНОВА

Научный руководитель В. Н. СИГАЕВ, д-р хим. наук, проф.

Российский химико-технологический университет

имени Д. И. Менделеева

Москва, Россия

Листовое натрий-кальций-силикатное стекло широко используется в быту благодаря прозрачности и низкой стоимости, однако его применение в различных изделиях ограничено в том числе низкой технической прочностью. Основная причина – наличие возникающих при резке и обработке поверхностных микротрещин и царапин, которые служат концентраторами напряжений. Ионнообменное упрочнение, основанное на замещении поверхностных ионов Na^+ на более крупные ионы K^+ в расплаве KNO_3 , позволяет создавать в поверхностном слое сжимающие напряжения, компенсирующие растягивающие напряжения от внешних воздействий. Эффективность упрочнения зависит от температурно-временных режимов и качества подготовки поверхности. Известны режимы и методы упрочнения листового стекла, применяемого в быту. Однако развитие техники позволяет расширить традиционное применение натрий-кальций-силикатного стекла в том числе на область фотоники. При этом точное влияние ионнообменного упрочнения на возможность и эффективность локального изменения структуры исследовано недостаточно широко, с учетом некоторого отличия в составе листовых стекол с разных производств [1]. В связи с этим представляет интерес разработка режимов ионного обмена, обеспечивающих значительное увеличение прочностных характеристик листовых стекол при сохранении прозрачности. В настоящем исследовании проведена оценка возможности упрочнения листового стекла ионнообменным методом без существенного ухудшения характеристик, влияющих на возможность локального изменения объема стекла.

В данной работе использовали промышленное флоат-стекло толщиной 2,8 мм, нарезанное на образцы $\sim 60 \times 10 \times 2,8$ мм. Для выбора оптимальной подготовки сформировали три серии: без обработки торцов, с искусственными царапинами и с двусторонней шлифовкой на станках (грубая обработка, затем на Hitech AP для формирования фасок). Ионный обмен проводили в расплаве KNO_3 при 400 °C и 450 °C с выдержкой 1, 2, 4, 8, 16 и 24 ч (для 400 °C – без 8 ч). Предел прочности при трёхточечном изгибе измеряли на машине Shimadzu AGS-X (расстояние между опорами 40 мм, скорость 1 мм/мин). Микротвердость оценивали на приборе ПМТ-3 при нагрузках 15 г (исходное стекло) и 150 г (после упрочнения). Оптическое пропускание регистрировали на спектрофотометре СФ-56 в диапазоне 200...1100 нм. Статистическую обработку проводили с расчетом доверительных интервалов для серий из 10 образцов.

Полученные данные (рис. 1) демонстрируют, что ионный обмен при 400 °С приводит к монотонному росту предела прочности при изгибе с увеличением времени: от $0,1125 \pm 0,0118$ ГПа (1 ч) до $0,2174 \pm 0,0192$ ГПа (24 ч).

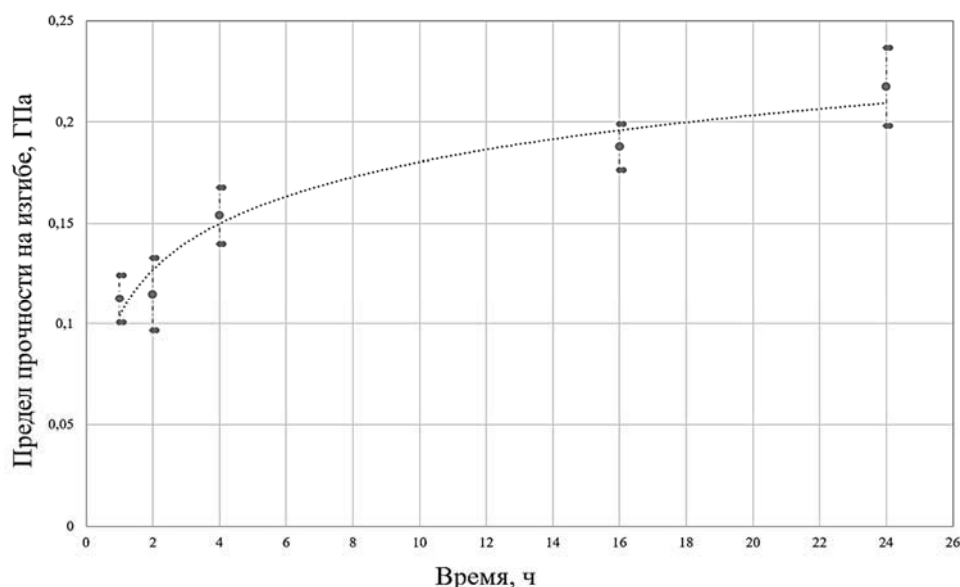


Рис. 1. Зависимость предела прочности при изгибе от времени ионного обмена при 400 °С

При 450 °С максимум достигается при 16 ч ($0,2379 \pm 0,0273$ ГПа), а при 24 ч наблюдается снижение до $0,2307 \pm 0,0405$ ГПа, что объясняется конкуренцией ускоренной диффузии и структурной релаксации, частично снимающей сжимающие напряжения. Микротвердость после упрочнения возрастает, качественно коррелируя с ростом предела прочности, что подтверждает уплотнение поверхностного слоя за счет внедрения ионов калия.

Спектрофотометрический анализ показал, что ионный обмен практически не изменяет оптическое пропускание при длине волны 515 нм: для исходного стекла светопропускание равно $90,60 \pm 0,15$ %; после обработки при 450 °С значения лежат в интервале 90,10 %...90,47 %, причем изменения находятся в пределах погрешности измерений ($\leq 0,3$ %).

Таким образом, ионообменное упрочнение позволяет существенно повысить прочность без ухудшения оптических характеристик. Это позволяет продолжить исследование возможности локального модифицирования листовых стекол для получения дешевых и функциональных изделий для фотоники. В качестве оптимального режима ионного обмена принят режим при 450 °С в течение 8 ч.

Работа выполняется в рамках ГЗ 2026–2028 по теме «Микро- и наномодифицирование структуры оксидных стекол для новых приложений в информационных технологиях, фотонике, микроэлектронике».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Yamane, M.** Glasses for photonics / M. Yamane, Y. Asahara // Cambridge University Press. – 2000.

УДК 621.791

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО КПД СВАРОЧНОЙ ДУГИ НА ПОСТОЯННОМ И ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Б. А. БЕЛОВ

Научный руководитель И. В. ИВАНОВА, канд. техн. наук, доц.
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия

При создании цифровых двойников сварочных процессов в САЕ-системах (Simufact Welding, SYSWELD) критически важным параметром является эффективная тепловая мощность дуги, определяемая через коэффициент полезного действия η . В справочной литературе значения η для аргонодуговой сварки (TIG) варьируются в широком диапазоне, при этом большинство данных получено методами калориметрии с проплавлением, что приводит к двойному учёту потерь на фазовые переходы при последующем численном моделировании.

Целью работы являлось экспериментальное определение эффективного КПД дуги TIG в режимах постоянного (DCEN) и переменного (AC) тока методом стационарной проточной калориметрии на водоохлаждаемом медном аноде, исключаяющим влияние фазовых переходов.

Эксперименты проводились на автоматизированной установке, включающей инверторный источник Start 200 AC/DC TIG, портальную ЧПУ-систему контроля длины дуги и аппаратно-программный комплекс сбора данных.

В режиме DCEN установлено, что КПД дуги монотонно снижается с 82 % до 67 % при увеличении длины дуги l_d с 1 до 13 мм ($I = 50$ А), что обусловлено ростом конвективно-радиационных потерь с боковой поверхности плазменного столба. При варьировании тока (25...100 А, $l_d = 3$ мм) КПД возрастает с 72,5 % до 79,4 %.

В режиме AC (меандр, 68 Гц, электрод WP Ø1,6 мм, $l_d = 1,6$ мм) проведены измерения при трёх значениях баланса полярности. Установлена практически линейная зависимость: при 44 % EN $\eta = 54$ %, при 61 % EN $\eta = 59$ %, при 81 % EN $\eta = 78$ %. Режим AC с балансом более 80 % по энергетической эффективности эквивалентен DCEN. Измерения выполнялись приборами True RMS для корректного учёта несинусоидальной формы сигнала.

Полученные данные верифицированы в Simufact Welding (расхождение теплового баланса составляет менее 1 %), что доказывает возможность их прямой трансляции в САЕ-системы без эмпирических поправочных коэффициентов. Результаты формируют верифицированную библиотеку параметров тепловых источников для цифровых двойников TIG-сварки в режимах DC и AC.

УДК 621.791.763

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА ЧУГУНА В СРЕДЕ КИСЛОРОДА

Л. А. ДВОРЕЦКИЙ

Научный руководитель Н. М. ШУКАН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Чугуны являются распространенным материалом, применяемым в машиностроении и станкостроении. Они обладают хорошей обрабатываемостью и широко применяются в массовом и серийном производстве деталей литьём благодаря высокой текучести в расплавленном состоянии. Однако низкая пластичность существенно затрудняет их сварку и требует дорогостоящих материалов на основе никеля для получения качественного соединения и строгого соблюдения температурного режима для предотвращения сварочных напряжений и появления трещин.

При нагреве происходит выгорание углерода в виде графита, вспенивание кромок основного материала и получение пор в шве и околошовной зоне, что снижает механические свойства шва. Соответственно, для повышения пластичных свойств необходимо уменьшить количество углерода в чугуне до значений в сталях. Это осуществляется с помощью окисления расплавленного чугуна кислородом, как это происходит при переделке чугуна в сталь кислородно-конверторным способом.

Таким образом, нагрев и расплавление лазерным лучом чугуна в среде кислорода позволяет снизить количество углерода в несколько раз. Размер нагреваемой зоны существенно меньше, по сравнению с дуговыми методами, и лучше контролируется, что дает возможность его применять при небольших толщинах. Производится предварительная обработка кромок соединения для получения поверхности с высокими, по отношению к чугуну, пластическими свойствами, затем сборка соединения и сварка. В качестве присадочного материала применяется сварочная проволока марки 08Г2С. Процесс обезуглероживания происходит в течение нескольких минут. При этом на поверхности кромок прекращается процесс порообразования и образуется гладкая поверхность.

Это позволило уменьшить геометрические размеры подготавливаемого соединения, упростить доступ к труднодоступным местам, снизить затраты на присадочные материалы и сократить общее время сварки. При толщине до 3 мм возможно получение участка с низким содержанием углерода без предварительной разделки, обеспечивая при этом проплавление по всей толщине с применением никельсодержащих присадочных материалов.

УДК 621.791.762

ВЛИЯНИЕ ПОДОГРЕВА ОБЛАСТИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКЕ

А. Р. ЗЕЛИНСКИЙ, А. А. ЛОПАТИНА, Д. Н. ЮМАНОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Контактная стыковая сварка находит широкое применение в сварных соединениях труб, арматурных прутков, рельсов и других профильных заготовок. Для получения сварных соединений стыковой сваркой используют два основных, но принципиально разных метода: стыковая сварка сопротивлением и оплавлением.

В последнее время особое внимание уделяется использованию индукционного прогрева области сварки, основной задачей которого является выравнивание градиента температур в стыке и обеспечение более равномерных условий разогрева. Подогрев области сварного соединения дает возможность избежать появления дефектов, облегчает осадку, а также положительно влияет на использование ресурсов сварочного трансформатора, позволяя проводить процесс на более мягких режимах. В то же время применение данной технологии влечет за собой использование вспомогательного оборудования, что нередко связано с трудностями размещения индуктора в области стыка.

Перспективу представляет процесс стыковой сварки с комбинированием токов высокой частоты (ТВЧ), что позволяет более точно управлять нагревом области сварного соединения по всему контакту, расширяя при этом возможности сварки трудносвариваемых материалов и изделий с большой площадью сечения заготовок.

Для снижения дефектности сварных соединений, которая связана с наличием окислов и загрязнений в стыке, предлагается подавать кратковременные импульсы ТВЧ в момент окончания действия основного тока оплавлением перед осадкой. В этот короткий промежуток времени возможно поддерживать температуру расплавленного металла в стыке для лучшего вывода окислов на поверхность. Для крупногабаритных изделий с целью выравнивания градиента температур по стыку предлагается использовать импульс ТВЧ с изменением частоты в процессе его действия от низкой до высокой, что позволит сформировать равномерный прогрев стыка по сечению и на поверхности, в отличие от обычного подогрева, который может привести к перегреву. При технологии стыковой сварки по методу сопротивлением с целью снижения усилия осадки и создания более лучших условий формирования грата на поверхности свариваемых изделий предлагается использование короткого импульса подогрева до небольших температур после отключения основного импульса тока.

Реализация данных способов подогрева ТВЧ позволит повысить качество получаемых сварных соединений при стыковой сварке.

УДК 621.791

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА-ПАЙКА МЕДИ

В. В. КАПЫШЕВ

Научный руководитель А. Г. ЛУПАЧЁВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Высокая тепло- и электропроводность меди является причиной ее широкого применения в разных отраслях промышленности, в электротехнике, энергетике и машиностроении. Главная проблема меди заключается в ее высокой отражающей способности и теплопроводности в сравнении с другими металлами. Это приводит к дефектам шва.

Лазерная сварка предлагает иной подход. Благодаря высокой мощности лазер позволяет преодолеть теплофизические свойства меди. Высокая скорость нагрева создает условия для быстрого формирования проплавления. При этом превышение порога скорости при сварке ведет к снижению общего КПД из-за резкого падения поглощающей способности. Следовательно, присутствует оптимальный режим скорости сварки, при котором эффективность процесса будет максимальной.

Для лазерной сварки характерна именно высокая скорость сварки, что дает преимущество перед дуговыми методами (малая зона термического влияния). Кратковременное тепловое воздействие сосредотачивает нагрев в зоне шва. Это позволяет избежать перегрева, дефекта самого материала и изменения его микроструктуры на более грубую, что сохраняет механические свойства.

Применяя лазерную сварку без присадочного материала, можно сваривать медные выводы с площадью электрического контакта до 30 мм². При большой площади требуется использование лазерной сварки-пайки.

Использование азота (N₂) позволяет благодаря своему потенциалу ионизации эффективно подавлять образование плазмы, тем самым улучшая качество поверхности шва. В зоне высокого воздействия температуры молекула N₂ диссоциирует на атомарные частицы, которые, не растворяясь в металле шва и не образуя дефекты, участвуя в поверхностных процессах, стабилизируют сварочную ванну. Высокая скорость процесса ограничивает время взаимодействия активных частиц с расплавом, что позволяет уйти от ограничений, характерных для дуговой сварки.

В результате моделирования практических, теоретических и полученных результатов было установлено, что лазерная сварка является наиболее эффективным методом соединения меди. При ней мы достигаем высокой производительности при минимальных дефектах, отсутствия деформаций и хорошего качества шва.

УДК 621.791.763

ОСОБЕННОСТИ МОДИФИКАЦИИ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ
ФТОРСОДЕРЖАЩИМИ КОМПОНЕНТАМИ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

А. А. КОРОТЕЕВА

Научный руководитель А. О. КОРОТЕЕВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При сварке высокопрочных низколегированных сталей одной из наиболее серьезных проблем является высокая склонность к образованию трещин в сварных соединениях по замедленному механизму разрушения, индуцированных повышенным содержанием диффузионного водорода. Наличие высокого уровня внутренних напряжений и закалочных структур в околошовной зоне приводит к созданию неблагоприятных условий для фиксации водорода с дальнейшим развитием в виде локального разрушения конструкции.

В сварочной практике наиболее эффективным методом предупреждения этих процессов является связывание водорода в нерастворимые в жидком металле сварочной ванны соединения, преимущественно на основе фтора. Ранее нами исследовалась технология, основанная на введении в струю защитной газовой смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$ газообразного SF_6 . Это позволило не только существенно снизить количество водорода в наплавленном металле, но и изменить кинетику плавления присадочной проволоки и технологические характеристики процесса в целом. Вместе с тем остался ряд открытых вопросов.

На основании анализа происходящих в высокотемпературной области дугового промежутка процессов установлено, что эффективным, с точки зрения связывания водорода в атмосфере дуги в нерастворимые в жидком металле соединения, является использование соединений SiF_4 . По сравнению с предлагаемым ранее для этих целей гексафторидом серы SF_6 , такой подход лишен недостатка, связанного со сложностями предотвращения повышения массовой доли серы в наплавленном металле сверх допустимых значений.

Для повышения эффективности применения такой технологии предлагается реализовать подачу активных компонентов (SiF_4) коаксиально основному потоку защитной газовой смеси. Это позволит физически разделить компоненты и обеспечить оптимальные условия для протекания физикометаллургических процессов плавления присадочной проволоки и переноса электродного металла. В случае же применения SF_6 такой подход позволит снизить нежелательное взаимодействие продуктов диссоциации непосредственно с каплей расплавленного присадочного металла, что снизит темп роста массовой доли серы и обеспечит ее содержание в допустимом диапазоне концентраций.

УДК 621.9.048.4

ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ЭЛЕКТРОДА ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Е. А. КУДИНОВ, А. И. ШАПОВАЛОВ

Научный руководитель А. А. ВЛАДИМИРОВ, канд. техн. наук, доц.

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

Электроискровое легирование является одним из распространенных методов ремонта и восстановления рабочих поверхностей деталей машин и механизмов, направленным на улучшение эксплуатационных характеристик рабочих поверхностей.

Процесс электроискрового легирования в ручном режиме обладает низкой производительностью. Для повышения производительности электроискрового легирования применяют механизацию процесса. При длительной обработке в механизированном режиме происходит перегрев электрода, что негативно сказывается на формируемом покрытии. Таким образом, обосновывается целесообразность применения охлаждения электрода потоком воздуха.

В качестве электродного материала широкое применение нашел твердый сплав на основе карбида вольфрама, например, марки ВК8, который позволяет обеспечить увеличение коррозионной стойкости и износостойкости до двух раз и жаростойкости в 1,2–1,5 раза.

В процессе формирования электроискровых покрытий электрод нагревается до температуры около 800 °С, что способствует интенсификации процессов окисления поверхности электрода с последующим разрушением, увеличению шероховатости покрытия из-за нестабильного массопереноса.

Для исследования влияния охлаждения электрода при механизированной электроискровой обработке был проведен эксперимент с применением межэлектродной среды в качестве охлаждения, сформированного потоком воздуха давлением от 0,1 до 0,6 МПа с шагом регулирования 0,1 МПа (табл. 1).

Табл. 1. Температура электрода

Номер пов.	Давление потока, МПа	Суммарная энергия, кДж·мин	Температура электрода, °С			
			Первый слой	Второй слой	Третий слой	Четвертый слой
1	Без охлаждения	15,36	761	773	760	773
2	0,1		442	536	507	542
3	0,2		205	208	204	235
4	0,3		302	316	316	329
5	0,4		214	233	224	226
6	0,5		248	243	257	259
7	0,6		214	216	228	254

Оценка температуры электрода производилась с помощью тепловизора HotFind-DXT путем фиксации максимального значения при непрерывном формировании покрытия в конце каждого из четырех слоев. Термограммы электрода на каждом слое без охлаждения и при охлаждении с давлением 0,6 МПа представлены на рис. 1.

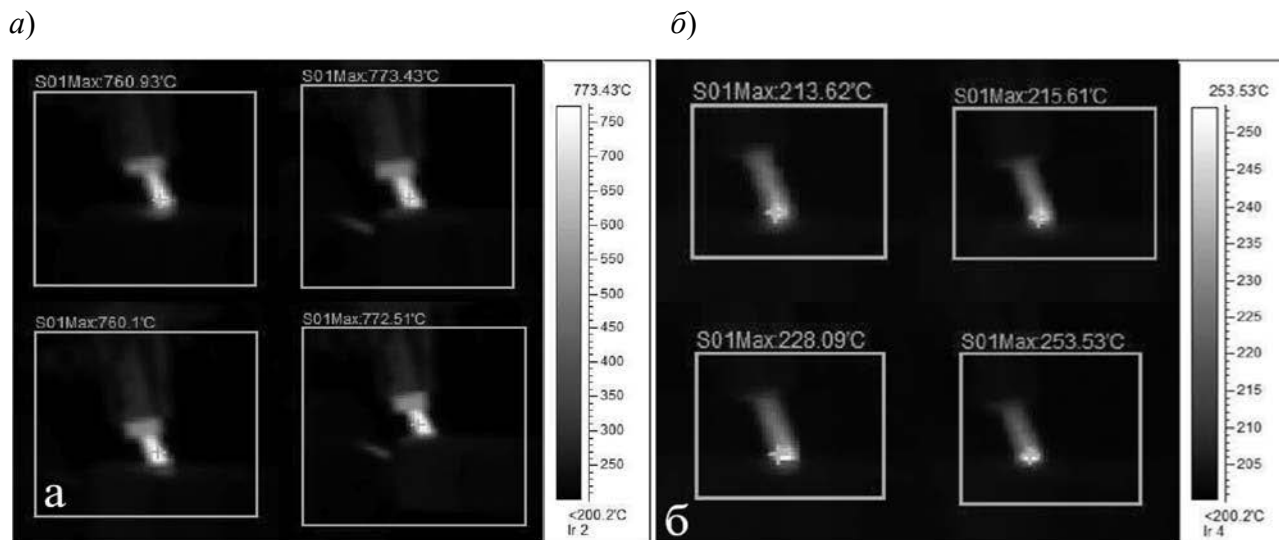


Рис. 1. Термограммы электрода: *а* – без охлаждения; *б* – с давлением 0,6 МПа

По результатам экспериментов можно выделить диапазон давлений, обеспечивающий охлаждение электрода до температуры 200 °С...260 °С, при которой отсутствует образование оксидов, что подтверждается фотографиями состояния электродов после легирования четырех слоев (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид электродов после легирования: *а* – без охлаждения; *б* – с давлением 0,6 МПа; *в* – с давлением 0,1 МПа

Из рис. 2 видно, что при легировании без охлаждения происходит расслоение электрода с попаданием отслоившихся продуктов окисления в формируемое покрытие. При легировании с давлением 0,1 МПа процесс окисления с отслаиванием не наблюдается, но наблюдаются признаки перегрева электрода. При давлении от 0,2 до 0,6 МПа видимых признаков окисления и перегрева электрода не наблюдается.

Таким образом, применение охлаждения электрода воздухом с давлением потока от 0,2 МПа и выше целесообразно для повышения качества и однородности электроискрового покрытия.

УДК 621.791.011

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЗАЩИТНОГО ГАЗА НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ ПРИ ДВУХДУГОВОЙ ИМПУЛЬСНОЙ СВАРКЕ ТРУБНОЙ СТАЛИ

А. С. НИКОЛАЕВ

Научный руководитель С. Г. ПАРШИН, д-р техн. наук, проф.
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия

Повышение хладостойкости и ударной вязкости сварных соединений высокопрочных трубных сталей является необходимым условием для эксплуатационной надёжности и работоспособности магистральных газопроводов высокого давления.

Степень анизотропии сварного шва и зоны термического влияния в многослойных сварных соединениях высокопрочных трубных сталей значительно зависит от термических циклов первичного и повторного нагрева, максимальных температур, скорости охлаждения и химического состава сварного шва. Одним из способов повышения вязкопластических характеристик шва является снижение окислительного потенциала защитной газовой смеси. Это позволяет уменьшить образование хрупких оксидных включений и повысить коэффициент перехода микролегирующих элементов V, W, Mo, Nb, что положительно влияет на измельчение микроструктуры.

Целью работы являлось повышение ударной вязкости сварных соединений магистральных газопроводов при двухдуговой импульсной сварке в газовых смесях с пониженным содержанием углекислого газа.

Для двухдуговой импульсной сварки применяли трубы диаметром 1420 мм с толщиной стенки 21,6 мм из стали К60 и комплекс Dragoweld 700. Для сварки применяли следующие газовые смеси: 80 % Ar + 20 % CO₂, 82 % Ar + 18 % CO₂, 90 % Ar + 10 % CO₂, 92 % Ar + 8 % CO₂. Ударную вязкость определяли на маятниковом копре Instron 600MPX по ГОСТ 6996–66, ГОСТ 9454–78, СТО Газпром 15-1.1-002–2023 на образцах Шарпи тип IX с надрезом по шву и линии сплавления.

В результате исследований установили, что с уменьшением содержания CO₂ с 20 % до 10 % в защитной смеси средняя ударная вязкость шва при минус 40 °С увеличилась в 1,75 раза (с 212 до 373 Дж/см²), а при минус 60 °С – в 1,12 раза (с 249 до 281 Дж/см²). По линии сплавления средняя ударная вязкость с уменьшением содержания CO₂ с 20 % до 18 % при минус 60 °С увеличилась в 1,6 раза (с 230 до 369 Дж/см²).

УДК 621.791.763

АДДИТИВНЫЙ СИНТЕЗ МЕДИ НА БАЗЕ ДУГОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (WAAM)

К. Н. СЕРДЮКОВА, А. В. КЛИМЕНКОВА

Научный руководитель А. О. КОРОТЕЕВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Создание изделий из меди и медных сплавов методами дуговой послойной наплавки (WAAM) является актуальной задачей. Уникальный комплекс физических свойств материала делает его незаменимым во многих случаях, особенно в электротехнике. При этом большой объем изделий получают методами литья либо механической обработки из массивных заготовок. Присутствует достаточно большой объем отходов, особенно в случае необходимости получения массивных изделий нестандартной геометрии. Решением этих проблем является применение аддитивных технологий. Среди наиболее эффективных и производительных можно выделить технологию дуговой наплавки плавящимся электродом (проволокой). В то же время существует ряд серьезных ограничений, вызванных свойствами меди и медных сплавов: их высокой жидкотекучестью, теплопроводностью, активностью по отношению к окружающей атмосфере, особенно к водороду, кислороду и т. п. Кислород находится в меди преимущественно в виде оксидов Cu_2O , образующих по границам зерен эвтектику $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$ с температурой плавления 1065°C .

По результатам анализа экспериментальных исследований микроструктуры изделия из меди М1, полученного нами роботизированной послойной дуговой наплавкой в среде аргона, установлено, что по границам зерен образуется эвтектика $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$, снижающая механические характеристики и эксплуатационные свойства материала. Так как температура плавления меди составляет 1083°C , при затвердевании эвтектика в полужидком состоянии располагается по границам зерен и может способствовать образованию кристаллизационных трещин.

В качестве основного способа предотвращения образования закиси меди по границам зерен предлагается вводить в состав защитной газовой атмосферы азот, являющийся по отношению к ней инертным газом. В то же время такой способ позволит не только связать кислород в атмосфере дуги, снизив вероятность окисления меди в дуговом промежутке, но и существенно изменит теплофизические характеристики процесса, что при аддитивном синтезе на базе дуговых сварочных технологий (WAAM) является основным механизмом управления поведением жидкой расплавленной ванны на торце заготовки.

Ведется работа по исследованию влияния состава защитной газовой смеси $\text{Ar} + \text{N}_2$ на характеристики плавления медной присадочной проволоки и особенностей формирования свойств наплавленного металла.

УДК 621.791.77

ПРОЧНОСТЬ НАХЛЕСТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОПРОЧНОГО КОМПОЗИТА ПРИ ИНДУКЦИОННОЙ СВАРКЕ

А. Д. СЫРОМЯТНИКОВ

Научный руководитель С. Г. ПАРШИН, д-р техн. наук, проф.
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия

Одной из основных проблем широкого внедрения композитов в отечественную промышленность является отсутствие оборудования и технологий для получения надежных и долговечных сварных соединений для изготовления высоконагруженных элементов авиационной и ракетно-космической техники. Индукционная сварка позволяет существенно увеличить производительность процесса сварки и прочность сварных соединений из высокопрочных композитов на основе полиэфиркетона и углеродных волокон.

Целью работы являлось повышение качества и прочности сварных соединений высокопрочных термопластичных углеродно-армированных композитов при индукционной сварке путём оптимизации режимов.

Для индукционной сварки использовали пластины из многослойного композита Tenax TPCL PEEK-4-42-HTA40 (Teijin Carbon Europe GmbH) толщиной 1,24 мм, длиной 300 мм и шириной 100 мм. Индукционный нагрев выполняли при токе индуктора 150, 170, 200 А, частоте 700 кГц и скорости сварки 2...9,4 мм/с. При испытаниях образцов сварных соединений на сдвиг по ГОСТ Р 57066–2016 и ASTM D5868-01(2023) использовали машину ZwickRoell Z100.

С уменьшением величины тока и скорости сварки прочность на сдвиг снижалась, что связано с увеличением площади непроваров. С ростом тока и скорости сварки прочность увеличивалась, однако возрастали отклонения от средней величины прочности из-за неравномерности теплового поля, локального перегрева, испарения матрицы и деградации углеродных волокон.

При индукционной сварке образцов со скоростью 3,9 мм/с и токе индуктора 200 А средняя прочность на сдвиг составила $(31,74 \pm 1,21)$ МПа. Анализ микроструктуры зоны разрушения сварного соединения показал, что при оптимальной скорости сварки 3,5...4 мм/с и токе 200 А достигается до 90 %...100 % площади провара нахлесточного соединения при отсутствии деформации деталей.

УДК 005.6 (005.334): 621.9.047

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО МЕТОДА
ОЦЕНКИ РИСКОВ HAZOP И FMEA В ПРОМЫШЛЕННОСТИ
(НА ПРИМЕРЕ ГАЗОКИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ)

Я. И. ТИШКОВА

Научный руководитель Е. В. ОВЧИННИКОВ, д-р техн. наук, проф.
Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
Гродно, Беларусь

Актуальность. Внедрение риск-ориентированного мышления, предписываемое СТБ ISO 9001–2015 [1], требует от промышленных организаций системного подхода к идентификации, оценке и управлению производственными рисками [1]. Наиболее распространёнными методами оценки рисков являются HAZOP (анализ опасностей и работоспособности) и FMEA (анализ видов и последствий отказов) [2]. Однако их раздельное применение имеет методологические ограничения: HAZOP эффективен для выявления отклонений на уровне процесса, но не даёт количественной оценки критичности; FMEA обеспечивает ранжирование рисков, но требует предварительно сформированного перечня отказов компонентов. В связи с этим актуальной задачей является демонстрация эффективного функционирования слияния этих двух методов.

Цель исследования – продемонстрировать эффективность применения на производстве интегрированного метода HAZOP и FMEA (на примере газокислородной резки).

Материалы и методы исследования. Исследование базируется на систематическом анализе нормативно-технической документации (СТБ ISO 9001–2015, ГОСТ Р 27.012–2019, ГОСТ Р 27.303–2021, ТКП 563–2014, постановление МЧС Республики Беларусь № 82) и практических данных, полученных при эксплуатации передвижных постов газокислородной резки. Методологическую основу составили HAZOP – для идентификации отклонений технологического процесса и FMEA – для идентификации отказов компонентов и количественной оценки критичности выявленных отказов с расчётом приоритетного числа риска (RPN) [2–4].

Результаты и обсуждение. На основе выделенных рисков и с учётом требований риск-ориентированного мышления анализ процесса осуществляется по следующему алгоритму комплексного применения HAZOP и FMEA для оценки производственных рисков, состоящему из шести этапов.

Этап 1. Подготовка. Заключается в определении границ анализа (цех/объект строительства/технологическая линия) и формировании рабочей команды.

Этап 2. Анализ процесса по методу HAZOP (процессный анализ).

Разделить технологическую линию или процесс на узлы (например, «пост плазменной резки», «пост газокислородной резки» и т. п.).

Перечень потенциальных отклонений приведён на рис. 1.

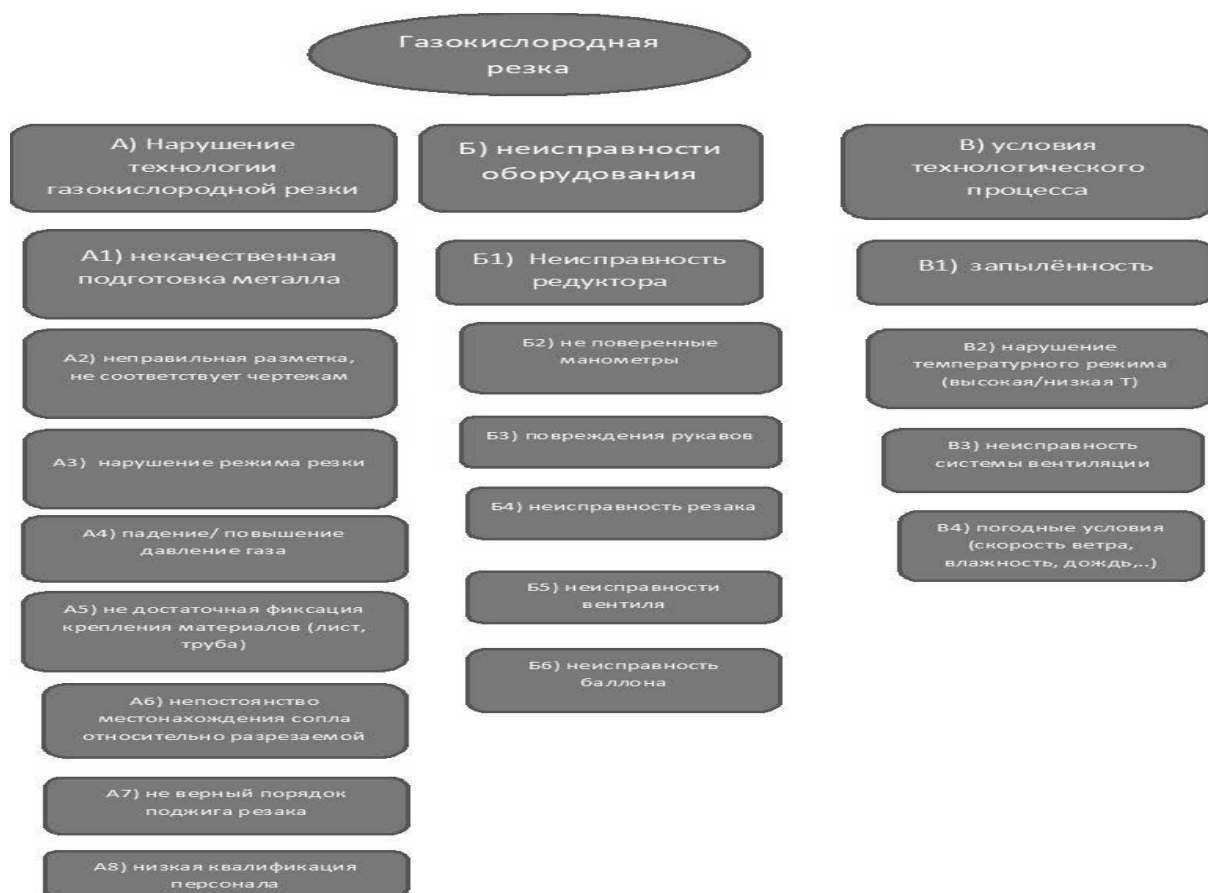


Рис. 1. Оценка рисков при газопламенной обработке металлов (газокислородная резка) на производстве

Этап 3. Анализ процесса по методу FMEA (компонентный анализ). Описывается как структурированный перечень отказов [3]. Рассмотрим этот этап на примере выявленного методом HAZOP отклонения A4.

Уровень процесса: передвижной пост газокислородной резки.

A4 Отклонение (инцидент): отсутствует подача газа/ падение давления газа в баллоне. *Последствия:* обратный удар с возможным последующим разрушением резака и редуктора, баллона; разрыв рукавов.

Причины: давление в баллоне составляет менее 0,005 МПа, утечка газа, неисправность редуктора.

Этап 4. Для каждого отказа присваиваются числовые значения по трём шкалам (от 1 до 10): Severity (*S*) – тяжесть последствий, Occurrence (*O*) – вероятность возникновения, Detection (*D*) – вероятность обнаружения. Для рассматриваемого примера $S = 8$ (обратный удар с разрушением оборудования и травмированием), $O = 4$ (средняя вероятность при нарушении контроля), $D = 5$ (визуальный контроль не гарантирует 100 % обнаружения).

Этап 5. Поиск приоритетного числа риска. FMEA предполагает расчёт приоритетного числа риска (RPN – Risk Priority Number) [3].

Общая формула ранга приоритетности риска (RPN) – это произведение рангов значимости последствий, вероятности возникновения отказа и обнаруживаемости отказа [3]:

$$RPN = S \times O \times D,$$

$$RPN = 8 \times 4 \times 5 = 160.$$

Полученное значение $RPN = 160$ указывает на необходимость разработки корректирующих мероприятий.

Этап 6. Разработка корректирующих мероприятий для отказов с наибольшим RPN .

В данном рассматриваемом примере итоговой рекомендацией является следующее: установить огнепреградительные клапана; 100 % визуального осмотра; иметь на площадке резервный баллон [5].

Этап 7. Документальное оформление с повторной оценкой рисков после внедрения мероприятий (пересчёт RPN). Подтверждение эффективности мероприятий. *Тяжесть последствий $S = 1$. Вероятность возникновения отказа $O = 2$. Вероятность обнаружения отказа $D = 2$.*

$$RPN = 1 \times 2 \times 2 = 4.$$

Полученное значение $RPN = 4$ указывает на эффективность разработанных корректирующих мероприятий.

Ключевой принцип интеграции: HAZOP выполняет функцию «генератора» потенциальных опасностей и отклонений, а FMEA – функцию «оценщика» критичности каждого выявленного отказа с присвоением численного приоритета. Такой подход позволяет не только выявить риски, но и обоснованно распределить ресурсы на их предотвращение.

Заключение. Исследование на примере газокислородной резки показывает, что слияние методов HAZOP и FMEA позволяет повысить полноту идентификации рисков и установить наиболее действенные и приоритетные корректирующие мероприятия по сравнению с отдельным применением методов.

Комплексное применение методов HAZOP и FMEA позволяет создать многоуровневую систему идентификации и анализа опасностей, охватывающую все стадии жизненного цикла производственного объекта [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система менеджмента качества. Требования : СТБ ISO9001–2015.
2. Надежность в технике. Анализ опасности и работоспособности (HAZOP) [IEC 61882:2016, Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide, MOD] : ГОСТ Р 27.012–2019. – URL: <https://gostinform.ru/razdel-oks-03-120-01/gost-r-27-012-2019-obj60155.html> (дата обращения: 30.03.2026).
3. Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов (IEC 60812:2018, Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA), MOD) : ГОСТ Р 27.303–2021. – URL: https://gostassist.ru/doc/fdbcb82c-b019-44f2-9025-65594df5a5ae?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (дата обращения: 11.07.2026).
4. Надежность в технике. Методы оценки рисков. Dependability in technics. Risk assessment techniques (IEC 31010:2019, Risk management -Risk assessment techniques, IDT) : ГОСТ Р МЭК 31010–2021. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document/9/430569-nadezhnost-v-tekhnike-metody-otsenki-riska-gost-r-mek-31010-2021> (дата обращения: 30.03.2026).
5. Требования безопасности при выполнении сварочных работ : ТКП 563–2014 (02260). – URL: <https://etalonline.by/document/?regnum=w614p0103> (дата обращения: 11.07.2026).

УДК 621.791.763.2

КОНТРОЛЬ УСИЛИЯ СЖАТИЯ В ПРОЦЕССЕ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОМЫШЛЕННОГО ТЕНЗОУСИЛИТЕЛЯ АТ5

Г. Ю. ЧАПЛЫГИН, К. А. ЯКОВЛЕВ, А. О. СЕРГЕЙЧИК

Научный руководитель С. М. ФУРМАНОВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Контроль усилия сжатия электродов в процессе контактной сварки позволяет эффективно отслеживать позиции «Предварительное сжатие» и «Прокатка», что, в свою очередь, дает возможность стабилизировать контактные сопротивления, уменьшить выплески, ухудшающие механические свойства соединения за счёт неравномерного формирования зоны сплавления в рельефных типах соединений.

Контроль осуществляется тензометрическим методом измерения с использованием константовых тензорезисторов фольгового типа с изолирующей подложкой. Принципиальная схема и способ подключения измерительного полумоста на двух тензорезисторах для регистрации усилия сжатия электродов при контактной точечной сварке приведены на рис. 1.

Принцип работы константовых тензорезисторов следующий: при восприятии действующего усилия сжатия их проводящая часть сжимается, что приводит к уменьшению внутреннего сопротивления датчика. Это позволяет определить коэффициент тензочувствительности и прямую зависимость деформации от изменения сопротивления тензометрического полумоста.

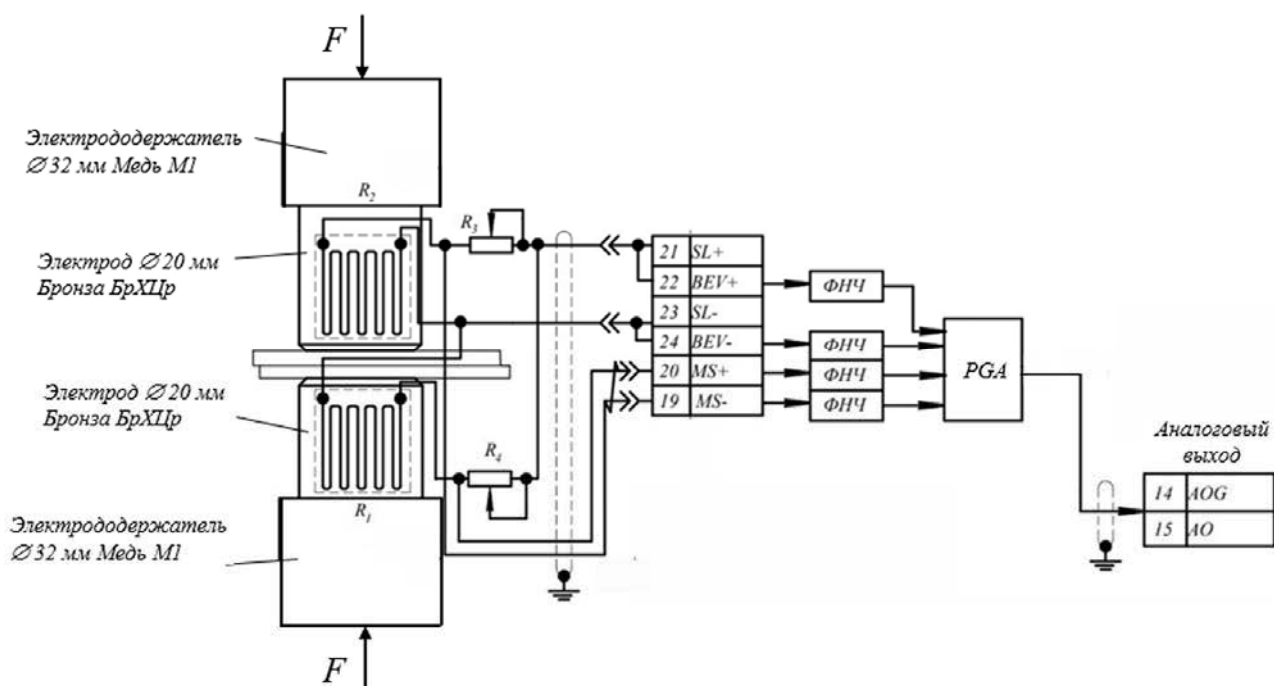


Рис. 1. Принципиальная схема измерительного тензометрического полумоста для регистрации усилия сжатия электродов непосредственно в процессе сварки

УДК 621.791.763

АНАЛИЗ ОСЦИЛЛОГРАММ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ В ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

А. И. ЧИЖ, Я. С. ЯКУШЕВ

Научный руководитель Е. А. ФЕТИСОВА, канд. техн. наук

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Исследование динамических процессов, протекающих в высокотемпературном дуговом промежутке, например переноса капель электродного металла и частоты смены циклов короткого замыкания, основывается на методе осциллографирования параметров режима сварки – силы сварочного тока $I_{св}$ и напряжения на дуге U_d .

В работе проведён анализ осциллограмм $I_{св}$ и U_d , совмещённых с данными скоростной видеосъёмки процесса автоматической наплавки одиночных валиков на пластины с использованием робототехнического комплекса. В качестве защитной газовой атмосферы применяли традиционную смесь Ar (82 %) + CO_2 (18 %), а также модифицированную галогенидным соединением Ar (82 %) + CO_2 (18 %) + SF_6 . Диапазон значений напряжения на дуге составлял от 14 до 32 В и зависел от силы тока, регулируемой скоростью подачи присадочной проволоки. Параметры процесса фиксировались датчиком тока и регистратором напряжения, подключённым к сварочному контуру. Полученные числовые данные и осциллограммы обрабатывались на персональном компьютере (рис. 1).

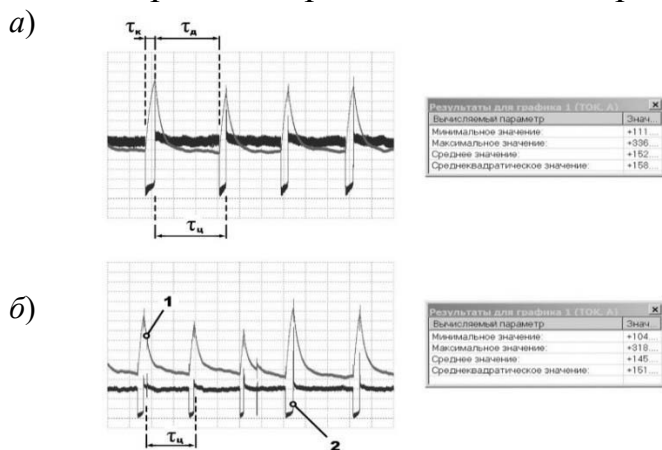


Рис. 1. Внешний вид осциллограмм для процесса наплавки по стандартной технологии в защитной газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO_2 (а) и с введением SF_6 в состав защитной атмосферы в количестве 0,5 % (б): 1 – осциллограмма силы тока; 2 – осциллограмма напряжения на дуге

Длительность цикла сварки τ_{κ} включает в себя рост капли электродного металла τ_d или время существования дуги, а также время короткого замыкания дугового промежутка τ_k . Время повторяющихся циклов сварки τ_{κ} напрямую определяет частоту переноса электродного металла от расплавленного торца присадочной проволоки к изделию.

По результатам анализа полученных осциллограмм отмечено, что введение SF_6 в традиционную защитную газовую атмосферу существенно уменьшает

время между короткими замыканиями. В результате размер капель электродного металла уменьшается, а частота их замыканий о расплавленную сварочную ванну увеличивается, что говорит о высокой стабильности протекания процесса.

УДК 621.791.763.2

О ВЛИЯНИИ СКОРОСТИ РАЗОГРЕВА ПРИ ДЕЙСТВИИ ТОКА ИМПУЛЬСА ПОДОГРЕВА ПРИ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКЕ

Д. Н. ЮМАНОВ, А. А. ЛОПАТИНА, А. Р. ЗЕЛИНСКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При рассмотрении цикла контактной рельефной сварки одним из основных его этапов является действие импульса подогрева изделий. Известны рекомендации к использованию подогрева при контактной точечной и рельефной сварке различных углеродистых и легированных сталей с целью повышения качества и механических характеристик сварных соединений.

Ранее проводились математическое моделирование и ряд экспериментальных исследований процесса контактной рельефной сварки Т-образных соединений, при которых определено, что перемещение верхнего электрода во время действия импульса тока подогрева оказывает наиболее существенное влияние на дальнейшее образование сварного соединения [1]. При этом высокая скорость разогрева приводит к крайне быстрому перемещению электрода и пластической деформации области контактирования деталей, что, в свою очередь, приводит к появлению выплеска расплавленного металла. Недостаточная же скорость разогрева является причиной появления непровара, а также может являться причиной выплеска при начале действия сварочного тока.

Для протекания стабильного процесса сварки необходимо, чтобы импульс подогрева также имел плавный характер действия, особенно в начале его приложения. Плавное действие импульса позволяет нарастить скорости разогрева области контакта свариваемых деталей без существенных скачков, что благоприятно влияет на кинетику формирования сварного соединения. Возможностей стандартного оборудования для контактной сварки и управления процессом для этих целей не хватает, поэтому для их реализации существует необходимость в модернизации контактной машины.

В настоящее время проводятся исследования способа, при котором импульсы тока имеют разный характер действия с осуществлением комбинированного воздействия на область контактирования деталей при сварке. Предлагаемая технология контактной сварки отличается тем, что импульс подогрева задается с частотой тока более 50 Гц, создавая при этом условия равномерного и плавного разогрева области сварного соединения перед действием импульса сварочного тока с обычной частотой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юманов, Д. Н. Методика определения критерия образования качественных Т-образных соединений при контактной рельефной сварке с помощью математического моделирования / Д. Н. Юманов, С. М. Фурманов, А. Н. Юманова // Наука и техника. – 2025. – Т. 24, № 1. – С. 24–32.

УДК 621.791.763.2

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ТИПА «ПЛАСТИНА + ВТУЛКА», ПОЛУЧЕННЫХ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКОЙ С АДАПТИВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ

К. А. ЯКОВЛЕВ, Г. Ю. ЧАПЛЫГИН, А. О. СЕРГЕЙЧИК

Научный руководитель С. М. ФУРМАНОВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Металлографические исследования соединений «пластина + втулка» производились над образцами, сваренными при следующих параметрах режима рельефной сварки с использованием конической формы рельефа на торце втулки с заступом: диаметр отверстия в пластине $D = 23$ мм, высота рельефа $h_p = 1,0$ мм, ток подогрева $I_{\text{под}} = 18 \dots 20$ кА, сварочный ток $I_{\text{св}} = 24 \dots 25$ кА, время подогрева $\tau_{\text{под}} = 0,227 \dots 0,282$ с, мощность при подогреве $P_{\text{под}} = 40 \dots 44$ кВт, время нарастания тока $\tau_n = 0,06$ с, время протекания максимального сварочного тока $\tau_{\text{св}} = 0,12 \dots 0,161$ с, мощность при сварке $P_{\text{св}} = 66 \dots 73$ кВт, затрачиваемая энергия нагрева зоны «электрод – электрод» $Q_{\text{ээ}} = 22 \dots 26,5$ кДж, усилие сжатия электродов $F_{\text{св}} = 5900$ кН, допуск осадки при подогреве $\Delta_{\text{под}} = 0,2h_p$, допуск осадки при сварке $\Delta_{\text{св}} = 0,7h_p$. На металлографию были взяты образцы № 42 и 47. Результаты представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

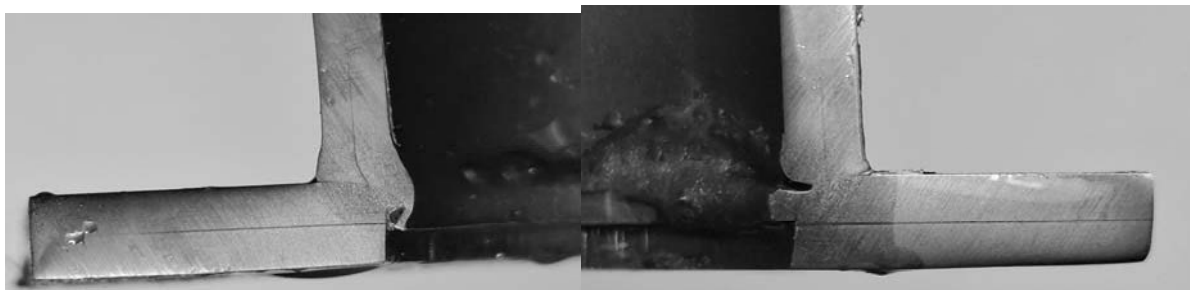


Рис. 1. Макроструктура шва, образец № 42

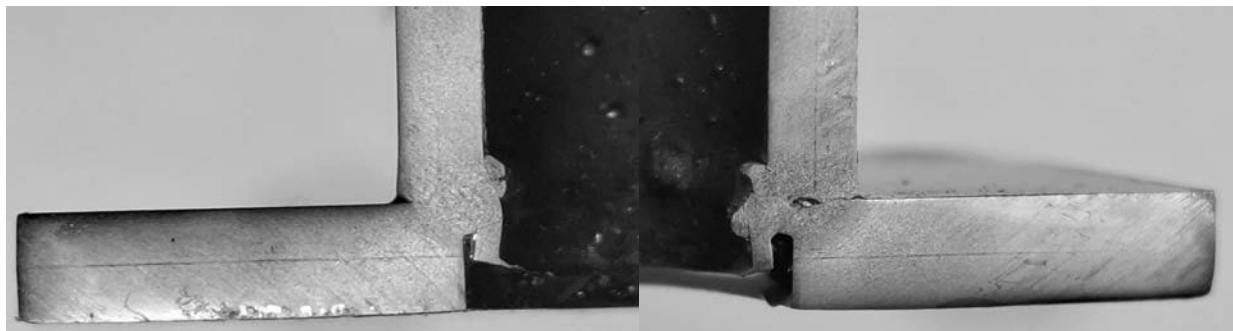


Рис. 2. Макроструктура шва, образец № 47

Сравнение с базовым технологическим процессом (уровень брака составляет 11 %...13 %) косвенно подтверждает эффективность адаптивного управле-

ния: снижение доли дефектных соединений до 0,5 % сопровождается стабильным выходом прочности на приемлемом уровне. Однако разброс значений остаётся значительным, что указывает на наличие дополнительных факторов, не компенсируемых алгоритмом регулирования мощности.

Основной причиной разброса, как показал последующий металлографический контроль, является несоосность консолей контактной сварочной машины. Даже незначительный перекося втулки относительно пластины приводит к асимметричному контакту рельефа и, как следствие, к неравномерному тепловыделению по периметру соединения. Адаптивная система, отслеживая суммарное перемещение подвижного электрода и переключая этапы циклограммы при достижении заданных порогов осадки, не способна различить равномерную осадку и осадку, вызванную перекосями. Поэтому на образцах с более выраженной несоосностью фиксируются минимальные значения прочности.

Металлографическое исследование образцов № 42 и 47 позволило уточнить характер дефектов. Образцы в общем случае демонстрируют более выраженные участки неполного сплавления (непровары) в зоне, удалённой от точки первичного контакта. При этом сами литые зоны плотные, без пор и трещин, что говорит о корректном выборе теплового режима. Непровары имеют вид тонкой застывшей прослойки – расплав не успевает объединиться в единое ядро из-за того, что заданный допуск осадки достигается раньше полного проплавления «затенённой» стороны. Образец № 47 является показательным: при минимальном перекося в данной конкретной сварке макроструктура показывает практически полное сплавление по всему периметру с незначительной ликвационной зоной, что подтверждает принципиальную возможность получения высококачественного соединения при соблюдении геометрической точности.

Сопоставление механических свойств с данными металлографии для разных режимов сварки позволяет установить следующую корреляцию. Образцы с прочностью выше 30 кН имеют симметричное литое ядро с долей проплавления не менее 80 % от толщины стенки втулки. Образцы с прочностью 20...28 кН характеризуются умеренной асимметрией, но без сквозных несплавов. Низкопрочные образцы (менее 16 кН) обладают зонами несплавления протяжённостью более 1/3 периметра или содержат оксидные включения в разрыве.

На основе проведённого анализа можно сделать несколько дополнительных выводов и рекомендаций для дальнейшего совершенствования процесса. Во-первых, адаптивное регулирование мощности подтвердило свою высокую эффективность для стабилизации теплового режима: даже при наличии геометрических погрешностей удаётся получить более 70 % образцов с прочностью выше заданного порога. Во-вторых, ключевым ограничением является механическая часть – несоосность консолей и электродов, которую адаптивный алгоритм не компенсирует. Для устранения этого недостатка достаточно использовать современное оборудование или делать установку на базе машин рельефной сварки, где более жесткие требования к геометрии деталей.

УДК 621.43.056

ГОРЕЛКИ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ТИПА: АСПЕКТЫ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ТОПЛИВА ПРИ ЗАПУСКЕ

А. А. ДМИТРИЕНКО

Научный руководитель А. А. РЕДКОКАШИН, канд. техн. наук, доц.
Приморский государственный аграрно-технологический университет
Уссурийск, Россия

Испарительные горелки широко применяются в энергетических установках, промышленных котлах и теплогенераторах благодаря компактности конструкции, низкому уровню выбросов и высокой полноте сгорания. Однако надёжность запуска таких горелок остаётся одним из ключевых вопросов, поскольку воспламенение топлива в испарительных горелках имеет ряд особенностей по сравнению с горелками распылительного типа.

В испарительных горелках жидкое топливо подаётся на нагретую поверхность, где за счёт подвода теплоты от свечи накаливания происходит его испарение. Образующиеся пары смешиваются с воздухом и полученная паровоздушная горючая смесь воспламеняется от элемента зажигания. Процесс запуска включает три последовательные стадии: прогрев свечи накаливания, испарение топлива на нагретой поверхности и воспламенение с формированием устойчивого фронта пламени.

Основным средством системы зажигания в испарительных горелках служит свеча накаливания, обеспечивающая подвод теплоты в испарительной камере. Она не только воспламеняет смесь, но и обеспечивает испарение топлива в начальный период работы, когда температура камеры сгорания ещё не достигла нужного значения. После выхода на рабочий режим подача теплоты от свечи прекращается, поскольку дальнейшее испарение топлива происходит за счёт тепла, излучаемого фронтом пламени.

Эффективность зажигания определяется количеством энергии, подводимой к топливовоздушной смеси, и её распределением. Для инициирования цепных реакций горения необходимо, чтобы плотность энергии в зоне зажигания была достаточной для повышения температуры локального объёма смеси выше температуры самовоспламенения. Ключевую роль играют тип и состав топлива (температура вспышки, фракционный состав), соотношение воздуха и топлива в зоне зажигания, начальная температура и давление смеси, а также скорость потока в камере сгорания.

Для повышения надёжности запуска применяется ряд конструктивных мер. Размещение свечи накаливания на минимально возможном расстоянии от испарительного слоя обеспечивает концентрацию тепловой энергии в зоне смесеобразования.

Наклонное расположение свечи накаливания относительно главной поверхности испарителя (угол от 9° до 30°) обеспечивает сохранение хорошей способности к зажиганию даже при образовании отложений, поскольку исключает формирование прямого теплового моста. Центральный выступ на поверхности испарителя концентрирует топливо в зоне воздействия свечи, что особенно важно при работе с топливами, кипящими при высоких температурах.

Последовательность запуска испарительной горелки обеспечивается: включением вентилятора для предварительной продувки камеры сгорания; подачей электропитания на свечу накаливания и её прогрев до рабочей температуры; подачей топлива и воздуха в зону испарения и смесеобразования; контролем наличия пламени с помощью фотодатчика в течение заданного времени (обычно 3...5 с). При отсутствии пламени должны быть включены свеча накала и, спустя заданное время нагрева, искровой розжиг.

Особенности холодного пуска. При низких температурах окружающей среды вязкость жидкого топлива возрастает, что ухудшает его прокачиваемость и испарение. В этих условиях время прогрева свечи накаливания увеличивается, а концентрация паров топлива в зоне зажигания может оказаться ниже предела воспламеняемости. Для решения данной проблемы в ряде конструкций применяется дополнительный резервуар для лёгкого пускового топлива, обеспечивающий формирование горючей смеси с более низкой температурой воспламенения в начальный период запуска. После стабилизации пламени производится автоматический переход на основное топливо.

На основании проведённого анализа можно сделать следующие выводы. Надёжность воспламенения и запуска испарительной горелки зависит от комплекса факторов: энергетических параметров системы зажигания, характеристик топлива, конструктивного исполнения испарительного элемента и состояния рабочих поверхностей. Перспективными направлениями совершенствования являются оптимизация геометрии расположения свечи накаливания, применение материалов с высокой удельной площадью поверхности с заданной структурой пор для равномерного распределения топлива, разработка адаптивных алгоритмов управления запуском с учётом температуры окружающей среды и типа топлива, а также интеграция систем автоматической очистки испарительной поверхности для поддержания стабильных условий зажигания в процессе эксплуатации.

УДК 691.327.3

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИКРОТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ КЕРАМЗИТОБЕТОНА ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ

И. И. МЕЛЬЯНЦОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При воздействии кратковременных сжимающих напряжений разрушение бетона представляет собой стадийный процесс накопления микродефектов структуры. Физико-механические свойства керамзитобетонов определяют качественные отличия порогов их трещинообразования от аналогичных параметров для бетонов нормального веса.

В механике разрушения конгломератных строительных материалов, основы которой заложены в трудах О. Я. Берга, выделяют два базовых параметрических уровня напряжений, разграничивающих стадии изменения структуры под нагрузкой: нижняя граница микротрещинообразования, соответствующая началу накопления локальных дефектов, и верхняя граница микротрещинообразования, являющаяся границей разрушения структуры бетона, при которой микротрещины объединяются в магистральные сколы.

Для бетонов нормального веса нижний предел микротрещинообразования наступает уже при уровне нагружения $\eta^0_{сгс} = 0,35...0,5$. Это обусловлено различием в значениях модулей упругости цементной матрицы и заполнителя. Согласно теории упругости неоднородных сред, распределение локальных напряжений вблизи жесткого включения порождает высокие касательные напряжения на границе раздела фаз. Как показано в классических работах Ю. М. Баженова, именно эти локальные пики напряжений провоцируют ранний сдвиг структуры в закритическую стадию.

В керамзитобетоне модули деформации компонентов сближены, что обеспечивает упругую изотропность конгломерата. Силовое поле распределяется без пиковых градиентов. Благодаря этому нижняя граница микротрещинообразования наступает при уровне нагружения $\eta^0_{сгс} = 0,55...0,7$. Современные экспериментальные исследования с помощью прецизионного тензометрирования [1] подтверждают, что до этого момента керамзитобетон ведет себя практически как сплошное однородное тело.

Верхняя критическая граница микротрещинообразования керамзитобетона наступает при уровне нагружения $\eta^{\gamma}_{сгс} = 0,8...0,9$. Область закритического деформирования у керамзитобетона предельно сжата, что обуславливает взрывной, хрупкий характер разрушения.

Исходное напряженное состояние бетона формируется еще на этапе гидратации цемента и высыхания. Собственные усадочные деформации в бетоне нормального веса вызывают растягивающие напряжения в матрице, поскольку жесткий гранитный каркас препятствует свободной линейной усадке твердеющего геля. В керамзитобетоне механизм усадки протекает по иному сценарию. Пористые гранулы керамзита обладают высокой начальной

влажностью. При высыхании капиллярных пор цементного камня возникает менисковое разрежение, перекачивающее воду из крупных пор заполнителя в матрицу. В результате минимизируется хемогенная и контракционная усадка раствора на ранних сроках, а сжимаемый пористый заполнитель упруго деформируется синхронно с матрицей, не создавая жесткого отпора. Как следствие, начальные растягивающие макронапряжения в структуре керамзитобетона практически отсутствуют, что отодвигает порог раскрытия силовых трещин при кратковременном сжатии [2].

Главное микроструктурное отличие заключается в физико-химическом строении переходной зоны (ITZ – interfacial transition zone). В бетоне нормального веса на границе с гладким плотным щебнем образуется так называемая «зона отжатия влаги» (водяная пленка), где концентрация гидроксида кальция максимальна, а плотность минимальна. Трещина всегда выбирает путь наименьшего сопротивления, поэтому траектория ее движения огибает зерна щебня, развиваясь исключительно по дефектной контактной зоне.

Керамзитовый гравий обладает шероховатой коркой с открытыми порами. Как было установлено еще Г. А. Бужевичем, цементное тесто частично проникает в открытые поры заполнителя на глубину до нескольких сотен микрометров, создавая механическую анкеровку. По мере гидратации в зоне ITZ формируется плотный сросток гидросиликатов кальция, превосходящий по прочности сам керамзит.

Исследования, выполненные методом акустической эмиссии [3], доказали, что благодаря такой адгезии датчики фиксируют первые микроразрушения структуры значительно позже. Когда внешнее сжимающее напряжение переходит верхнюю границу микротрещинообразования, прочностной ресурс пористого ядра заполнителя исчерпывается. Трещина рассекает зерно керамзита насквозь по кратчайшей траектории. Кинетическая энергия разрушения высвобождается мгновенно, минуя стадию длительного пластического перераспределения усилий. Это визуально подтверждается зеркально гладким сколом керамзитобетонных образцов после испытаний и описывается современными концепциями дисперсного армирования и управления деформативностью [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Терёхин, А. С.** Анализ прочностных характеристик и границ микротрещинообразования керамзитобетона при сжатии / А. С. Терёхин, Д. В. Кононов // Вестник гражданских инженеров. – 2026. – № 3 (114). – С. 78–86.
2. **Bentz, D. P.** Internal curing with lightweight aggregate: Requesting mechanism and efficiency / D. P. Bentz, W. J. Weiss // NIST Interagency Report. – 2011. – Vol. 7821. – P. 45–52.
3. **Zhang, L.** Experimental study on the interfacial transition zone (ITZ) and acoustic emission characteristics of lightweight aggregate concrete under compression / L. Zhang, Y. Wang, X. Liu // Construction and Building Materials. – 2024. – Vol. 411. – Art. 134211.
4. **Пухаренко, Ю. В.** Деформативность дисперсно-армированного керамзитобетона под нагрузкой / Ю. В. Пухаренко, Д. А. Пантелеев, М. И. Жаворонков // Строительство и реконструкция. – 2025. – № 3 (119). – С. 120–128.

УДК 691.5

КИНЕТИКА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТРЕПЕЛОМ

И. В. НЕМЧЕНКО

Научные руководители В. С. МИХАЛЬКОВ, канд. техн. наук, доц.;

И. И. МЕЛЬЯНЦОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Формирование структуры цементного камня при введении активной минеральной добавки трепела является сложным физико-химическим процессом, меняющим топологию пористой среды и фазового состава цементной матрицы. Влияние трепела на кинетику процесса структурообразования принято делить на три периода: начальный, период раннего ускорения и длительного пуццоланового синтеза.

На начальном этапе после затворения вяжущего водой частицы трепела работают как активный микронаполнитель, плотно упаковываясь в межзерновом пространстве клинкерных минералов. Развитая поверхность частиц трепела мгновенно адсорбирует свободную воду. В период раннего твердения кинетика набора прочности обеспечивается гидратацией самого цемента. Присутствие трепела инициирует разрушение его аморфного кремнеземистого каркаса в высокощелочной среде поровой жидкости. Прямого роста прочности на данном этапе не наблюдается. Активный диоксид кремния SiO_2 вступает в топохимическую пуццолановую реакцию с гидроксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ или портландитом.

Следующий период определяет свойства модифицированного цементного композита. Кинетика пуццолановой реакции достигает пика. Химическое связывание портландита приводит к непрерывной кристаллизации гелевидных низкоосновных гидросиликатов кальция, которые, разрастаясь внутри капилляров, постепенно замещают свободный объем жидкой фазы плотноупакованным гелем.

Описанный процесс предопределяет перестройку порового пространства: происходит дифференциация протяженных макропор на изолированные микропоры. Устраняется характерная для обычных бетонов пористость на границе цементного камня и заполнителя. Ослабленный кристаллами портландита пограничный слой замещается плотным срастанием гидросиликатных структур.

Итогом описанных процессов становится формирование структуры камня с высокими показателями плотности и сопротивления коррозионным воздействиям. В отличие от бездобавочного клинкерного твердения, реакция с трепелом протекает медленно и плавно. Происходит постоянное «заращение» внутренних дефектов, микропор и капилляров растущими кристаллическими и гелевидными фазами.

УДК 332.1

ОПТИМИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ QR-КОДА

А. А. НЕЧАЙ

Научный руководитель Р. В. МОТЫЛЕВ, канд. техн. наук, доц.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Санкт-Петербург, Россия

Введение.

Актуальность темы: растущий спрос на металлические конструкции в современном строительстве и необходимость оптимизации процессов их применения.

Цель исследования: анализ эффективности применения QR-кодов в формировании логистических цепочек, контроле поставок металлических конструкций на строящиеся объекты.

Основные положения.

Преимущества металлических конструкций:

- высокая надежность и индустриальность производства;
- высокая скорость возведения зданий и сооружений;
- возможность круглогодичного монтажа в закрытых помещениях, с доставкой на объект уже готовых ферм и конструкций;
- реализация архитектурных решений со сложной геометрической формой;
- применение металлоконструкций позволяет сократить сроки строительства на 20 %...30 % по сравнению с традиционными методами.

Проблемы применения:

- коррозионная стойкость;
- низкая огнестойкость;
- необходимость специальных мер защиты;
- потребность в кадрах;
- низкий уровень цифровизации;
- нежелание заказчиков интегрировать QR-код в ТИМ.

QR-коды в строительстве.

Функциональное назначение:

- автоматизация идентификации элементов;
- повышение прозрачности процессов;
- оптимизация логистики;
- улучшение информационного обмена.

Технические аспекты:

- двумерная структура кода;
- высокая информационная емкость;
- устойчивость к повреждениям;

– совместимость с ТИМ-моделями.

Практическое применение.

Опыт реализации:

- проект филиала Большого театра в Калининграде;
- логистические особенности применения;
- интеграция с ТИМ-моделью.

Результаты внедрения:

- упрощение контроля поставок;
- снижение количества ошибок;
- оптимизация складских операций;
- сокращение времени монтажа.

Перспективы развития.

Направления совершенствования:

- интеграция с IoT-датчиками;
- развитие систем дополненной реальности;
- автоматизация мониторинга состояния конструкций;
- создание цифровых двойников объектов.

Потенциальные эффекты:

- сокращение сроков поставок материалов на 10 %...20 %;
- эффективность контроля за логистическими цепочками;
- высокая скорость принятия решения;
- получение информации о поставках, монтажных работах, изменениях в чертежах в режиме реального времени;
- снижение затрат на обслуживание;
- повышение безопасности эксплуатации;
- улучшение качества строительства.

Заключение.

Ключевые выводы:

- эффективность применения QR-кодов в управлении логистической политикой;
- необходимость дальнейшего развития цифровых технологий;
- важность интеграции с существующими системами управления строительством.

Рекомендации:

- расширение применения технологии;
- разработка стандартов внедрения;
- подготовка квалифицированных специалистов.

УДК 691:504.61

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИПОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ БОЛЕЕ ЭКОЛОГИЧНЫХ АНАЛОГОВ

К. А. ОДИНЦОВ, А. А. СЕНТЯЙ

Научный руководитель З. Н. ЗАХАРЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

Актуальность темы обусловлена экологической проблемой (глобальные выбросы парниковых газов (до 37 %)), что обуславливает необходимость перехода от традиционных материалов к экологичным аналогам в рамках реализации политики устойчивого развития в Республике Беларусь [1, 2].

Целью исследования является сравнительный анализ физико-механических, эксплуатационных и экологических характеристик отечественных и зарубежных строительных материалов (керамический кирпич, силикатный кирпич, газобетон) для выявления их конкурентных преимуществ и недостатков.

Анализ проведен с использованием методологической базы и направлен на сопоставление усредненных справочных данных по восьми критериям: прочность, плотность, теплопроводность, морозостойкость, водопоглощение, долговечность, экологичность и пожарная безопасность, а также на методологии оценки жизненного цикла.

Результаты по прочности и плотности. Зарубежные аналоги демонстрируют превосходство по прочности (особенно у керамического кирпича – на 30 %...35 %) и плотности, что обусловлено использованием высокотемпературного обжига и улучшенных технологий. Однако высокая плотность зарубежных образцов ухудшает их теплотехнические свойства по сравнению с отечественными.

Результаты по тепло- и влагостойкости. Газобетон обладает наилучшими показателями теплопроводности. Зарубежные материалы превосходят отечественные по морозостойкости (на 20 %...50 %) и имеют более низкое водопоглощение, что напрямую повышает их долговечность и снижает риск разрушения.

Экологическая оценка. Газобетон признан наиболее экологичным материалом (особенно отечественного производства) благодаря меньшим энергозатратам на производство и снижению токсической нагрузки. Зарубежные образцы получили более высокие баллы экологичности за счет совершенства производственных циклов.

Долговечность. Анализ показал, что срок службы зарубежных материалов выше: разница в долговечности составляет от 10 до 15 лет в пользу импортных аналогов по всем трем исследуемым категориям материалов.

Научно-технический вывод. Проведённое исследование показывает, что отечественные строительные материалы (керамический и силикатный кирпич, газобетон) системно уступают зарубежным аналогам по большинству физико-

механических и эксплуатационных показателей – прочности, морозостойкости, водопоглощению и долговечности. Разрыв достигает 20 %...35 %, что обусловлено более низким технологическим уровнем производства, отсутствием строгого многоступенчатого контроля качества и недостаточным использованием модифицирующих добавок. Традиционные материалы (кирпич) уступают зарубежным аналогам по ряду эксплуатационных характеристик до 25 %, что указывает на необходимость модернизации отечественного производства.

В то же время газобетон, особенно отечественный, демонстрирует наилучшие теплоизоляционные свойства и минимальную экологическую нагрузку на этапе производства, однако его низкая прочность ограничивает сферу применения. С позиции оценки жизненного цикла (LCA) зарубежные материалы, несмотря на более высокую начальную стоимость, обеспечивают снижение эксплуатационных затрат, увеличение межремонтных периодов и соответствие международным «зелёным» стандартам, что в долгосрочной перспективе делает их экономически более эффективными.

Таким образом, переход от традиционных материалов к высокотехнологичным и экологичным аналогам является не просто экологической инициативой, а стратегической необходимостью для Республики Беларусь. Он требует системной модернизации производства, гармонизации стандартов и внедрения BIM-технологий на этапе проектирования. Для повышения конкурентоспособности национальной экономики Беларуси критически важно внедрение энергоэффективных технологий, использование вторичных ресурсов, развитие «зеленого» строительства и цифровизация проектирования (BIM-технологии) в условиях интеграции в мировые экологические инициативы. Экологичные аналоги являются неизбежным этапом развития отрасли.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что они могут быть использованы для оптимизации выбора материалов при проектировании энергоэффективных зданий и для корректировки стратегии развития промышленности строительных материалов в Республике Беларусь. Без системных изменений строительная отрасль рискует утратить конкурентоспособность как на внутреннем, так и на внешнем рынке, а также не сможет в полной мере интегрироваться в глобальную повестку устойчивого развития.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальная стратегия развития экономики замкнутого цикла (циркулярной экономики) Республики Беларусь на период до 2035 года : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 29 мая 2024 г. № 393. – URL : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22400393> (дата обращения: 23.08.2026).
2. EU Policy Whole Life Carbon Roadmap for buildings. – URL: <https://worldgbc.org/article/eu-policy-whole-life-carbon-roadmap-for-buildings/> (date of access: 23.08.2026).

М. М. ОХВАТ

Научный руководитель О. Б. ЖИЛЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь

Монолитное строительство получило широкое применение при возведении гражданских и промышленных зданий и сооружений. Однако его ключевой недостаток – высокий собственный вес конструкций. На перекрытия приходится до половины всего объёма бетона в здании. Это увеличивает нагрузку на фундамент, сечения несущих элементов и общие затраты на строительство.

Для снижения веса перекрытий без потери несущей способности рассмотрено применение технологии BubbleDeck. В среднюю зону плиты (вблизи нейтральной оси) размещают полые пластиковые сферы из переработанного полимера, за счёт чего расход бетона сокращается на 30 %...36 %, а арматуры – на 20 %...22 % [1].

Цель исследования – изучить принцип работы перекрытий по технологии BubbleDeck с точки зрения конструктивной надёжности, сравнить их жёсткостные и прочностные характеристики с традиционными монолитными железобетонными плитами.

Технология снижения веса перекрытий BubbleDeck появилась в Дании в конце 1990-х гг. Она представляет собой монолитное перекрытие, в котором полые пластиковые сферы фиксируются между верхней и нижней арматурными сетками в виде готовых заводских модулей.

Конструктивное решение (рис. 1): между верхней и нижней арматурными сетками размещают модули с пустотообразователями. Чаще всего это сферы или слегка вытянутые эллипсоиды из прочного пластика. Вокруг и между ними остаётся бетон, формирующий систему рёбер жёсткости. Именно эти перемычки берут на себя основную нагрузку, работая как тонкие балки, а шары выполняют роль лёгкого заполнителя [2, 3].

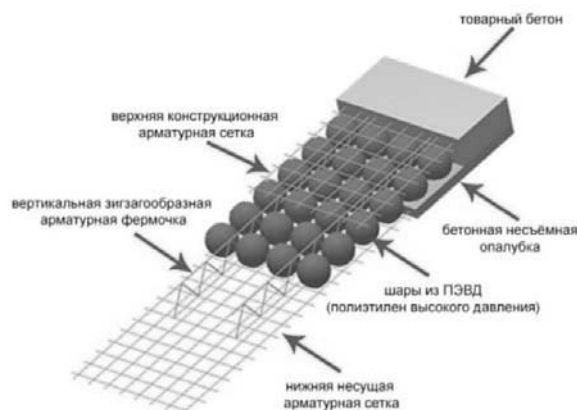


Рис. 1. Конструктивное решение технологии BubbleDeck

При проектировании разрабатывают схему обычной полнотелой плиты, после чего уточняют ее параметры с учетом «пустообразователей». Так как при бетонировании лёгкие сферы могут всплывать на поверхность, необходимо фиксировать полые шары арматурным каркасом. Если используются отдельные модули, то между собой их связывают арматурой и также заливают бетоном.

Сечение вкладышей составляет 200×200 мм, высота меняется в границах от 120 до 350 мм. Вкладыши имеют форму сферы или эллипса, размеры варьируются от 1800 до 360 мм в зависимости от толщины будущей конструкции [4].

При использовании такой технологии возможно сокращение сроков выполнения строительных работ и затрат (табл. 1).

Табл. 1. Сравнение характеристик монолитного железобетонного перекрытия и технологии Bubble Deck

Параметр	Монолитное железобетонное перекрытие	BubbleDeck
Расход бетона, кг/м ²	610	470
Расход арматуры, кг/м ²	100	80
Вес конструкции, кг/м ²	610	470
Максимальный пролёт, м	6...8	До 12
Сроки монтажа, дн.	14	10
Затраты, р./м ²	5 000	4 500

Снижение собственного веса перекрытий при сохранении их несущей способности – одна из наиболее актуальных задач в области строительных конструкций. Традиционный подход к решению этой проблемы включает применение лёгких бетонов, предварительного напряжения арматуры, устройства кессонных и ребристых перекрытий. При использовании технологии BubbleDeck возможно достичь снижения собственного веса, сокращения сроков выполнения строительных работ и затрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов, С. Л. Эффективность применения устойчивой технологии BubbleDeck в бетоне / С. Л. Баранов, Е. В. Мурузина // Вестник науки. – 2023. – Т. 5, № 6 (63). – С. 454–460.
2. Железобетонные монолитные конструкции зданий : свод правил : СП 52-103–2007. – Введ. 15.07.2007. – М. : НИИЖБ – филиал ФГУП «НИЦ «Строительство», 2007. – 37 с.
3. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Правила проектирования : свод правил : СП 387.1325800.2018. – Введ. 16.02.2019. – М. : Минстрой России, 2018. – 128 с.
4. BubbleDeck Russia : официальный сайт компании. – URL: bubbledock.ru (дата обращения: 03.09.2026).

УДК 69.002.5=004.75(574)

ВНЕДРЕНИЕ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ И IoT-ПЛАТФОРМ В УПРАВЛЕНИЕ ПАРКОМ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В КАЗАХСТАНЕ

Г. Ж. ТАХАНОВА, В. Н. КАЗАГАЧЕВ

Научный руководитель Ж. Б. ТУКАШЕВ, канд. техн. наук, доц.
Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова
Актюбинск, Казахстан

Управление парком строительной техники традиционно сопряжено с высокой долей неконтролируемых издержек: нецелевым расходом горюче-смазочных материалов, простоями оборудования, неучтенным пробегом и отсутствием объективных данных о фактической загрузке машин.

Для региональных строительных компаний Казахстана, эксплуатирующих парк разнородной техники на территориально протяженных и удаленных объектах, вопрос внедрения телематических систем и IoT-платформ приобретает особую практическую значимость в силу ограниченности возможностей визуального контроля за эксплуатацией машин и высокой доли транспортных и топливных издержек в структуре себестоимости строительных работ.

Официальный дилер систем мониторинга Omnicomm в Казахстане (ТОО «Контроль Техники») приводит следующие обобщенные показатели эффекта внедрения телематических решений: среднее сокращение фактического пробега техники за счет установки систем мониторинга и датчиков уровня топлива, а также экономия горюче-смазочных материалов в диапазоне от 30 % до 40 %.

Другой казахстанский оператор спутникового мониторинга (point.kz) заявляет следующие усредненные показатели экономического эффекта внедрения GPS-мониторинга для парков техники: экономия топлива – до 30 %, экономия на амортизации оборудования – до 15 %, экономия на расходах, связанных с мобильной связью и диспетчеризацией, – до 50 %. Оператор StavTrack, специализирующийся на мониторинге автотранспорта и сельскохозяйственной техники, приводит сопоставимые данные: сокращение фактического пробега техники до 30 % и сокращение нецелевого использования техники до 100 % на отдельных объектах внедрения, т. е. полное устранение случаев использования техники вне рамок производственных задач.

Экономическая эффективность внедрения телематических систем для региональных строительных компаний определяется соотношением затрат на приобретение и эксплуатацию оборудования (стоимость терминалов, датчиков и абонентской платы за программную платформу, составляющей, по данным отдельных казахстанских операторов, порядка 2000 тенге в месяц на единицу техники) и величиной достигаемой экономии на топливе, пробеге и нецелевом использовании техники.

Вместе с тем следует отметить ограниченность доступной эмпирической базы: приведенные показатели экономии происходят преимущественно из материалов коммерческих операторов телематических услуг, а не из независи-

мых академических исследований эффективности внедрения на казахстанском рынке, что снижает степень их верифицируемости и требует осторожной интерпретации в качестве строгих научных данных. Это обстоятельство само по себе является значимым исследовательским наблюдением, указывающим на дефицит независимых эмпирических исследований экономической эффективности цифровизации управления парком строительной техники применительно к условиям Казахстана.

На казахстанском рынке сформирован сегмент коммерческих операторов телематического мониторинга, предлагающих типовые пилотные решения для парков строительной и специализированной техники, основанные на связке ГЛОНАСС/GPS-терминалов, датчиков уровня топлива и программных платформ учета и отчетности.

Заявляемые операторами показатели экономического эффекта внедрения телематики для парков техники варьируются в диапазоне 30 %...40 % экономии топлива, до 30 % сокращения пробега и до 100 % сокращения случаев нецелевого использования техники на отдельных зафиксированных объектах внедрения. Зафиксированный практический кейс (парк из 14 самосвалов) демонстрирует, что значимая часть экономического эффекта телематики связана не только с техническими возможностями систем, но и с дисциплинирующим воздействием осведомленности операторов техники о ведущемся мониторинге. Архитектура внедряемых в Казахстане решений преимущественно ориентирована на контроль топлива и перемещения техники, тогда как функции предиктивного технического обслуживания, характерные для передовых зарубежных телематических платформ, представлены на казахстанском рынке ограниченно.

Опыт пилотных проектов внедрения телематических систем и IoT-платформ на парках строительной техники в Казахстане свидетельствует о наличии сформированного рынка технологических решений и практически подтвержденного, хотя и преимущественно коммерчески заявляемого, экономического эффекта в части сокращения топливных издержек и нецелевого использования техники. Для региональных строительных компаний подобные решения представляют собой относительно доступный по стоимости внедрения инструмент повышения прозрачности эксплуатации парка, способный обеспечить быструю окупаемость инвестиций преимущественно за счет экономии горюче-смазочных материалов.

Дальнейшее развитие данного направления в условиях Казахстана связано с переходом от базовых функций контроля топлива и местоположения к более комплексным платформам предиктивного технического обслуживания, а также с формированием независимой академической базы данных об экономической эффективности подобных внедрений применительно к специфике региональных строительных предприятий.

УДК 69.002.5=621.31(574)

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТА И ИНФРАСТРУКТУРЫ КАЗАХСТАНА

Г. Ж. ТАХАНОВА, В. Н. КАЗАГАЧЕВ

Научный руководитель Ж. Б. ТУКАШЕВ, канд. техн. наук, доц.
Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова
Актюбинск, Казахстан

Электрификация строительной техники рассматривается в мировой практике как одно из ключевых направлений декарбонизации отрасли, обеспечивающее снижение эксплуатационных издержек на топливо и сокращение выбросов на строительных площадках.

Применительно к Казахстану указанные факторы приобретают особую значимость. Республика последние годы испытывает дефицит генерирующих мощностей, а значительная часть территории характеризуется резко континентальным климатом с продолжительными периодами отрицательных температур.

Ключевым ограничивающим фактором электрификации любых энергоёмких процессов, включая эксплуатацию строительной техники, выступает текущее состояние национальной энергосистемы. По данным Министерства энергетики Республики Казахстан, в 2025 г. дефицит электроэнергии в стране составил порядка 1,5 млрд кВт·ч, при этом выработка электростанций (123,1 млрд кВт·ч) не покрывала фактическое потребление (124,6 млрд кВт·ч). Дефицит носит преимущественно пиковый характер и покрывается плановым импортом электроэнергии из энергосистем Российской Федерации и Узбекистана. По оценке председателя правления АО «KEGOCO», в осенне-зимний период 2025–2026 гг. ежемесячный дефицит электроэнергии и мощности может достигать 330 млн кВт·ч, а суммарный дефицит за сезон – свыше 1 млрд кВт·ч.

Данное обстоятельство имеет прямое значение для планирования электрификации строительной техники. Подключение зарядной инфраструктуры для аккумуляторных машин на действующих строительных объектах представляет собой дополнительную пиковую нагрузку на распределительные сети именно в тот период суток и года, когда дефицит мощности наиболее выражен, что требует согласования графиков зарядки техники с режимами энергопотребления региона либо использования накопителей энергии и локальной генерации на самом строительном объекте.

Действующие в Казахстане правила электроснабжения строительных объектов ориентированы на традиционную структуру энергопотребления (питание от четырехпроводной сети напряжением 380 В с разделением силовых и осветительных линий) и не содержат специализированных нормативных положений о размещении и эксплуатации зарядной инфраструктуры для аккумуляторной строительной техники.

Резко континентальный климат значительной части территории Казахстана, характеризующийся продолжительными периодами отрицательных температур,

представляет собой существенный технический фактор, ограничивающий эффективность применения аккумуляторной строительной техники.

Совокупность рассмотренных факторов указывает на то, что для условий Казахстана целесообразность масштабной электрификации парка строительной техники в среднесрочной перспективе носит дифференцированный, а не универсальный характер. Применение электрической техники представляется технически и экономически обоснованным для объектов, расположенных в зонах устойчивого энергоснабжения (крупные города, объекты с достаточным резервом сетевой мощности), для видов работ, выполняемых преимущественно в теплый период года, а также для компактной техники, для которой производители уже реализуют технические решения по терморегулированию аккумуляторов.

Электрификация парка строительной техники в Казахстане сталкивается с системным ограничением на уровне национальной энергосистемы: фиксируемый в 2025–2026 гг. пиковый дефицит электроэнергии и мощности снижает практическую готовность энергосетей к принятию дополнительной нагрузки от зарядной инфраструктуры строительных объектов.

Нормативно-техническая база электроснабжения строительных объектов Казахстана не содержит специализированных положений о размещении зарядной инфраструктуры для аккумуляторной техники, а процедуры подключения подобного оборудования требуют отдельного согласования с сетевыми организациями по аналогии с зарядными станциями для электромобилей.

Климатические условия значительной части территории Казахстана оказывают существенное негативное влияние на производительность аккумуляторной строительной техники. По данным зарубежных испытаний, сокращение времени автономной работы при отрицательных температурах может достигать 50 %, а емкость литий-ионных батарей при -20°C снижается до 75 % от номинальной.

Целесообразность перехода на электрические строительные машины в условиях Казахстана носит дифференцированный характер и зависит от региона эксплуатации, сезонности работ и доступности резервов сетевой мощности, а не является универсально обоснованным решением для всех сегментов строительной отрасли.

Проведенный анализ показывает, что перспективы электрификации строительной техники в Казахстане в среднесрочной перспективе ограничены сочетанием двух объективных факторов регионального характера – дефицитом электрогенерирующих мощностей национальной энергосистемы и особенностями континентального климата, снижающими эффективность аккумуляторных технологий в зимний период эксплуатации.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на количественную оценку совокупной стоимости владения электрической строительной техникой применительно к казахстанским климатическим и тарифным условиям, а также на изучение применимости зарубежных технических решений по терморегулированию аккумуляторов для отечественного парка техники.

УДК 628.18

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

М. Р. УЛЬЯНОВ

Научный руководитель М. С. КОЛДИН, канд. техн. наук, доц.
Мичуринский государственный аграрный университет
Мичуринск, Россия

Понятие эксплуатации транспортных средств (ТС) представляет собой совокупность процессов использования, технического обслуживания, диагностики, ремонта и управления парком на протяжении всего жизненного цикла. В последние годы подходы к эксплуатации транспорта стремительно меняются из-за цифровизации: техника и ее элементы получают множество датчиков, электронных блоков и программных функций, а данные об их состоянии становятся доступными в режиме реального времени.

Инновационные технологии в эксплуатации ТС направлены на достижение трёх ключевых целей: повышение безопасности, снижение совокупной стоимости владения и уменьшение экологического воздействия. Для предприятий, использующих корпоративные автопарки, инновации также означают сокращение простоев, повышение управляемости и прозрачности расходов.

В области цифровизации транспортной инфраструктуры сегодня все больше имеют развитие телематические и интеллектуальные системы, применяемые на современной технике различного назначения.

Современные транспортные средства оснащаются электронными блоками управления (ECU), объединёнными сетями обмена данными (CAN/LIN/FlexRay, а в новых моделях – Automotive Ethernet). Это позволяет фиксировать параметры двигателя, трансмиссии, тормозной системы, электропитания и вспомогательных агрегатов. Увеличение доли электроники делает эксплуатацию автомобилей и других видов транспорта более «управляемой».

Телематические системы объединяют навигацию (GPS/ГЛОНАСС), связь (сотовые сети/IoT-каналы), бортовые датчики и программные платформы для удалённого мониторинга (рис. 1).

В эксплуатационных задачах телематика решает следующие вопросы: контроль пробега и маршрутов, мониторинг расхода топлива, регистрацию режимов работы, контроль простоев, учёт нарушений (резкие ускорения/торможения), а также сбор событий по диагностическим кодам (DTC).

Одним из элементов инновационного подхода в транспортной сфере являются автомобили с программным управлением и поддержка ОТА-обновлений.

В последние годы автомобиль всё чаще рассматривают как программно-определяемую платформу: многие его функции реализуются программным обеспечением и могут обновляться удалённо (ОТА). И речь не только о

мультимедиа. Так меняют и системы помощи водителю, и алгоритмы управления зарядом батареи, и способы экономии топлива, и логику диагностики, и работу различных агрегатов.

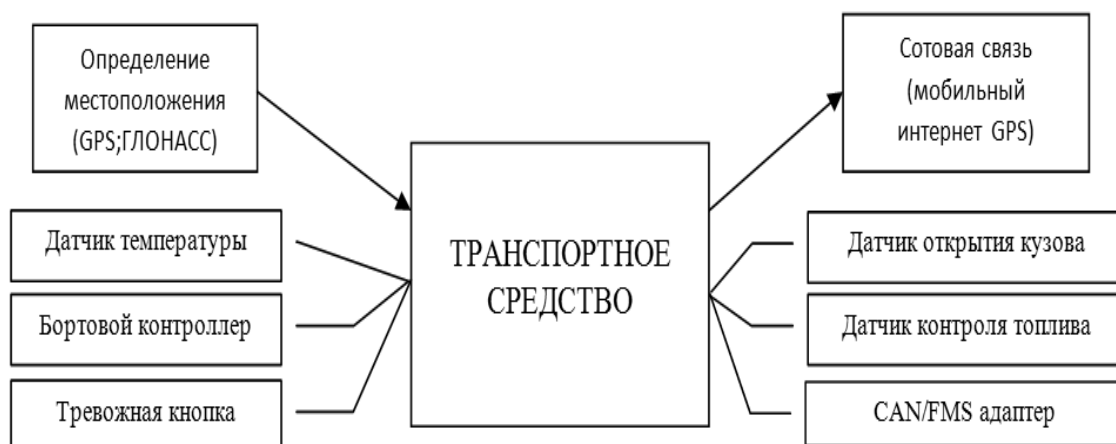


Рис. 1. Схема работы системы GPS/ГЛОНАСС мониторинга транспорта

Практическая задача – обеспечить наличие регламента управления программными версиями. Это позволит системно решать следующие вопросы: регистрировать изменения, анализировать связанные риски, составлять план обновлений с разбивкой по группам технических средств, а после установки – организовывать контрольные проверки (в том числе сверку с датчиками и поиск новых ошибок).

В области безопасности эксплуатации транспорта широко применяются ADAS-инновации, которые значительно повышают ее уровень.

К таким инновациям относятся следующие системы: адаптивный круиз-контроль, удержание в полосе, автоматическое экстренное торможение, контроль слепых зон, предупреждение о столкновении, распознавание знаков и пешеходов.

ADAS опирается на камеры, радары, ультразвуковые датчики и (в отдельных решениях) лидары. В эксплуатации это создаёт новую группу работ: калибровка датчиков после ремонта кузова и подвески, проверка геометрии, контроль чистоты оптики, корректная замена лобового стекла, диагностика электронных блоков.

Для автопарков ADAS важны ещё и как инструмент снижения страховых случаев и ДТП. Многие телематические платформы дополняют ADAS-эффект анализом манеры вождения и обучением водителей, формируя систему управления рисками (Safety Management) на базе данных.

В итоге мы видим, что развитие транспортной отрасли предполагает увеличение программных функций, расширение OTA-обновлений и интеграцию с интеллектуальной инфраструктурой, что повышает требования к кибербезопасности. В связи с этим эксплуатационным специалистам необходимо развивать навыки в механике, электронике, диагностике, работе с данными и цифровыми сервисами.

УДК 004.8

НАУЧНОЕ СРАВНЕНИЕ ПАТОЛОГИИ И НОРМЫ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ОСТЕОХОНДРОЗА ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

М. В. АЛЕКСЕЙКОВ

Научный руководитель Е. М. БОРЧИК, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев Беларусь

В процессе исследования пациентов поликлиники для раннего выявления наличия или отсутствия патологий позвоночника выполнены рентгеновские снимки, по которым с привлечением эксперта поликлиники сняты межпозвонковые расстояния z_1, z_2, z_3, z_4 . Для диагностики наличия либо отсутствия патологии по нормированным межпозвонковым расстояниям введены в рассмотрение евклидова метрика $Eukl(z_1, z_2, z_3, z_4)$, нейрон-детектор тренда $Neur(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, z_1, z_2, z_3, z_4)$ [1], $\omega_i, z_i \in R$, $\omega_i = \text{const}$, $z_i, |\omega_i| \in (0,1)$ и композитная метрика $Metric(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, z_1, z_2, z_3, z_4) = Metric(Eukl(z_1, z_2, z_3, z_4), Neur(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, z_1, z_2, z_3, z_4))$, что позволяет классифицировать состояние пациента как патологию, норму или пограничный случай в зависимости от значения $Metric(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, z_1, z_2, z_3, z_4)$ ($< 0, = 0, > 0$) относительно заданного порога ε соответственно. Разработана интерактивная демонстрационная модель [2], позволяющая специалисту поликлиники вводить исходные межпозвонковые расстояния, автоматически нормировать их, вычислять значение композитной метрики $Metric(Eukl, Neur)$ с возможностью корректировки весовых коэффициентов $|\omega_i| \in (0,1)$, $\sum \omega_i = 0$, $i = 1, \dots, 4$, задания порога ε в диапазоне $(0,05, 0,2)$. Модель визуализирует результат и выдает предварительный диагноз (рис. 1).

Определение остеохондроза
ПОЯСНИЧНЫЙ ОТДЕЛ • КОМПОЗИТНАЯ МЕТРИКА ПО МЕЖПОЗВОНКОВЫМ РАССТОЯНИЯМ

Расстояния $z_1 - z_4$
Нормированные (0-1) | Натуральные (мм)

z_1 (L1-L2): 0,72 | норм.

z_2 (L2-L3): 0,65 | норм.

z_3 (L3-L4): 0,45 | норм.

z_4 (L4-L5): 0,30 | норм.

Схема снимка

Метрика и диагноз
КОЭФФИЦИЕНТЫ $W_1 - W_4$
 $W_1: -0,35$ | $W_2: -0,10$ | $W_3: +0,18$ | $W_4: +0,27$

Пересчитать веса

ЗНАЧЕНИЕ МЕТРИКИ
-0.17214

ПОРОГ ε (ПОГРАНИЧНАЯ ЗОНА)
0.040

ДИАГНОЗ
ПАТОЛОГИЯ: ОСТЕОХОНДРОЗ

Интерпретация:
• $Metric < -\varepsilon \rightarrow$ Патология (остеохондроз)
• $Metric > +\varepsilon \rightarrow$ Норма
• $|Metric| \leq \varepsilon \rightarrow$ Пограничный случай

Рис. 1. Демонстрационная модель «Определение остеохондроза. Поясничный отдел. Композитная метрика по межпозвонковым расстояниям»

Для анализа групп пациентов с наличием и отсутствием патологии создано веб-приложение [3], поддерживающее загрузку данных из Excel (два файла со структурой столбцов, соответствующих нормированным измерениям межпозвонковых расстояний z_1, z_2, z_3, z_4), построение кривых Пирсона для каждой одномерной выборки $z_i, i = 1, \dots, 4$, каждой из групп (патология и ее отсутствие), проверку соответствия распределений по комплексу статистических критериев χ^2 Пирсона, λ Колмогорова – Смирнова, ω^2 Мизеса, а также кластеризацию методами Fuzzy C-Means и FRC для исключения выбросов. Приложение позволяет сравнивать группы с патологией и без нее по всем трем метрикам (*Eukl*, *Neur*, *Metric*), строить совмещенные графики плотностей распределения (для $z_i, i = 1, \dots, 4$, попарно по группам с наличием и отсутствием патологии, для трех метрик (рис. 2)) и вычислять статистические показатели (табл. 1).

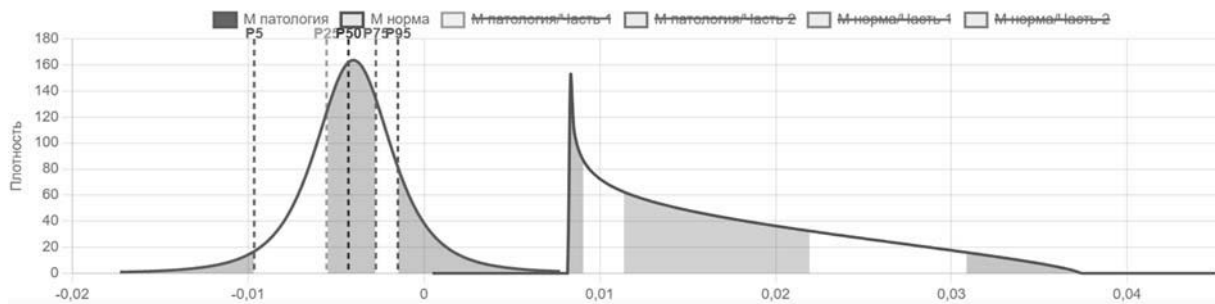


Рис. 2. Графики плотностей распределения композитной метрики *Metric* (*Eukl* (z_1, z_2, z_3, z_4), *Neur* ($\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, z_1, z_2, z_3, z_4$)) для кластеров с патологией и ее отсутствием

Табл. 1. Научное сравнение патологии и нормы

Показатель	<i>Eukl</i> (пат.)	<i>Eukl</i> (норма)	<i>Neur</i> (пат.)	<i>Neur</i> (норма)	<i>Metric</i> (пат.)	<i>Metric</i> (норма)
Тип кривой Пирсона	Type I	Type I	Type IV	Type I	Type IV	Type I
$\Delta\mu$ (разность средних)	-0,264		-0,013		-0,022	
d Козна, $ d \geq 0,8$ – большой эффект	-3,944		-3,368		-3,466	
t -тест	$p < 0,001$ – значимо		$p < 0,001$ – значимо		$p < 0,001$ – значимо	

В табл. 1 приведены результаты сравнения групп: тип кривой Пирсона, разность средних $\Delta\mu$, коэффициент Козна d и уровень значимости t -теста. Для всех метрик получены отрицательные значения $\Delta\mu$, высокие абсолютные значения d ($\geq 3,36$) и $p < 0,001$, что свидетельствует о статистически значимом различии между группами и подтверждает диагностическую ценность предложенного подхода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение комплекса математических методов для диагностики дегенеративно-дистрофических изменений поясничного отдела позвоночника / Е. М. Борчик, Д. А. Якимов, А. Ю. Власова [и др.] // Проблемы физики, математики и техники. Серия: Информатика. – 2025. – № 4 (65). – С. 108–114.
2. Определение остеохондроза. Поясничный отдел. Композитная метрика по межпозвонковым расстояниям : демонстрационная модель. – URL: <https://p.mypages.gildiya7.ru/page-b8799f11/> (дата обращения: 04.09.2026).
3. Веб-приложение для совместного анализа групп пациентов с патологией и нормой. – URL: <https://p.mypages.gildiya7.ru/page-71b67cd8/> (дата обращения: 04.09.2026).

УДК 004

О ПРИМЕНЕНИИ АНАЛИЗА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ОСТЕОХОНДРОЗА

М. В. АЛЕКСЕЙКОВ

Научный руководитель Е. М. БОРЧИК, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Имеются вектор диагностических параметров (1) и две калибровочные модели состояния позвоночника (2) и (3).

$$\vec{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4); \quad (1)$$

$$\vec{a} = (0,80, 0,84, 0,94, 0,92); \quad (2)$$

$$\vec{b} = (0,73, 0,93, 0,62, 0,64). \quad (3)$$

Пусть заданы метрики вида нейрон-детектор тренда (4) и евклидова метрика (5).

$$F(\vec{x}, \vec{w}) = \sum_{i=1}^4 w_i x_i, \vec{w} = (w_1, w_2, w_3, w_4), \sum w_i = 0, w_i \in (0;1), i = 1, \dots, 4; \quad (4)$$

$$G(\vec{x}) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 x_i^2}. \quad (5)$$

Введём понятие чувствительности (6) и (7) по метрикам (4) и (5) соответственно. Также обозначим общую чувствительность по метрикам (6) и (7) через Q_i .

$$S_i^F = \left| \frac{\Delta F_i}{\Delta x_i} \right| \cdot 100 \%, \Delta x_i = a_i - b_i; \quad (6)$$

$$S_i^G = \left| \frac{\Delta G_i}{\Delta x_i} \right| \cdot 100 \%, \Delta x_i = a_i - b_i; \quad (7)$$

$$Q_i = \sqrt{(S_i^F)^2 + (S_i^G)^2}. \quad (8)$$

Формируем три кластера векторов весов согласно (9). Генерация чисел происходит псевдослучайно с последующей балансировкой для соблюдения условия нулевой суммы (4). Процедура математического моделирования предусматривает нахождение полного спектра расчётных параметров, описываемых соотношениями (6)–(8), в отношении к векторам весовых коэффициентов в количестве (10).

$$w_1 < 0, w_2, w_3, w_4 > 0; w_1, w_2 < 0, w_3, w_4 > 0; w_1, w_2, w_3 < 0, w_4 > 0; \quad (9)$$

$$N = 50. \quad (10)$$

В целях получения легко интерпретируемых результатов моделирования вводится ограничение в виде порога (11) и показателя статистической весомости (12), а также вычисляемый показатель, отражающий степень воспроизводимости или чувствительности эксперимента, (13).

$$P_0 = 50 \% ; \quad (11)$$

$$I(P) = \begin{cases} 1, P > 50; \\ 0, P \leq 50; \end{cases} \quad (12)$$

$$RI(P) = \frac{\sum_{k=1}^N I(P_k)}{N} \cdot 100 \% . \quad (13)$$

Всесторонний анализ синтезированного математического аппарата [1] дает возможность оценить прогностическую ценность исходных параметров, а также определить среди них ключевые маркёры, критически важные для ранней диагностики остеохондроза [2]. Наиболее чувствительный признак является наиболее диагностически значимым. Как показывают графические зависимости, приведенные на рис. 1 [3], величина третьего межпозвонкового интервала обладает второстепенным диагностическим значением в процессах подтверждения наличия либо отсутствия патологии. Данная закономерность устойчива при варьировании ε . Ранжирование диагностических критериев при $\varepsilon = 10 \%$: x_1, x_2, x_4, x_3 .

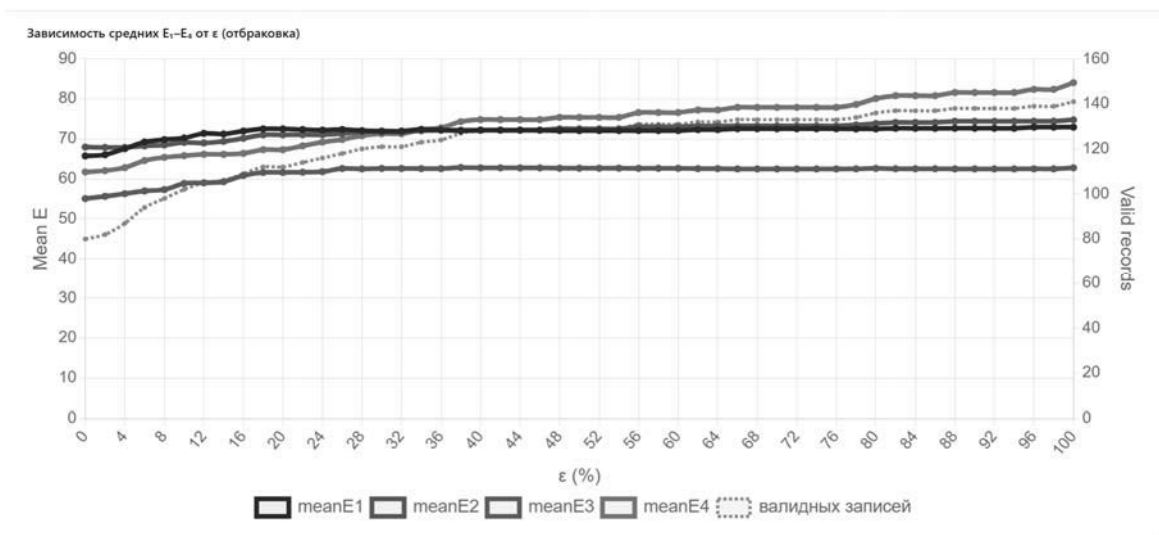


Рис. 1. Графики зависимости средних показателей суммарной чувствительности $RI(P)$ от уровня отсева весов (процедура селекции весовых множителей опирается на их чувствительность, верхняя граница которой специфична для каждой метрики и обусловлена параметром ε)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Максимей, И. В.** Имитационное моделирование на ЭВМ / И. В. Максимей. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.
2. Применение комплекса математических методов для диагностики дегенеративно-дистрофических изменений поясничного отдела позвоночника / Е. М. Борчик, Д. А. Якимов, А. Ю. Влагова [и др.] // Проблемы физики, математики и техники. Серия: Информатика. – 2025. – № 4 (65). – С. 108–114.
3. Определение остеохондроза. Поясничный отдел. Композитная метрика по межпозвонковым расстояниям: демонстрационная модель. – URL: <https://p.mypages.gildiya7.ru/page-b8799f11/> (дата обращения: 06.09.2026).

УДК 004.932.2

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ВИДЕОКЛАССИФИКАЦИЯ НЕБЕЗОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИТУАЦИЙ

А. А. АРХИПОВ, М. А. ДУДИН, И. И. МАКСИМОВ

Научный руководитель А. Д. ОБУХОВ, д-р техн. наук, проф.

Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

Распознавание нарушений промышленной безопасности требует учитывать позу человека, состояние оборудования, разметку прохода и развитие действия во времени [1, 2]. Покадровая классификация теряет временной контекст, а малый несбалансированный датасет повышает вероятность переобучения. Целью эксперимента являлась разработка модели, одновременно определяющей ситуацию, её семейство и бинарный признак безопасности.

В качестве основы выбран VideoMAE Base, предварительно обученный на Kinetics [2]. Модель получает 16 равномерно выбранных RGB-кадров полного плана размером 224×224 . Сохранение полного кадра принципиально важно: классы открытой панели, нарушения маршрута и перегрузки погрузчика различаются по контексту, который может отсутствовать в стор человека. Усреднённое представление backbone поступает в три классификационные головы: восемь исходных классов, четыре семейства ситуаций и два класса safe/unsafe.

Таксономия образована четырьмя парами: безопасный маршрут и его нарушение; разрешённое и несанкционированное вмешательство; закрытая и открытая панель; безопасная транспортировка и перегрузка погрузчика. Функция потерь объединяет cross-entropy детальной головы с весом 1,0, семейства – 0,35, безопасности – 0,45 и KL-согласованность – 0,15. Дисбаланс компенсируют взвешенная выборка, веса классов и focal-множитель [3].

Датасет содержит 691 клип: 566 в обучающей и 125 в независимой тестовой части. Число примеров класса изменяется от 30 до 210. Из train стратифицированно выделено 15 % для validation. Официальный test не участвовал в подборе параметров. Обучение проводилось на CUDA 25 эпох с early stopping по macro F1. Batch size равен 4, gradient accumulation – 4, learning rate backbone – $3 \cdot 10^{-6}$, голов – $5 \cdot 10^{-5}$. Использовались BF16, AdamW, focal gamma 1,5 и label smoothing 0,03 (табл. 1).

Табл. 1. Результаты оценки иерархической VideoMAE

Метрика	Значение
Лучшая validation macro F1	0,652
Test macro F1	0,643
Test balanced accuracy	0,665
Unsafe recall	0,875
Unsafe precision	0,727

Наибольший F1 получен для безопасной транспортировки и перегрузки погрузчика – 1,0 при восьми тестовых примерах каждого класса. Для нарушения маршрута F1 составил 0,655, для несанкционированного вмешательства – 0,552. Наиболее сложны разрешенное вмешательство (0,455) и безопасный маршрут (0,400), что объясняется малым числом примеров и сходством парных ситуаций.

Значение unsafe recall 0,875 показывает, что модель обнаруживает основную часть небезопасных клипов. Для системы охраны труда эта характеристика приоритетнее общей точности. Unsafe precision 0,727 указывает на наличие ложных тревог, которые в разработанной системе компенсируются независимыми правилами, дополнительной VLM-проверкой evidence-кадра и решением оператора. В online-контур экспортирована лучшая одиночная модель. Прогноз выполняется по скользящему окну из 16 кадров с задаваемым шагом и порогами confidence 0,55 и unsafe probability 0,5.

Эксперимент подтвердил применимость иерархической VideoMAE к малому промышленному датасету. Дальнейшее повышение качества связано с пополнением редких классов, grouped-разбиением по эпизодам, hard-negative mining и калибровкой unsafe-порога. Для промышленного исполнения целесообразны экспорт в ONNX/TensorRT и оценка задержки на целевом оборудовании.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Тамбовской области в рамках проекта № МУ2025-02/23 областного конкурса «Гранты для поддержки прикладных научных исследований молодых учёных в 2025 году».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Николюкин, М. С.** Применение компьютерного зрения для мониторинга и анализа процессов на промышленных объектах / М. С. Николюкин, Н. С. Недосып, А. Е. Архипов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–22 окт. 2024 г. – Тамбов: Тамбов. гос. техн. ун-т, 2024. – С. 249–251.
2. **Круглов, В. С.** Разработка мультиплатформенной системы классификации упражнений для опорно-двигательной реабилитации / В. С. Круглов, Ю. В. Никитников, А. Д. Обухов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 10–12 нояб. 2025 г. – Тамбов : Тамбов. гос. техн. ун-т, 2025. – С. 160–162.
3. VideoMAE: Masked Autoencoders are Data-Efficient Learners for Self-Supervised Video Pre-Training / Z. Tong, Y. Song, J. Wang, L. Wang // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2022. – Vol. 35. – P. 10078–10093.
4. Focal Loss for Dense Object Detection / T.-Y. Lin, P. Goyal, R. Girshick [et al.] // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. – 2017. – P. 2980–2988.

УДК 504.064:004.8

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПФАС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

А. С. БАЗУЕВ, В. И. НОВИКОВА

Научный руководитель М. В. ГОНЧАРОВ, канд. техн. наук, доц.
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Пер- и полифторалкильные вещества (ПФАС) – это большая группа синтетических фторированных органических соединений, обладающих поверхностно-активными свойствами [1]. Поэтому ПФАС широко применяются в промышленности и для товаров массового потребления: чистящие средства, средства для пропитки тканей, окраски и защиты поверхностей [1]. ПФАС также являются и причиной экологической опасности: отмечается, что соединения очень устойчивы в окружающей среде и не поддаются разрушению [2]. Также некоторые соединения в ПФАС являются летучими, что способствует большому радиусу загрязнения от источника выброса.

Длительное воздействие таких соединений потенциально опасно для здоровья. Так, например, отмечалось, что ПФАС могут воздействовать негативно на эндокринную и репродуктивную системы, щитовидную железу и т. д. [1]. Одной из проблем экологического контроля является разнообразие соединений данной группы. ПФАС обладают длинной углеродной цепью и изомерией. Поэтому основная задача экологического контроля – выявление различных представителей группы ПФАС и оценивание возможной опасности соединений.

Машинное обучение (ML) – это активно развивающееся направление, которое облегчает работу в различных отраслях за счет автоматизированной обработки больших объемов данных, выявления закономерностей и прогнозирования свойств объектов исследования. В экологическом мониторинге такие методы могут применяться для анализа данных о загрязняющих веществах и оценки их потенциальной опасности. Так, например, в статье 2026 г. были проанализированы 267 соединений ПФАС. Для испытания были использованы 6 разных моделей. Основная задача была понять, какая модель покажет лучший результат при условии сложных и нелинейных зависимостей. В ходе эксперимента было выявлено, что модель RANDOM FOREST показала лучший результат: на тестовой выборке $R^2 = 0,7788$, где R^2 – это коэффициент детерминации, метрика того, насколько хорошо модель объясняет реальные данные [3]. Предполагаем, что RANDOM FOREST показала более стабильные результаты относительно других моделей за счет своей особенности: модель строит множество деревьев решений и объединяет их результаты. Однако стоит здесь уточнить ограничения: в статье авторы отмечали, что из-за недостатка данных и малого разнообразия исследованных молекул необходимо полученные данные экспериментально проверить.

Исходя из иностранных источников, машинное обучение активно внедряется для анализа и экологического мониторинга ПФАС. При отборе и анализе источников по данной теме можно сделать вывод о том, что алгоритмы МЛ используются не только для предварительного скрининга, но и для ранжирования соединений по степени потенциальной опасности, прогнозируя токсичность, сорбции и миграцию в окружающей среде [4].

При этом эффективность таких моделей во многом зависит от состава исходных данных и условий, для которых они были разработаны. Поэтому при практическом применении подобных подходов на территории России необходимо учитывать разнообразие почв и возможность адаптации такого подхода к региональным условиям.

В рамках данной статьи была сформирована общая концепция локальной модели прогнозирования миграции ПФАС вблизи промышленного предприятия в г. Смоленске.

В Смоленске преобладают дерново-подзолистые почвы супесчаного и суглинистого типов. Также стоит отметить, что почвы имеют повышенную кислотность, что влияет на миграцию ПФАС – ускоренное вымывание в грунтовые воды из-за сорбции [5]. Однако это не является исчерпывающим для списков входных данных. Для построения модели, помимо свойств почв, нужно учитывать климатические условия, конкретный ПФАС исходя из промышленного предприятия, рельефа территории, количества осадков, направления поверхностного стока и глубины залегания грунтовых вод. Результатом работы модели будет являться карта зон накопления и миграции ПФАС.

В заключение стоит отметить, что внедрение машинного обучения в мониторинге ПФАС в России находится на начальной стадии. Однако это направление является перспективным. Важно отметить, что особый интерес представляет локальная модель, которая учитывает все экологические особенности региона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химическая безопасность : [сайт] / НИАЦ РПОХБВ ФБУН «ФНЦГ им. Ф. Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора.
2. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) : информационный бюллетень, май 2024 г. / State Water Resources Control Board, Division of Drinking Water (California).
3. Machine learning-driven quantitative modeling and mechanistic interpretation of per and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) toxicity / C. Ye, H. Liu, J. Liu [et al.] // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2026. – Vol. 14. – P. 121063.
4. Global prioritization of PFAS in groundwater based on multi-scale evaluation of national and source-level data / Y. Zhou, J. Tao, W. Tang [et al.] // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2026. – Vol. 14. – P. 124712.
5. Effect of pH, surface charge and soil properties on the solid–solution partitioning of perfluoroalkyl substances (PFASs) in a wide range of temperate soils / H. Campos-Pereira, D. B. Kleja, L. Ahrens [et al.] // Chemosphere. – 2023. – Vol. 321. – P. 138133.

УДК 616.28-07:004.85

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОТИТА ПРИ ПОМОЩИ МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОСТНО-ВОЗДУШНОГО ИНТЕРВАЛА И ТИПА ТИМПАНОГРАММЫ

Г. С. БЕЛЯСОВ, А. С. ДАНИЛЕНКО
Научный руководитель Н. В. ВЫГОВСКАЯ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Воспалительные заболевания уха, в частности отит, остаются широко распространенной медицинской проблемой, способной привести к стойкому снижению слуха при несвоевременной диагностике. Традиционно для точного выявления патологии врачи оценивают такие параметры, как костно-воздушный интервал и тип тимпанограммы, однако этот процесс требует времени и во многом зависит от индивидуального опыта специалиста.

В данной работе предлагается современное решение в виде интеллектуальной веб-системы на базе алгоритмов машинного обучения [1], которая мгновенно анализирует результаты обследования и предоставляет врачу обоснованное «второе мнение». Ключевой особенностью разработанного комплекса является механизм непрерывного автоматического дообучения модели на новых подтвержденных клинических случаях, что позволяет минимизировать риск врачебной ошибки и сделать качественную диагностику более быстрой и объективной.

Разработка интерфейса (рис. 1) осуществлена с использованием библиотеки React, а серверная логика и процесс обучения классификационной модели «случайный лес» реализованы на языке Python [2]. Врач вводит в систему результаты обследования пациента: костно-воздушный интервал и тип тимпанограммы. Серверная часть обрабатывает эти показатели с помощью алгоритма машинного обучения «случайный лес», который сравнивает их со структурированной базой клинических случаев. На выходе программа мгновенно выдает предварительный диагноз (наличие отита или норма), процент уверенности модели и готовый черновик медицинского заключения. Как только врач подтверждает итоговый диагноз, система автоматически сохраняет новый случай в базу данных и переобучает алгоритм в режиме реального времени, постоянно повышая точность будущих прогнозов.

В данном проекте был использован датасет Otitis Media с публичного источника Kaggle. Каждая запись отражает обследования пациента. Набор данных включает записи обследований пациентов, описывающие возраст и пол пациента, а также результаты диагностики. С этой целью снималась тимпанограмма и классифицировалась по типам: тип А – норма, тип В – наличие жидкости за перепонкой, тип С – сильное отрицательное давление. Также учитываются в этом датасете костно-воздушный интервал, измеряющийся в децибелах, гласный звук (/a:/, /e:/, /i:/, /o:/, /u:/), который пациент произносил в

микрофон во время обследования, расположение микрофонов при записи (right, left) и нормализованная спектрограмма.

The screenshot shows a web application titled "Медицинская система" (Medical System) with a sub-header "Доктор: 11". At the top right, there are three buttons: "Ввод данных о больном" (Enter patient data), "История приема больных" (Patient history), and "Выйти" (Logout). The main content area is titled "Ввод данных о пациенте" (Enter patient data) and contains several form fields:

- ФИО больного *** (Patient's full name *): A text input field with the placeholder "Введите полное имя пациента".
- Возраст *** (Age *): A text input field with the placeholder "Полных лет".
- Пол** (Gender): A dropdown menu with "Мужской" (Male) selected.
- Air-Bone Gap (dB HL)**: A text input field with the placeholder "Костно-воздушный интервал".
- Тип тимпанограммы** (Type of tympanogram): A dropdown menu with "Тип А - идеальная норма" (Type A - ideal norm) selected.
- Еар (Обследуемое ухо)** (Ear (Examined ear)): A dropdown menu with "Левое ухо" (Left ear) selected.

At the bottom of the form is a button labeled "Вывести результат обследования" (Output examination result).

Рис. 1. Интерфейс программы

Актуальность работы определяется необходимостью повышения объективности и скорости диагностики отита на фоне высокой распространенности заболевания и субъективности традиционных методов. Предложенная интеллектуальная система на базе машинного обучения с механизмом непрерывного дообучения позволяет минимизировать риск врачебной ошибки, адаптироваться к новым клиническим данным и предоставлять врачу обоснованное мнение в реальном времени. Разработанный подход способствует повышению качества диагностики в условиях дефицита узких специалистов и может быть интегрирован в существующие клинические информационные системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тополь, Э.** Искусственный интеллект в медицине : пер. с англ. / Э. Тополь. – М. : Альпина Паблишер, 2020. – 532 с.
2. **Рашка, С.** Python и машинное обучение / С. Рашка, В. Мирджалили. – М. : Диалектика, 2023. – 420 с.

УДК 004.89

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ БЕГОВОЙ ДОРОЖКИ НА СИММЕТРИЮ ПОХОДКИ

А. А. БОЖИЙ, Д. В. ТЕСЕЛКИН, М. А. ДУДИН

Научный руководитель А. Д. ОБУХОВ, д-р техн. наук, проф.

Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

Анализ симметрии походки является важным направлением биомеханической оценки двигательной функции человека. Значения показателей симметрии могут зависеть как от скорости ходьбы, так и от используемого способа их расчета [1]. При изменении скорости движения изменяются пространственно-временные характеристики шага и характер переноса веса между конечностями. Поэтому оценка симметрии походки должна выполняться с учетом скоростного режима движения.

Целью работы являлась оценка влияния скорости движения беговой дорожки на показатели симметрии походки у здоровых испытуемых. Программно-аппаратные тренировочные комплексы позволяют адаптировать параметры проведения упражнений к физическим и физиологическим характеристикам пользователя [2]. В исследовании приняли участие шесть здоровых испытуемых в возрасте от 20 до 30 лет. Эксперимент проводился на беговой дорожке при 12 скоростях от 0,1 до 5,0 км/ч. Регистрация параметров выполнялась с использованием тензодатчиков. При анализе походки в реабилитационных устройствах могут использоваться математические модели и биомеханические параметры, характеризующие движение нижних конечностей [3]. В данном исследовании рассчитывались длина левого и правого шага, индекс асимметрии, распределение нагрузки, коэффициент вариации и интегральный показатель «бабочка», отражающий траекторию центра давления.

Индекс асимметрии длины шага рассчитывался по формуле

$$ASI_{step} = \frac{|Rstep - Lstep|}{(Rstep + Lstep) / 2} \cdot 100, \quad (1)$$

где $Rstep$ – длина правого шага; $Lstep$ – длина левого шага.

Значение 0 % соответствует полной симметрии, а увеличение показателя отражает рост различий между правым и левым шагом. Для оценки вариабельности использовался коэффициент вариации, рассчитываемый как отношение стандартного отклонения к среднему значению и выражаемый в процентах. Статистическая обработка включала дисперсионный анализ ANOVA и линейную регрессию зависимости асимметрии от скорости.

Основной результат исследования представлен на рис. 1 зависимости индекса асимметрии от скорости движения дорожки.

Наибольшее среднее значение асимметрии наблюдалось при скорости 0,1 км/ч и составило $(20,92 \pm 22,62)$ %. Высокая вариабельность на минимальной скорости связана с малой длиной шага: даже небольшая

абсолютная разница между левым и правым шагом приводит к высокому относительному проценту асимметрии.

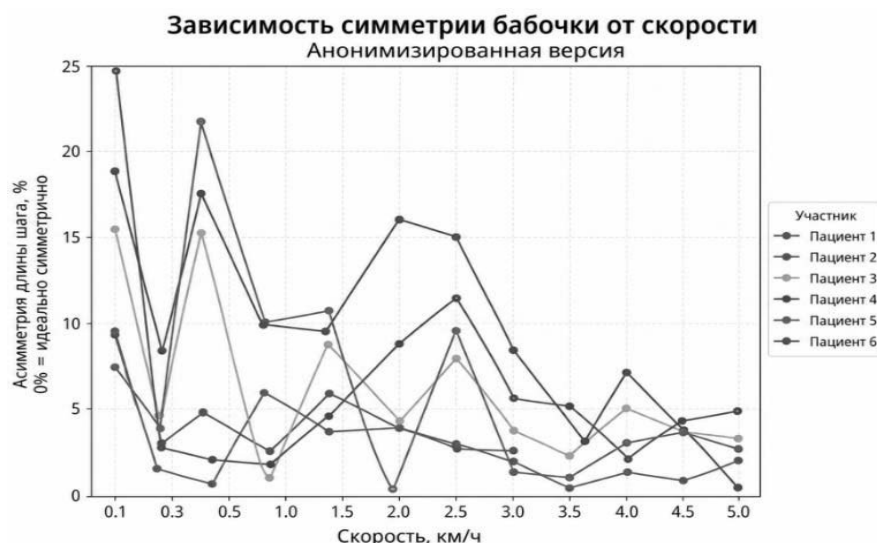


Рис. 1. Зависимость индекса асимметрии длины шага от скорости движения беговой дорожки

В диапазоне от 1 до 5 км/ч средняя длина шага увеличивалась с 0,310 до 0,692 м, однако индекс асимметрии имел тенденцию к снижению. Статистическая обработка показала значимое влияние скорости на индекс асимметрии: $F(11,60) = 2,562$, $p = 0,0106$, $\eta^2 = 0,335$. Регрессионный анализ выявил отрицательную связь между скоростью и асимметрией: $\beta = -1,95 \text{ \% км/ч}$, $R^2 = 0,126$, $p = 0,0030$.

Таким образом, скорость движения беговой дорожки существенно влияет на показатели симметрии походки. На минимальных скоростях индекс асимметрии может быть завышен из-за малой длины шага и нестабильного переноса веса. На скоростях от 1 км/ч оценка симметрии становится более надежной.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Разработка адаптивных реабилитационных систем для лечения когнитивных, моторных и сенсорных нарушений и патологий» (FEMU-2026-0002).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Rimini, D.** Walking symmetry is speed and index dependent / D. Rimini, V. Agostini, M. Knaflitz // *Gait & Posture*. – 2024. – Vol. 112. – P. 168–174.
2. Modeling of the learning process in adaptive training complexes / M. N. Krasnyanskiy, A. D. Obukhov, D. L. Dedov, A. A. Siukhin // *Journal of Applied Engineering Science*. – 2018. – Vol. 16, № 4. – P. 487–493.
3. **Волков, А. А.** Разработка алгоритмического и программного обеспечения модулей сбора и обработки данных для системы опорно-двигательной реабилитации / А. А. Волков // *Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 10–12 нояб. 2025 г.* – Тамбов : Тамбов. гос. техн. ун-т, 2025. – С. 237–240.

АЛГОРИТМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ПОХОДКИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ MEDIAPIPE

А. А. БОЖИЙ, М. А. ШИЛЬЦЫН, Д. Е. ПОГОНИНА

Научный руководитель А. Д. ОБУХОВ, д-р техн. наук, проф.

Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

Оценка асимметрии походки позволяет выявлять различия между движением левой и правой стороны тела. Компьютерное зрение и методы машинного обучения применяются для анализа реабилитационных упражнений, распознавания движений человека и управления адаптивными тренировочными комплексами [1]. В данной работе аналитический алгоритм IGAS используется для обработки трехмерных координат ключевых точек тела человека и расчета биомеханических параметров походки [2].

Алгоритм определяет длину шага, время опоры, углы суставов, амплитуду движений и скорость стоп. На основе этих параметров рассчитывается интегральный индекс асимметрии IGAS. Классификация выполняется с использованием адаптивных порогов, рассчитанных по записям нормальной походки. Общая последовательность этапов аналитического алгоритма представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема работы аналитического алгоритма IGAS

Входными данными являются трехмерные координаты ключевых точек тела человека [3]. На начальном этапе выполняются загрузка параметров, поиск

файлов, проверка структуры датасета и разделение записей на тренировочные и проверочные в соотношении 70/30.

Далее каждая запись проходит предварительную обработку. Проверяется наличие необходимых ключевых точек. Записи разделялись на временные окна длительностью 5 с с шагом 2,5 с. Для каждого окна рассчитываются биомеханические параметры походки: длина шага, время опоры, углы суставов, амплитуда движений суставов, подъем и скорость стоп.

На основе рассчитанных параметров определяются показатели асимметрии и интегральный индекс IGAS. Значения по окнам агрегируются на уровне целой записи. Адаптивные пороги рассчитываются только по записям нормальной походки из обучающей выборки.

Классификация выполняется по превышению порогов. Если IGAS или несколько ключевых метрик превышают свои пороги, запись относится к классу нарушенной походки, иначе – к классу нормальной походки. Качество алгоритма оценивалось на тестовой выборке с использованием общей точности, сбалансированной точности, точности положительного прогноза, чувствительности и F1-меры. Метрики качества классификации алгоритма на тестовой выборке представлены в табл. 1.

Табл. 1. Метрики качества

Уровень агрегации данных	Общая точность	Сбалансированная точность	Точность	Чувствительность	F1-мера
Временные окна	0,8107	0,7886	0,7469	0,7886	0,7617
Целые записи	0,8333	0,8889	0,8000	0,8889	0,8125

Использование метода адаптивных порогов позволило достичь сбалансированной точности 88,89 % на уровне анализа целых записей. Чувствительность 88,89 % свидетельствует о достаточно высокой выявляемости записей с нарушенной походкой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Разработка адаптивных реабилитационных систем для лечения когнитивных, моторных и сенсорных нарушений и патологий» (FEMU-2026-0002).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Control of adaptive running platform based on machine vision technologies and neural networks / A. D. Obukhov, M. N. Krasnyanskiy, D. L. Dedov [et al.] // Neural Computing and Applications. – 2022. – Vol. 34, № 15. – P. 12919–12946.
2. Automated gait analysis based on a marker-free pose estimation model / C. S. T. Hii, K. B. Gan, N. Zainal [et al.] // Sensors. – 2023. – Vol. 23, № 14. – Art. 6489.
3. **Обухов, А. Д.** Отслеживание положения тела пользователя на всенаправленной дорожке / А. Д. Обухов, Д. А. Побединский, Я. В. Х. Меркурьев // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–22 окт. 2024 г. – Тамбов : Тамбов. гос. техн. ун-т, 2024. – С. 207–210.

УДК 332.14

АНАЛИЗ РИСКОВ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СОТРУДНИКАМИ ПРИ РАБОТЕ С КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

Д. А. ВЕТРОВ

Научный руководитель П. С. ХАРЛАМОВ

Смоленский филиал Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации
Смоленск, Россия

Использование сотрудниками организаций публичных и сторонних технологий на базе искусственного интеллекта без прямого разрешения отдела информационной безопасности или сотрудников, ответственных за сохранение конфиденциальной информации, на данный момент выделяют в отдельную категорию угроз, называемую «теневой ИИ». В данном случае классические угрозы, связанные с хранением и передачей информации, дополняются угрозами её активной обработки и интерпретации внешними алгоритмами. Бесплатные и публичные нейросети используют пользовательские промты и оценки качества ответов для тренировки будущих моделей, что одновременно нарушает законодательство, связанное с передачей персональных данных, и правила работы организации с конфиденциальной информацией. Количество данных, передаваемых ИИ-агентами, внедряемыми на компьютеры организации, сложно оценить даже в настоящее время, что несёт ещё большие риски, особенно после появления Prompt Injection – атаки, основанной на запросах к таким агентам. В целом, картина возможных рисков и способов их устранения представлена на рис. 1. При правильном применении искусственного интеллекта и оценке опасностей даже в секретных проектах нейросети могут стать незаменимыми.



Рис. 1. Модель рисков безопасности при работе с нейросетевыми моделями

УДК 332.14

РОЛЬ ОЦЕНКИ НАКЛАДНЫХ РАСХОДОВ ПАМЯТИ И CPU ПРИ ИНТЕГРАЦИИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА YOLO

Д. А. ВЕТРОВ

Научный руководитель П. С. ХАРЛАМОВ

Смоленский филиал Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации
Смоленск, Россия

Архитектуры семейства YOLO в настоящее время являются стандартом в области детекции объектов в режиме реального времени. Скорость обработки кадров в наиболее современных моделях может достигать 0,001 с. Однако существует проблема внедрения таких систем в промышленные объекты и охранные системы: возрастает нагрузка и ухудшается производительность. Основная причина подобных расходов чаще всего находится в накладных расходах центрального и графического процессора (рис. 1). Наиболее часто такие расходы возникают при препроцессинге, изменении разрешений и преобразовании цветовых пространств, а также при передаче подготовленных тензоров из системной памяти в видеопамять перед инференсом и обратно.



Рис. 1. Схема потока данных и накладных расходов нейросетевых моделей семейства YOLO

Постобработка и препроцессинг при отсутствии оптимизации модели и настройки ее под конкретные аппаратные ресурсы могут занимать до 60 %...70 % от общего времени обработки кадра. Неправильная и некорректная работа с памятью может вызвать сбои при обработке параллельно получаемых видеоданных, связанные с утечкой памяти. Особые проблемы представленные упущения могут вызвать на встраиваемых системах и умных камерах в условиях жёсткой ограниченности ресурсов. Оценка накладных расходов памяти и CPU позволяет обоснованно выбрать технологический стек (TensorRT, OpenVINO, C++, например, вместо Python), вынести этап устранения дублирующих кадров прямо на GPU и спроектировать энергоэффективные архитектуры видеоаналитики, что поможет значительно улучшить качество работ систем на базе YOLO, позволяя довести показатели распознавания до заявленных разработчиками.

УДК 004.421:534.6

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ ВЕТРОВОЙ ПОМЕХИ В АУДИОСИГНАЛАХ

В. Э. ВОРОБЬЕВА

Научный руководитель И. А. БУЛЯКОВА

Государственный университет «Дубна»

Дубна, Россия

При записи звука на открытом воздухе воздушный поток, обтекающий микрофон и корпус регистратора, создаёт пульсации давления у капсуля. В записи они проявляются как нестационарный низкочастотный шум, маскирующий слабые акустические события при биоакустическом, экологическом и техническом мониторинге. Фильтр верхних частот подавляет её грубо и без количественного описания, а в той же полосе присутствуют вибрации корпуса, шаги, техника и низкие компоненты речи. Целью работы была разработка алгоритма, который оценивает спектральную плотность мощности (СПМ) ветровой составляющей и локализует её на частотно-временной сетке.

Исходными данными служили полевые WAV-записи с частотой дискретизации 44 100 Гц. В программе Audacity вручную выделено 1389 фрагментов, приведённых к длительности 1 с. Каждому присвоен экспертный индекс выраженности ветровой помехи I от 0,5 до 5,0. Индекс отражает слышимую и видимую на спектрограмме выраженность помехи и не является оценкой скорости ветра: синхронные анемометрические измерения не выполнялись. После вычитания среднего СПМ фрагмента оценивалась методом Уэлча [1, 2]: окно Ханна длиной 2048 отсчетов ($\Delta f \approx 21,5$ Гц), перекрытие 50 %, усреднение модифицированных периодограмм.

По оценке СПМ вычислялись нижняя f_{low} и верхняя f_{high} границы области, превышающей относительный энергетический порог, ширина полосы, интегральная энергия в диапазоне 0...500 Гц и спектральный центроид. Нижняя граница почти не менялась с ростом I , верхняя росла. Интегральная энергия зависела от усиления тракта и оказалась менее устойчивым признаком. Для агрегированных по уровням индекса значений f_{high} получена квадратичная модель

$$f_{high}(I) = 201,17 + 106,11 \cdot I + 3,31 \cdot I^2 \quad (1)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9983$. Модель описывает расширение полосы примерно от 255 Гц при $I = 0,5$ до 814 Гц при $I = 5,0$ и применима лишь к использованной аппаратуре и диапазону индекса.

Для локализации помехи матрица мощности $P(m, k)$ по временным фреймам m и частотным бинам k нормируется на максимум фрейма и рассматривается как решётка клеточного автомата [3] с четырьмя состояниями: фон, граница, вероятный ветер, ветер. Клетки с частотой выше $f_{high}(\hat{I})$, где $\hat{I}$ – оценка индекса по низкочастотной энергии фрейма, ограниченная диапазоном 0,5...5,0, переводятся

в состояние «фон». Для остальных клеток на каждой итерации вычисляется оценочная функция

$$u(m, k) = \alpha \cdot q(m, k) + \beta \cdot p(m, k) + \gamma \cdot n(m, k) + \delta \cdot b(m, k), \quad (2)$$

где q – нормированное предыдущее состояние клетки; p – нормированная мощность; n – доля соседей в активных состояниях в окрестности Мура 3×3 ; b – индикатор допустимой полосы; веса $\alpha = 0,35$, $\beta = 0,40$, $\gamma = 0,20$, $\delta = 0,05$.

Новое состояние задается порогами 0,25, 0,45 и 0,70. Выполняется пять итераций: к этому шагу карта состояний стабилизировалась, а дальнейшие итерации лишь расширяли границы области. Маска ветровой области объединяет клетки в состояниях «вероятный ветер» и «ветер». Ее произведение на $P(m, k)$ дает оценку СПМ ветровой составляющей.

Проверка выполнена на размеченной выборке. Согласие автоматической маски M_{auto} с эталонной областью M_{ref} , построенной по ручной разметке и спектральным признакам фрагмента, оценивалось коэффициентом пересечения

$$D = N(M_{ref} \cap M_{auto}) / N(M_{ref} \cup M_{auto}), \quad (3)$$

где $N(\cdot)$ – число клеток области.

Среднее значение D составило 0,82, медианное – 0,84. Доля активных клеток вне допустимой полосы – 0,035 в среднем и 0,028 по медиане. Расхождения сосредоточены на фронтах ветрового участка, где энергия меняется плавно, а ручная метка задает резкую границу. Короткие удары и вибрации попадают в полосу, но не образуют протяженной области и подавляются требованием поддержки соседей. Обработка секундного фрагмента занимает в среднем 0,046 с (примерно в 21,7 раза быстрее реального времени), пиковое потребление памяти – около 168 МБ.

Модуль реализован на C++17 с библиотеками libsndfile и FFTW3 и сборкой CMake. Он работает как консольное приложение и как динамическая библиотека libwindca.so / windca.dll с C-интерфейсом: функция обработки принимает путь к WAV-файлу, сохраняет признаки в CSV и возвращает оценку индекса, границы полосы и энергию. Маска на частотно-временной сетке допускает визуальную проверку и может служить входом для последующей фильтрации. Ограничения: шкала I имеет только акустический смысл; пороги и веса подобраны для одного микрофонного тракта; проверка на независимых записях и калибровка по показаниям анемометра составляют предмет дальнейшей работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Welch, P. D.** The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms / P. D. Welch // IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics. – 1967. – Vol. AU-15, № 2. – P. 70–73.
2. **Марпл-мл., С. Л.** Цифровой спектральный анализ и его приложения / С. Л. Марпл-мл. – М. : Мир, 1990. – 584 с.
3. **Бандман, О. Л.** Клеточно-автоматные модели естественных процессов и их реализация на современных компьютерах / О. Л. Бандман // Прикладная дискретная математика. – 2017. – № 35. – С. 102–121.

УДК 376

ТАБЛЕТНИЦА С ГОЛОСОВЫМ СОПРОВОЖДЕНИЕМ ДЛЯ ЛИЦ С НАРУШЕНИЕМ ЗРЕНИЯ

Е. П. ЕВСТИГНЕЕВА, Я. В. ДОЛГОВ

Научный руководитель Т. А. ФРОЛОВА, канд. техн. наук, доц.
Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

Традиционные таблетницы рассчитаны на зрительное восприятие, что делает их малопригодными для людей с нарушениями зрения. Невидящий или слабовидящий пользователь не может точно определить нужную ячейку или проверить, принял ли лекарство. Тактильные метки частично помогают, но не решают проблему напоминаний и контроля последовательности приёма. Перспективное решение – интеллектуальная таблетница с будильником, специально разработанная для незрячих и слабовидящих.

На рис. 1 представлена структурная схема таблетницы.



Рис. 1. Структурная схема технических средств таблетницы

Данное устройство – многофункциональная система для хранения, дозирования и своевременного приёма лекарственных препаратов. Конструктивно оно выполнено в виде корпуса с тремя обособленными зонами: две из них содержат восемь индивидуальных отсеков, соответствующих временным интервалам суток. Функционал расширен за счёт встроенного таймера, работающего по принципу классического будильника с ручной настройкой звукового сигнала. Прототип таблетницы представлен на рис. 2.

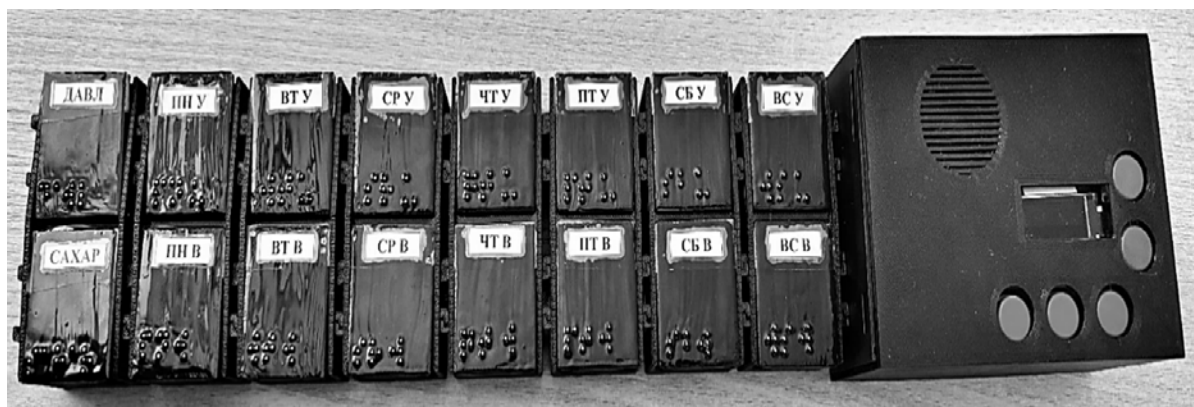


Рис. 2. Прототип таблетницы

Каждое отделение оснащено рельефно-точечными идентификаторами, сформированными в соответствии с брайлевской системой письма. Данное конструктивное решение обеспечивает точную пространственно-тактильную локализацию и верификацию отсеков.

Дополнительно устройство оснащено встроенным электронным модулем оповещения, функционирующим по принципу программируемого таймера. Акустическая система генерирует звуковые сигналы в заранее заданные временные интервалы, соответствующие графику приема лекарств.

Новизна предлагаемого технического решения заключается в синергетической интеграции тактильных и аудиальных интерфейсов в рамках единого устройства, предназначенного для пользователей с сенсорными ограничениями [1, 2]. В отличие от существующих аналогов, разработанный прототип реализует не только напоминающую функцию, но и когнитивную поддержку процесса медикаментозного приема. Практическая значимость работы обусловлена возможностью внедрения устройства в повседневную практику лиц с нарушениями зрительной функции, что способствует повышению их автономности, снижению зависимости от внешней помощи и редукции рисков, ассоциированных с неконтролируемым или ошибочным приёмом лекарственных средств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фролов, С. В.** Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35–45.
2. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266–272.

УДК 004.89

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА МОНИТОРИНГА СНА И ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МЛАДЕНЦА В ДОМАШНИХ УСЛОВИЯХ

М. А. ЛЮБАВИНА, А. Д. ФИЛИППОВ

Научный руководитель С. В. ФРОЛОВ, д-р техн. наук, проф.

Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

Современные тенденции развития цифрового здравоохранения направлены на создание интеллектуальных систем, обеспечивающих непрерывный контроль состояния человека и раннее выявление возможных отклонений. Особое значение подобные технологии приобретают в сфере наблюдения за детьми раннего возраста, поскольку именно в первые месяцы и годы жизни формируются основные показатели физического развития и закладываются механизмы адаптации организма. Родители нуждаются в достоверной информации о качестве сна ребенка, его двигательной активности, динамике веса и роста, однако существующие методы контроля зачастую требуют ручного ведения записей, регулярного внесения данных и постоянного наблюдения. В связи с этим актуальной задачей является создание единого программно-аппаратного комплекса, способного автоматически собирать, анализировать и интерпретировать информацию о состоянии младенца, предоставляя пользователям объективные данные и рекомендации [1, 2].

Проект посвящен разработке интеллектуального комплекса мониторинга сна и физического развития ребенка BabyVital, предназначенного для использования в домашних условиях. Основной целью системы является обеспечение непрерывного бесконтактного контроля состояния младенца. Предлагаемое решение ориентировано на повышение качества ухода за ребёнком и своевременное выявление признаков возможных отклонений в его развитии. В основе проекта лежит концепция интеграции различных источников информации в единую цифровую среду, позволяющую получать целостную картину состояния ребёнка без необходимости использования нескольких разрозненных устройств и приложений.

Комплекс включает аппаратную и программную составляющие, функционирующие как единая система. Аппаратная часть представляет собой интеллектуальный модуль на базе NodeMCU с ядром ESP8266, размещаемый в детском матрасе вне зоны прямого контакта с ребёнком. Для регистрации двигательной активности используется датчик MPU6050, позволяющий фиксировать движения младенца и определять периоды сна и бодрствования. Дополнительным источником информации служит акустический модуль KY-037, осуществляющий регистрацию звуковых проявлений, включая плач ребёнка.

Важной частью проекта является система автоматизированного контроля физического развития ребёнка. Для этого используются электронные весы с функцией измерения роста, данные с которых автоматически передаются в программную среду без необходимости ручного ввода. Полученная информация

сохраняется в базе данных и используется для формирования индивидуальной истории наблюдений. Автоматизация процесса измерений исключает ошибки, связанные с ручной записью показателей, а также значительно упрощает процедуру регулярного контроля антропометрических параметров. На основе накопленных данных система рассчитывает динамику изменения веса и роста, отслеживает тенденции развития ребёнка и предоставляет результаты в наглядной графической форме.

Центральным элементом комплекса является мобильное приложение, обеспечивающее взаимодействие пользователя с системой. Приложение аккумулирует данные, поступающие от аппаратных модулей, формирует статистику и предоставляет инструменты для анализа информации. Пользователь получает возможность просматривать продолжительность сна, количество пробуждений, распределение периодов отдыха в течение суток, а также показатели физического развития ребёнка. Для оценки соответствия антропометрических параметров возрастным нормам используются центильные таблицы, автоматически определяющие нахождение показателей в пределах нормы.

Особое место занимает интеллектуальная обработка данных. Предполагается использование алгоритмов анализа и элементов машинного обучения для выявления закономерностей в режиме сна ребёнка и формирования персонализированных рекомендаций. На основании накопленной информации система сможет адаптироваться к индивидуальным особенностям ребёнка, определять оптимальные параметры режима дня и предупреждать родителей о возможных изменениях, требующих внимания, что значительно повышает практическую ценность комплекса.

Таким образом, разрабатываемый интеллектуальный комплекс представляет собой современное программно-аппаратное решение для непрерывного мониторинга сна и физического развития ребёнка. Реализация проекта будет способствовать развитию цифровых медицинских технологий, повышению качества наблюдения за детьми раннего возраста и внедрению инновационных методов профилактического контроля здоровья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фролов, С. В.** Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35–45.
2. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареа // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266–272.

УДК 004.67

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СБОР И АНАЛИЗ ДАННЫХ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПЛАНОВ ИЗ EXCEL-ФАЙЛОВ

И. И. МАКСИМОВ, А. С. ЛОПАТКО

Научный руководитель А. Д. ОБУХОВ, д-р техн. наук, проф.

Тамбовский государственный технический университет

Тамбов, Россия

Индивидуальные планы сотрудников используются для оценки научной, учебно-методической и организационной деятельности подразделений университета. В рабочем архиве документы, подготовленные по общей форме, различаются именами и датами редакций, заполнением ячеек и формулировками результатов. Ручная обработка требует выбора актуальной редакции, идентификации сотрудника, переноса пунктов в сводную таблицу и их сопоставления с фактическими результатами. Для выполнения такой работы требуется много времени и усилий проверяющих. Поэтому необходимо автоматизировать преобразование архива Excel-файлов в проверяемую структуру данных «план – факт».

Это включено в информационную систему университета, реализованную на Python с использованием Django. Файл XLSX рассматривается как контейнер Office Open XML [1]: парсер читает структуру книги, перечень листов, общие строки и значения ячеек, не изменяя исходный документ [2].

На предварительном этапе файлы группируются по имени плана. Среди отправленных версий для каждого имени пользователя выбирается файл, наиболее поздний по дате. Датированная редакция имеет приоритет перед недатированной. ФИО извлекается из листа «Общие сведения», а при отсутствии реквизита – из титульного листа. Затем оно сопоставляется с учетной записью сотрудника. Отсутствующие и неоднозначные соответствия не принимаются автоматически.

Парсер находит столбец по заголовку «Наименование результата», поэтому извлечение не зависит от фиксированного адреса ячейки. Пустые строки, значения «нет» и «не планируется», заголовки и примечания пропускаются. Точка с запятой и разрыв строки используются как разделители текста. Словари и регулярные выражения относят полученные пункты к категориям статей, докладов, грантов, патентов, программных разработок, учебных изданий и других работ. Для счетных категорий количество определяется по цифрам и словесным конструкциям. Для каждого пункта сохраняются текст, количество, категория и координаты источника: файл, лист и ячейка. На основе координат, номера элемента и категории формируется ключ, поэтому повторный импорт неизмененного файла обновляет запись, а не создает копию. Исправления пользователя помечаются и не перезаписываются автоматически.

Фактические сведения импортируются только из подтвержденных записей университетского реестра. Сотрудник определяется по внешнему кадровому идентификатору. Применена схема сопоставления записей [3]: учитываются

учебный год, категория и сходство нормализованных названий. После сопоставления названий свободная емкость плана заполняется оставшимися результатами того же вида. Один результат может быть использован только один раз. Для записи рассчитываются план, факт, остаток и состояние выполнения, а результаты без автоматической связи сохраняются отдельно.

При апробации ошибки чтения XLSX и разбора XML не зарегистрированы. Из 203 подтвержденных результатов, относящихся к владельцам импортированных планов, 121 результат автоматически связан с плановыми пунктами, а 82 оставлены без связи и доступны для отдельного анализа (табл. 1).

Табл. 1. Результаты апробации на архиве 2025/2026 учебного года

Показатель	Значение
Исходные / отобранные XLSX-документы	92 / 86
Планы с извлеченными пунктами / сотрудники / подразделения	71 / 70 / 7
Исходные ячейки / структурированные записи / плановые единицы	512 / 557 / 611
Ошибки чтения XLSX и разбора XML	0
Подтвержденные результаты владельцев импортированных планов	203
Автоматически связанные / оставленные без связи результаты	121 / 82

Сводное представление содержит сотрудников по строкам, виды деятельности по столбцам и значения «план – факт – остаток» в ячейках.

Практический результат работы состоит в замене повторного ручного переноса сведений воспроизводимым преобразованием данных с сохранением их происхождения и возможностью проверки каждого автоматически сформированного показателя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ECMA-376. Office Open XML File Formats. – Geneva: Ecma International, 2016.
2. Разработка информационной системы электронного документооборота управления фундаментальных и прикладных исследований / М. Н. Краснянский, А. Д. Обухов, С. В. Карпушкин, А. В. Остроух // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 216–230.
3. **Краснянский, М. Н.** Математическая модель обработки информации в системе управления электронным документооборотом / М. Н. Краснянский, А. Д. Обухов, И. Л. Коробова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2018. – Т. 24, № 3. – С. 382–399.

УДК 004.89:005.7

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАДАЧАМИ МЕЖФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

С. С. МАЛАНКА

Научный руководитель А. А. МИЛОВИДОВА, канд. техн. наук, доц.
Государственный университет «Дубна»
Дубна, Россия

Межфункциональный бизнес-процесс объединяет задачи, выполняемые разными подразделениями, сотрудниками и информационными системами. Задержка одной задачи может изменить сроки зависимых работ, загрузку ресурсов и приоритеты других участников. Поэтому при управлении таким процессом недостаточно учитывать состояние отдельной задачи: решение о переназначении исполнителя, изменении приоритета или корректировке срока должно учитывать текущее состояние связанных работ.

Журналы событий информационных систем содержат данные о фактическом исполнении процесса. Методы интеллектуального анализа процессов (process mining) позволяют выявлять отклонения и оценивать временные и ресурсные показатели [1]. В ориентированном на действия интеллектуальном анализе процессов (action-oriented process mining) и предписывающем мониторинге исследуется переход от выявленного отклонения к корректирующему действию [1, 2]. Отдельные работы посвящены распределению ресурсов [3, 4] и проверке ограничений процесса [5]. Эти задачи обычно рассматриваются раздельно, хотя в межфункциональном процессе предлагаемое воздействие должно одновременно учитывать зависимости задач, доступность ресурсов, полномочия участников и сроки.

В работе предлагается формализовать переход от выявленного отклонения к допустимым управленческим воздействиям. Цель исследования – определить состав состояния процесса, возможные действия и условия их допуска к дальнейшему рассмотрению.

Состояние процесса в момент времени t представим как

$$S_t = (T_t, R_t, D_t, P_t, C_t),$$

где T_t – задачи и их состояния; R_t – доступность и загрузка ресурсов; D_t – зависимости между задачами; P_t – приоритеты и сроки; C_t – действующие ресурсные, ролевые, временные и процессные ограничения.

Для выявленного отклонения δ_t задается множество возможных воздействий $A(\delta_t, S_t)$: переназначение исполнителя, изменение приоритета или срока,

подключение дополнительного ресурса, передача ситуации на вышестоящий уровень управления. В дальнейшее рассмотрение включаются только воздействия, удовлетворяющие ограничениям текущего состояния:

$$A_{adm}(\delta_t, S_t) = \{\forall c_j \in ct; c_j(a, S_t) = 1\}.$$

Задача состоит в построении $A(\delta_t, S_t)$ и выделении подмножества $A_{adm}(\delta_t, S_t)$. После проверки допустимости варианты ранжируются по ожидаемому сокращению задержки, стоимости привлечения ресурсов, изменению загрузки, приоритету задачи и риску возникновения новых отклонений.

Журнал событий должен содержать идентификаторы процесса и задачи, операцию, временные отметки, состояние, исполнителя и подразделение. Дополнительно необходимы сведения о зависимостях, сроках, приоритетах, доступности ресурсов, компетенциях и полномочиях. Эти данные позволяют восстановить текущее состояние, выявить отклонение, сформировать варианты воздействия и проверить ограничения.

На этом этапе формализована задача интеллектуальной поддержки управления задачами межфункциональных бизнес-процессов. Определены состав состояния процесса, группы ограничений и общий порядок получения допустимых воздействий. Эта формализация будет использована при создании алгоритма формирования рекомендаций и его экспериментальной проверке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Park, G.** Action-oriented process mining: bridging the gap between insights and actions / G. Park, W. M. P. van der Aalst // *Progress in Artificial Intelligence*. – 2022.
2. Prescriptive Business Process Monitoring for Recommending Next Best Actions / S. Weinzierl, S. Dunzer, S. Zilker, M. Matzner // *Business Process Management Forum. LNBIP*. – 2020. – Vol. 392. – P. 193–209.
3. **Pufahl, L.** Resource allocation in business process executions: A systematic literature study / L. Pufahl, F. Stiehle, S. Ihde [et al.] // *Information Systems*. – 2025. – Vol. 132. – Art. 102541.
4. **Ihde, S.** A framework for modeling and executing task-specific resource allocations in business processes / S. Ihde, L. Pufahl, M. Völker [et al.] // *Computing*. – 2022. – Vol. 104. – P. 2405–2429.
5. **Zavatteri, M.** Resource Controllability of Business Processes Under Conditional Uncertainty / M. Zavatteri, C. Combi, L. Viganò // *Journal on Data Semantics*. – 2021. – Vol. 10. – P. 19–39.

УДК 004.942: 621.865.8

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ЭКЗОСКЕЛЕТАМИ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

К. С. МАСЛОВА

Научный руководитель М. И. ДЛИ, д-р техн. наук, проф.
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия

Условия работы антропоморфных экзоскелетных механизмов характеризуются повышенной неопределенностью, что оказывает непосредственное влияние на требования к системе управления. Неопределенность проявляется во внешней среде в виде динамической природной картины, во внутреннем состоянии системы, как погрешности датчиков или изменение длин звеньев, также в самом взаимодействии эргатической системы. В исследовании рассматривается модель семизвенового экзоскелета, предназначенного для реабилитационных целей, восстановления частично утраченных двигательных функций [1].

Особенность разработки интеллектуальных систем управления на основе методов машинного обучения для активных антропоморфных экзоскелетов заключается в необходимости учета большого количества возможных траекторий движения каждого звена механизма в ходе совершения движения. Для реализации обучения интеллектуальных систем управления необходимо создание базы данных с характеристиками различных типов движений. Описание множества возможных траекторий движения каждого звена экзоскелета возможно при применении аппроксимационных свойств искусственных нейронных сетей.

Внедрение машинного обучения позволит сделать систему управления более индивидуальной и учесть биомеханические параметры каждого пользователя. Компенсация влияния факторов, повышающих неопределенность системы, возможна с применением глубокого обучения с подкреплением. Обученная таким способом искусственная нейронная сеть будет способна прогнозировать траектории движения суставов пользователя, подстраиваться под особенности тела и уровень моторных функций при движении. Таким образом, разрабатываемые интеллектуальные системы управления антропоморфными экзоскелетами смогут повысить уровень комфортабельности устройств и их реабилитационные свойства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслова, К. С. Модель киберфизической системы экзоскелетного механизма с семью подвижными звеньями / К. С. Маслова, А. М. Соколов // Прикладная информатика. – 2026. – Т. 21, № 3 (123). – С. 65–86.

УДК 004.93

АРХИТЕКТУРНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ GESTOTALK

А. С. МИЩЕНКО, И. И. МИЩЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Первая версия Gestotalk распознавала статические жесты – положения рук, которые не меняются во времени. Для сравнения использовались координаты 21 точки кисти, полученные с помощью библиотеки MediaPipe. Однако программа имела ряд проблем. Во-первых, камера и распознавание работали в одном потоке с интерфейсом, из-за чего окно «замирало» на время обработки каждого кадра. Во-вторых, распознанный символ записывался в текстовый файл на каждом кадре, что вызывало множественные повторы и тормозило систему. В-третьих, жесты, требующие движения руки, – «й», «щ», «ё» – вообще не распознавались, т. к. система умела сравнивать только неподвижные жесты. Наконец, озвучка текста работала только через онлайн-сервис Google, требовалось постоянное подключение к интернету и сам процесс озвучки блокировал интерфейс программы [1].

Для решения первой проблемы в версии Gestotalk 2.0 захват видео и работа детектора рук MediaPipe перенесены в отдельный фоновый поток – CameraThread, реализованный на базе класса QThread из библиотеки PyQt5. Детектор создаётся один раз при запуске, а не на каждом кадре, как раньше. Готовые кадры с найденными точками руки передаются в основное окно через механизм «сигналов» – это способ безопасной передачи данных между потоками. В результате интерфейс перестаёт зависать и частота кадров держится на уровне 30 FPS [2].

Чтобы система не зависела от того, где находится рука в кадре и на каком расстоянии от камеры, координаты точек нужно «нормализовать» – привести к единому масштабу. В первой версии это делалось в обычном цикле Python с поиском минимума и максимума, что работало медленно. В версии 2.0 используется библиотека NumPy, которая умеет обрабатывать массивы чисел за одну операцию. Система сдвигает все точки так, чтобы запястье оказалось в начале координат, а затем делит расстояния на размер ладони – расстояние от запястья до основания среднего пальца. Так рука описывается относительными величинами и распознавание не портится, если пользователь подвинул руку ближе к камере или сдвинул её в сторону.

В Gestotalk 1.0 жест регистрировался на каждом кадре, где рука была видна. Если пользователь показывал букву «А» в течение секунды, в текст попадало 30 символов «А». В версии 2.0 введён GestureBuffer – промежуточный накопитель, который собирает результаты с нескольких кадров подряд и фиксирует жест только тогда, когда он повторяется достаточное число раз (например, 3 раза из 5). Это устраняет ложные срабатывания, когда детектор на один кадр ошибочно видит другую букву. Для служебных команд («ввод»,

«пробел», «удалить») добавлен Cooldown – принудительная пауза после выполнения команды, чтобы она не сработала несколько раз подряд.

Буквы «й», «щ», «ё» в дактильном алфавите нельзя показать неподвижной рукой: они требуют движения руки. Чтобы научить программу распознавать такие жесты, обычно нужно собирать тысячи примеров и обучать сложную нейросеть. В версии 2.0 использован другой подход – алгоритм DTW (Dynamic Time Warping, динамическая трансформация времени). Этот алгоритм сравнивает две траектории движения, даже если они выполнены с разной скоростью. При распознавании система сравнивает текущее движение с сохранённым эталоном. Если кривые похожи – жест распознан. Это позволило добавить динамические жесты без сбора большого набора данных и без обучения нейросети.

В первой версии программы текст хранился в файле, который открывался и перезаписывался на каждом кадре. Это вызывало задержки из-за постоянного обращения к жёсткому диску. В версии 2.0 введён TextEngine – внутренний блок программы, который хранит набранный текст в оперативной памяти компьютера. Он работает быстро и позволяет добавлять, удалять и очищать символы без обращения к диску.

Синтез речи (превращение текста в голос) также изменён. Раньше использовался только онлайн-сервис gTTS (Google Text-to-Speech), который требовал интернет и останавливал работу интерфейса на время загрузки. Теперь приоритет отдан офлайн-движку pyttsx3 – он работает полностью на компьютере пользователя, без сети. Озвучка выполняется в отдельном фоновом потоке TTSThread, поэтому видео и интерфейс не прерываются.

Рефакторинг Gestotalk 2.0 кардинально повысил производительность и надёжность приложения. Многопоточность и векторная нормализация устранили зависания интерфейса, алгоритм DTW и дедупликация жестов расширили словарь и повысили точность, а перенос буфера в оперативную память и офлайн-синтез речи обеспечили автономную работу без интернета. Архитектура приложения стала модульной, что открывает перспективы для дальнейшего масштабирования функционала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Роголев, Д. В.** Применение технологий компьютерного зрения и машинного обучения для распознавания и перевода жестового языка / Д. В. Роголев, А. С. Голяс, И. И. Мищенко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2026. – № 1 (90). – С. 105–116.
2. **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.

УДК 004.89

ФИЛЬТРАЦИЯ АРТЕФАКТНЫХ ЦИКЛОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ПОХОДКИ ПО ТРАЕКТОРИИ ЦЕНТРА ДАВЛЕНИЯ

Ю. В. НИКИТНИКОВ, А. А. АВЕРЬЯНОВА, А. А. БОЖИЙ
Научный руководитель А. Д. ОБУХОВ, д-р техн. наук, проф.
Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

Анализ походки по данным центра давления (CoP) позволяет оценивать биомеханические показатели и характеристики траектории CoP [1]. Сенсорные данные могут содержать потери, шумы и искажения, требующие алгоритмического восстановления и фильтрации [2]. При объединении данных о движении применяются нормализация, синхронизация и фильтрация [3]. В данной работе рассматриваются построение циклов движения стоп, детекция событий походки и влияние удаления артефактных циклов на итоговые параметры анализа.

Целью работы являлась оценка влияния фильтрации артефактных циклов походки на результаты расчета биомеханических параметров.

В исследовании использовались данные тензометрической беговой дорожки, содержащие временные ряды координат центра давления (CoP), скорости движения и силы нагрузки. На вход алгоритма подавались координаты центра давления CoP (x , y). Выполнялась нормализация координат и осуществлялся поиск экстремумов траектории CoP.

Для определения событий использовались две диагональные проекции траектории центра давления, что позволяет выделить моменты максимального и минимального смещения центра давления, соответствующие фазам переноса нагрузки между конечностями. Для поиска локальных минимумов и максимумов использовался детектор экстремумов. Событие фиксировалось после подтверждения стабильности экстремума. При формировании событий использовалась модель физиологического порядка вида LHS (контакт левой пятки с опорой), RTO (отрыв правого носка), RHS (контакт правой пятки с опорой), LTO (отрыв левого носка).

Проверка осуществлялась на основе уже сформированных циклов перед расчетом итоговых биомеханических параметров. Фильтр анализировал временные, пространственные и геометрические характеристики цикла. Оценивались корректность последовательности событий, длительность цикла, длина и ширина шага, соответствующие физиологическим ограничениям человеческой походки, геометрическая симметрия траектории «бабочки», а также хронологическая последовательность событий.

Как показано на рис. 1, применение фильтра привело к уменьшению количества анализируемых циклов за счет удаления физиологически невозможных значений. До фильтрации траектории циклов характеризовались большим разбросом данных и аномалиями. Удаление артефактов позволило получить более устойчивую оценку симметрии. Сравнение биомеханических

параметров, рассчитанных до и после удаления артефактных циклов, представлено в табл. 1.

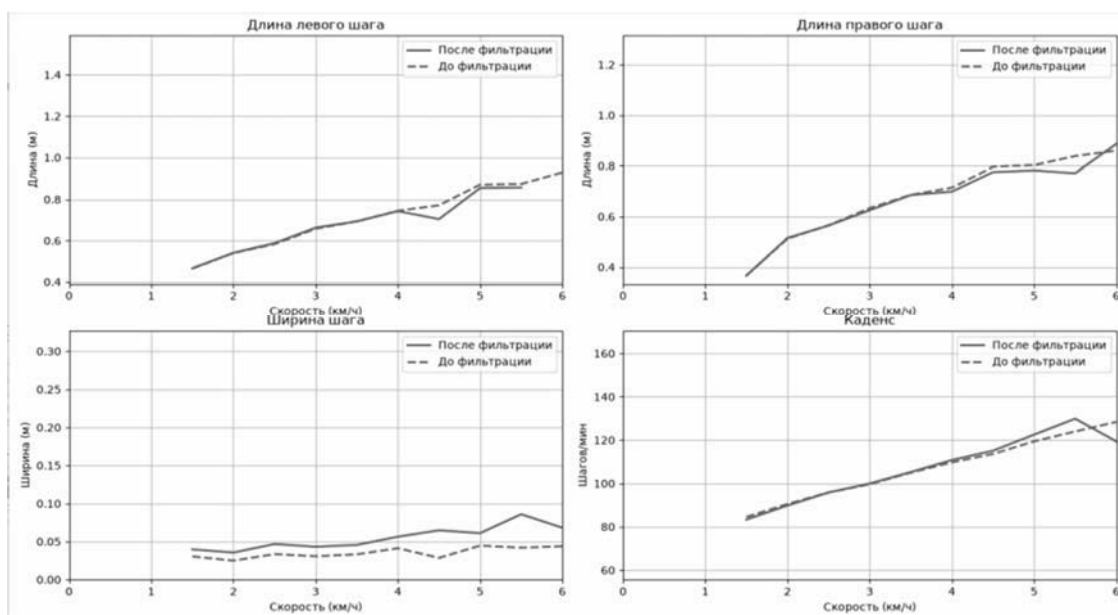


Рис. 1. Зависимость биомеханических параметров от скорости движения беговой дорожки

Табл. 1. Сравнение биомеханических параметров после фильтра

Биомеханический параметр	Длина левого шага, м	Длина правого шага, м	Ширина шага, м	Каденс, шаг/мин
До фильтра	0,6993	0,7106	0,0295	76,54
После фильтра	0,7214	0,6999	0,0442	81,87

Таким образом, применение дополнительной фильтрации циклов оказывает существенное влияние на расчет биомеханических параметров. Фильтр позволяет исключить физиологически некорректные циклы, что снижает влияние артефактов и повышает достоверность расчетов длины шага, ширины шага, каденса и показателя симметрии. В свою очередь, результаты показали, что применение фильтра повышает точность дальнейших расчетов биомеханических параметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Lugade, V.** Center of pressure trajectory during gait: a comparison of four foot positions / V. Lugade, K. Kaufman // *Gait & Posture*. – 2014. – Vol. 40, № 4. – P. 719–722.
2. **Zverev, M.** Recovering Information from Wireless Sensors in Hardware and Software Platforms / M. Zverev, V. Vostrikova, D. Teselkin // *J. Phys: Conf. Ser.* – 2021. – Vol. 2096. 012030.
3. **Теселкин, Д. В.** Распознавание человека по цифровой тени движений тела на основе нейросетевых технологий / Д. В. Теселкин, Н. А. Вехтева, А. Ю. Свешников // *Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–22 окт. 2024 г.* – Тамбов : Тамбов. гос. техн. ун-т, 2024. – С. 227–230.

УДК 004.89

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ОБУЧЕНИИ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Д. В. ПАНЬКИН

Научный руководитель В. В. ДУБРОВИН, канд. техн. наук, доц.
Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

Введение. Электрокардиографические сигналы являются одним из наиболее информативных источников данных для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. Однако их низкая амплитуда и высокая чувствительность к внешним воздействиям делают их крайне уязвимыми для помех. Машинное обучение предъявляет высокие требования к качеству входных данных, поскольку шумные сигналы приводят к снижению точности классификации и потере диагностически значимой информации. При этом применение комплексной гибридной предобработки позволяет повысить точность классификации по сравнению с моделями, обученными на неочищенных данных. Поэтому разработка эффективных пайплайнов подготовки данных является критически важным этапом создания систем автоматической диагностики [1].

Основной часть. Наиболее эффективным подходом к подготовке ЭКГ-данных признаётся многоэтапная каскадная гибридная фильтрация. Первый этап заключается в удалении дрейфа изолинии. Стандартным подходом является применение фильтра верхних частот с частотой среза около 0,5 Гц. В некоторых исследованиях также используется вейвлет-фильтрация с вейвлетами, позволяющая отделить низкочастотные компоненты без значительного искажения формы QRS-комплекса. ЭКГ-сигналы очищаются от основных видов помех, включая дрейф изолинии, сетевую наводку частотой 50...60 Гц, мышечные шумы и артефакты движения. Для этого последовательно применяются частотные методы фильтрации: высокочастотная фильтрация для устранения низкочастотного дрейфа, режекторная фильтрация для подавления сетевой наводки и низкочастотная либо адаптивная фильтрация для снижения мышечного шума.

На следующем этапе выполняется контроль качества очищенного сигнала, выявляются аномальные значения и повреждённые участки с использованием статистических методов, в частности Z-score и межквартильного размаха (IQR). При обнаружении пропусков или локально повреждённых сегментов производится их восстановление посредством интерполяции. После коррекции сигналов выполняются нормализация амплитуды, обеспечивающая сопоставимость ЭКГ-записей, и сегментация сигнала на отдельные участки с использованием скользящего окна.

В результате формируется очищенный, нормализованный и структурированный набор ЭКГ-данных, пригодный для последующего обучения моделей

машинного обучения. Предложенный пайплайн позволяет уменьшить влияние шумов и выбросов при сохранении диагностически значимых характеристик ЭКГ-сигнала, что создает предпосылки для повышения качества классификации сердечно-сосудистых состояний [2].

На рис. 1 представлена обобщенная схема конвейера подготовки данных для обучения моделей машинного обучения на основе ЭКГ-сигналов.

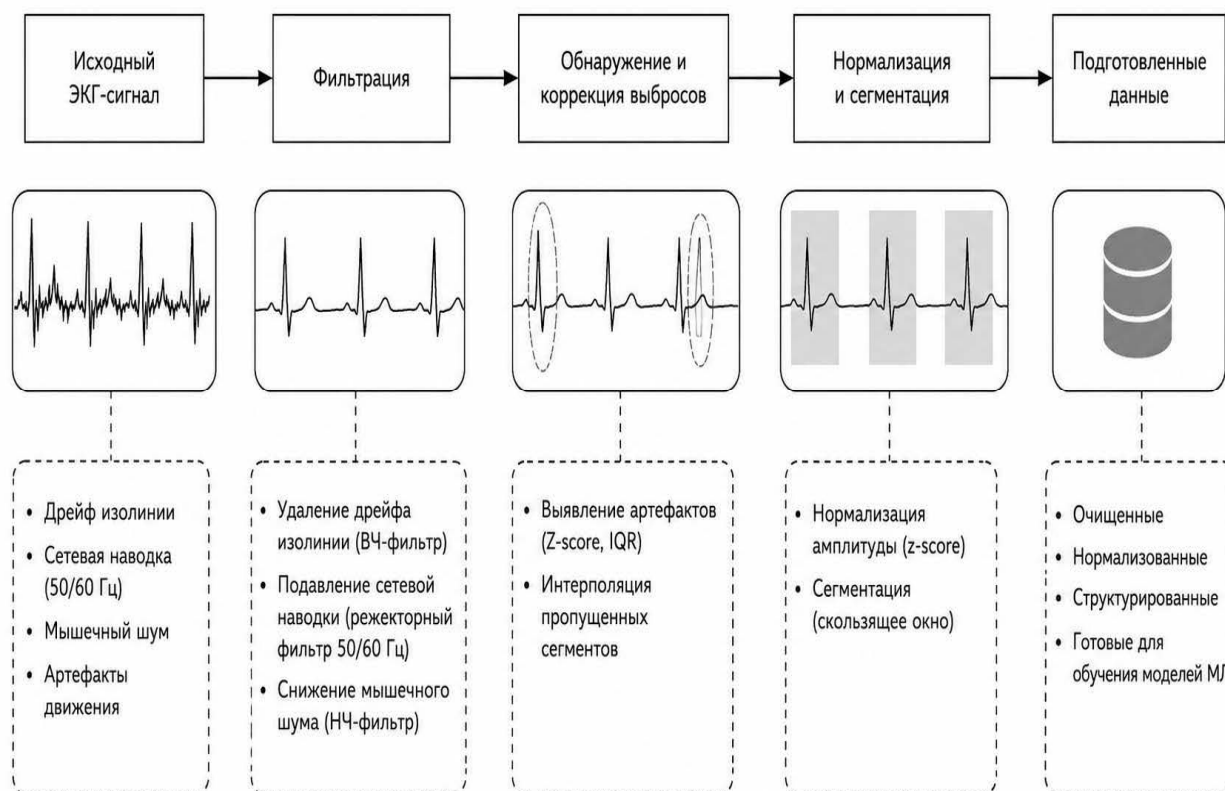


Рис. 1. Схема пайплайна предварительной обработки ЭКГ-сигналов для подготовки данных к обучению моделей машинного обучения

Заключение. Подготовка и очистка данных являются критически важным этапом построения систем машинного обучения для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний по ЭКГ. Основная проблема заключается в многообразии типов шумов, воздействующих на сигнал, что требует их последовательного устранения без потери диагностически значимой информации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интеграция технологий искусственного интеллекта в анализ электрокардиограммы: современные тенденции и перспективы: обзор / Е. В. Хазова, П. А. Шулаева, Р. Р. Савзиханова, М. И. Малкова // Российский кардиологический журнал. – 2026. – Т. 31, № 25. – С. 6835.
2. Noise-Resilient Data Normalization and Outlier Mitigation Using Hybrid Filtering for Enhanced Cardiovascular Disease Prediction. IEEE Xplore, 2026.

УДК 004.5

ДВУХУРОВНЕВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ЗАДАЧ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА

К. И. ПАТУТИН, А. С. НИКИТИНА, Я. В. Х. МЕРКУРЬЕВ
Научный руководитель А. Д. ОБУХОВ, д-р техн. наук, проф.
Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

Современные реабилитационные тренажеры представляют собой программно-аппаратные комплексы, в которых виртуальная среда тренировки формируется и управляется в реальном времени. Ключевую роль в этом играет человеко-машинный интерфейс задач (ЧМИ задач) – подсистема, которая отвечает за наполнение виртуальной сцены [1], проецируемой на поверхность беговой дорожки [2]. Он функционально обособлен от ЧМИ нагрузки (сбор двигательных данных) и ЧМИ управления (взаимодействие оператора с оборудованием). Для их согласованной работы необходима систематизация информационных ресурсов ЧМИ задач, т. к. от их структуры напрямую зависят качество обратной связи с пользователем, управляемость тренировочного процесса и возможность адаптивной подстройки среды.

Предлагается двухуровневая классификация ресурсов. На верхнем уровне критерием выступает направление потока данных относительно ЧМИ задач, что позволяет разграничить данные, потребляемые подсистемой извне, и данные, циркулирующие в её внутреннем контуре. По этому критерию ресурсы разделены на ресурсы состояния (входящие) и ресурсы управления (внутренние). На втором уровне ресурсы управления делятся по способу образования на задаваемые (статические и динамические) и вычисляемые.

Ресурсы состояния – это внешние по отношению к ЧМИ задач данные, поступающие от смежных подсистем тренажёра: ЧМИ нагрузки и ЧМИ управления. Они описывают текущий контекст тренировки, на основании которого ЧМИ задач определяет реакцию виртуальной среды.

От ЧМИ нагрузки поступают текущие параметры пользователя: координаты положения стоп и положение центра давления. Эти данные образуют непрерывный поток, обеспечивающий синхронизацию виртуальной сцены с реальными движениями пользователя. От ЧМИ управления поступает команда управления тренировочной сессией (старт/стоп/пауза). Этот сигнал задает режим работы ЧМИ задач, синхронизируя состояние виртуальной сцены с фазой тренировки.

Ресурсы управления – это данные, циркулирующие в контуре ЧМИ задач и непосредственно определяющие вид, поведение и адаптивность виртуальной сцены. По способу образования они разделены на задаваемые и вычисляемые.

Задаваемые ресурсы загружаются в ЧМИ задач извне или устанавливаются оператором и образуют фундамент виртуальной сцены. Они, в свою очередь, делятся на статические и динамические. К статическим ресурсам относятся те

ресурсы, которые не изменяются в ходе сессии, к примеру графический контент (фон, препятствия, целевые метки), логика сценария реабилитации и множество сцен, привязанных к клиническим задачам реабилитации.

За настройки поведения сценария отвечают динамические ресурсы. К ним относятся номер активной сцены и набор параметров данной сцены (привязка к скорости беговой дорожки, частота препятствий, габариты и расположение целевых зон). Такие ресурсы могут изменяться во время сессии, т. е. адаптивно перестраиваться на основе вычисляемых данных без вмешательства оператора, закладывая механизм автоматического подбора сложности и отслеживания прогресса пользователя.

Вычисляемые данные возникают внутри ЧМИ задач, когда система сопоставляет ресурсы состояния и задаваемые ресурсы управления. К таким ресурсам можно отнести: попадание стопы в область виртуального объекта; классификация действия и индикация её цветом виртуального объекта; сигнализирующего об успехе или предупреждающего об ошибочности данного движения. Эти ресурсы поступают в ЧМИ оператора и на их основе вычисляются итоговые метрики для оценки реабилитационного эффекта. Также эти ресурсы обеспечивают пользователю обратную связь, предоставляя ему визуальную реакцию на его движение.

В работе предложена двухуровневая классификация, которая задает формализованную структуру информационных ресурсов ЧМИ задач, закрепляя состав и направление потоков данных между элементами реабилитационного тренажера. Такая формализация закладывает основу для построения адаптивных сценариев, автоматически подстраивающих сложность среды под прогресс пользователя [3], что позволит сократить сроки восстановления статодинамических функций пользователя реабилитационного тренажера.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Разработка медицинских VR тренажерных систем для опорно-двигательной реабилитации с биологической обратной связью» (№ 124032800018-5).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Карпушкин, С. В.** Выбор структуры и параметров систем визуализации тренажерных комплексов / С. В. Карпушкин, А. Д. Обухов, А. Е. Архипов // Инженерные технологии. – 2023. – № 2 (2). – С. 41–51.
2. **Obukhov, A.** Development of Control Algorithms for an Adaptive Running Platform for a Musculoskeletal Rehabilitation System / A. Obukhov, A. Volkov // Sensors. – 2025. – Vol. 25. – P. 6667.
3. **Волков, А. А.** Алгоритм адаптации виртуальной сцены и имитационных компонентов в системе опорно-двигательной реабилитации / А. А. Волков, Я. В. Х. Меркурьев, К. И. Патутин // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 10–12 нояб. 2025 г. – Тамбов : Тамбов. гос. техн. ун-т, 2025. – С. 183–186.

УДК 004.5

СТРУКТУРА ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА УПРАВЛЕНИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА

К. И. ПАТУТИН, А. С. НИКИТИНА, Д. Е. ПОГОНИНА

Научный руководитель А. Д. ОБУХОВ, д-р техн. наук, проф.

Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

В последние годы активно развиваются инновационные системы для физиотерапии и реабилитации, которые значительно расширяют возможности реабилитационной тренировки пользователей. Эти технологии охватывают широкий спектр задач, включая реабилитацию после инсульта, лечение травм, восстановление двигательных функций и улучшение общей мобильности.

Однако усложнение технической системы увеличило сложность взаимодействия между ключевыми элементами реабилитационного тренажера [1], которыми выступают пользователь и оператор. Для решения этой задачи предлагается структура человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) управления, которая позволит оператору эффективно управлять процессом реабилитации для обеспечения максимального вовлечения пользователя. Оператор будет помогать пользователю с управлением дорожки, корректируя параметры и отслеживая его состояние, а для повышения интереса пользователей будут использоваться различные игровые элементы, чтобы процесс восстановления был увлекательным и продуктивным.

Работа оператора с системой организована в виде последовательного перемещения по страницам интерфейса, каждая из которых предоставляет определённый набор действий и функциональных возможностей. На рис. 1 продемонстрированы переходы между страницами, которые осуществляются оператором посредством нажатия соответствующих кнопок, при этом система контролирует корректность и допустимость каждого перехода.

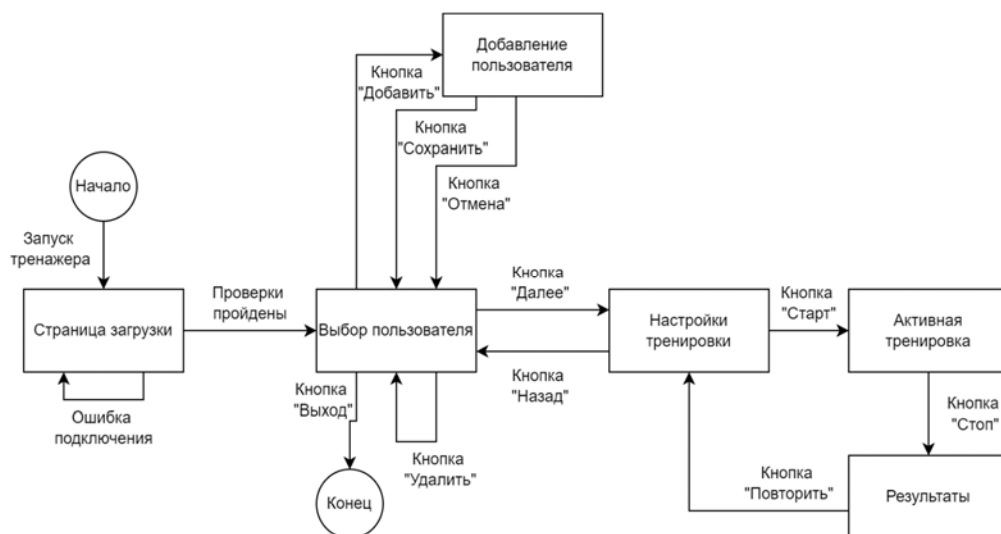


Рис. 1. Схема навигации интерфейса оператора

Процесс взаимодействия оператора и реабилитационного тренажера начинается со страницы загрузки, которая определяет готовность всех подсистем тренажера. После успешного шага инициализации системы оператор переносит на страницу работы с профилями пользователей, где у него отображается список уже зарегистрированных людей внутри базы данных. Помимо выбора текущего для тренировки пользователя, на данной странице доступны действия по управлению текущим списком в базе данных: удаление устаревших записей, а также добавления новой и редактирование ошибочной записи о пользователе на странице добавления пользователя.

Далее оператор переходит на страницу конфигурирования тренировки, где осуществляется выбор тренировочного упражнения и списка доступных сценариев, полученных из ЧМИ задач. Каждое упражнение представляет собой определенную среду с набором различных элементов, взаимодействие пользователя с которыми образует процесс реабилитационной тренировки. После выбора сценария оператору предоставляется возможность настроить его параметры: уровень сложности, скоростные характеристики дорожки.

Нажатие кнопки «Старт» на странице настройки инициирует запуск тренировочного процесса. На этой странице запускаются в работу интерфейс нагрузки, осуществляющий сбор двигательных данных, и интерфейс задач, отвечающий за визуализацию тренировочной среды и формирование управляющих воздействий на пользователя. В течение тренировки оба интерфейса в реальном времени предоставляют оператору и пользователю информацию о ходе выполнения упражнений. Навигационные кнопки «Назад» в активной фазе заблокированы во избежание случайного прерывания сеанса. Единственным доступным управляющим воздействием является кнопка «Стоп», предназначенная для завершения тренировки, после которой выполняется расчёт итоговых метрик в структурированном табличном виде.

Практическая значимость человеко-машинного интерфейса управления заключается в повышении управляемости процесса реабилитации, т. к. ЧМИ выстраивает эффективное взаимодействие между пользователем и оператором, гарантируя обратную связь и создавая основу для индивидуального подхода к выполнению реабилитационной тренировки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Разработка медицинских VR тренажерных систем для опорно-двигательной реабилитации с биологической обратной связью» (№ 124032800018-5).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патутин, К. И. Формализованная постановка задачи выбора человеко-машинного интерфейса для реабилитирующих тренажеров / К. И. Патутин // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 10–12 нояб. 2025 г. – Тамбов : Тамбов. гос. техн. ун-т, 2025. – С. 130–133.

УДК 004.89

СОГЛАСОВАНИЕ ГИПОТЕЗ АГЕНТОВ И ФИЛЬТРАЦИЯ
ЛОЖНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ТЕЛЕМЕТРИИ

А. А. ПЛОТНИКОВ

Научный руководитель А. А. МИЛОВИДОВА, канд. техн. наук, доц.
Государственный университет «Дубна»
Дубна, Россия

Ансамбли обнаружения отклонений и специализированные анализаторы телеметрии (корреляция параметров, дрейф, оценка исправности датчика) формируют пересекающиеся гипотезы. Без слоя согласования оператор получает поток повторных и противоречивых рекомендаций: локальный выброс при сохранённой корреляции эскалируется так же, как разрыв технологической связи. Задача работы – не заменить детекторы и не описать систему поддержки решений в целом, а ввести программируемую фильтрацию выдачи на основе согласования гипотез.

Предложен контур «гипотеза – решатель – выдача». Каждый анализатор публикует гипотезу с идентификатором агента, оценкой уверенности и признаками (параметр, статус, признак *gate*). Решатель не удаляет исходные детекции: он изменяет уверенность, переводит конфликт в статус «наблюдать» либо повышает приоритет рекомендации. Политика выдачи включает четыре правила.

Первое – ограничение частоты (*cooldown*): не чаще одной рекомендации на параметр за заданный интервал; повторные срабатывания того же тега пропускаются. Второе – подавление (*suppress*): локальное отклонение при сохранённой корреляции связанных параметров не эскалируется, уверенность ограничивается, оператору предлагается наблюдение. Третье – усиление (*boost*): разрыв корреляции, дрейф или признак неисправности датчика повышают приоритет выдачи. Четвёртое – порядок разбора конфликта: разрыв связи важнее *suppress*, *suppress* важнее усиления по дрейфу и исправности, иначе рекомендация выдаётся без изменения приоритета.

Программная реализация выполнена в прототипе на *Qt*. Поток телеметрии поступает к агентам анализа; *HypothesisResolver* согласует гипотезы; журнал фиксирует события *cooldown*, *suppress* и *boost*. Проверка – стенд с имитаторами и сценариями шум, корреляция, разрыв связи, дрейф, залипание, импульс.

На стенде ограничение частоты выдачи отсекает повторные рекомендации по одному параметру. Правила *suppress* и *boost* срабатывают: локальное отклонение при сохранённой корреляции переводится в наблюдение, разрыв связи и признаки дрейфа повышают приоритет. События политики записываются в журнал и позволяют разбирать конфликт детекторов без удаления исходных гипотез.

Таким образом, предложен слой согласования гипотез специализированных агентов как фильтр рекомендаций оператору при анализе телеметрии.

УДК 004.45:681.5

КОНТРОЛЬ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫРАБОТКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИИ, ДАТЧИКОВ И ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА

Д. В. СВОБОДИН

Научный руководитель Т. А. ПЕТРОВСКАЯ

Национальный детский технопарк

Минск, Беларусь

Государственная программа на 2026–2030 годы в рамках цифровизации предполагает внедрение систем интеллектуального мониторинга для оценки состояния оборудования, прогнозирования выработки энергии и оповещения о чрезвычайных ситуациях [1]. Эта проблема наиболее ярко проявляется в связи с солнечными электростанциями, производительность которых зависит от частых и порой резких изменений погодных условий. Существующие в настоящее время средства сбора и обработки данных не всегда обеспечивают необходимый уровень точности измерений. Поэтому разработка автоматизированной системы измерений с использованием элементов искусственного интеллекта является вполне оправданной и актуальной.

Разработанная трёхуровневая архитектура интеллектуальной системы мониторинга солнечной панели изображена на рис. 1.

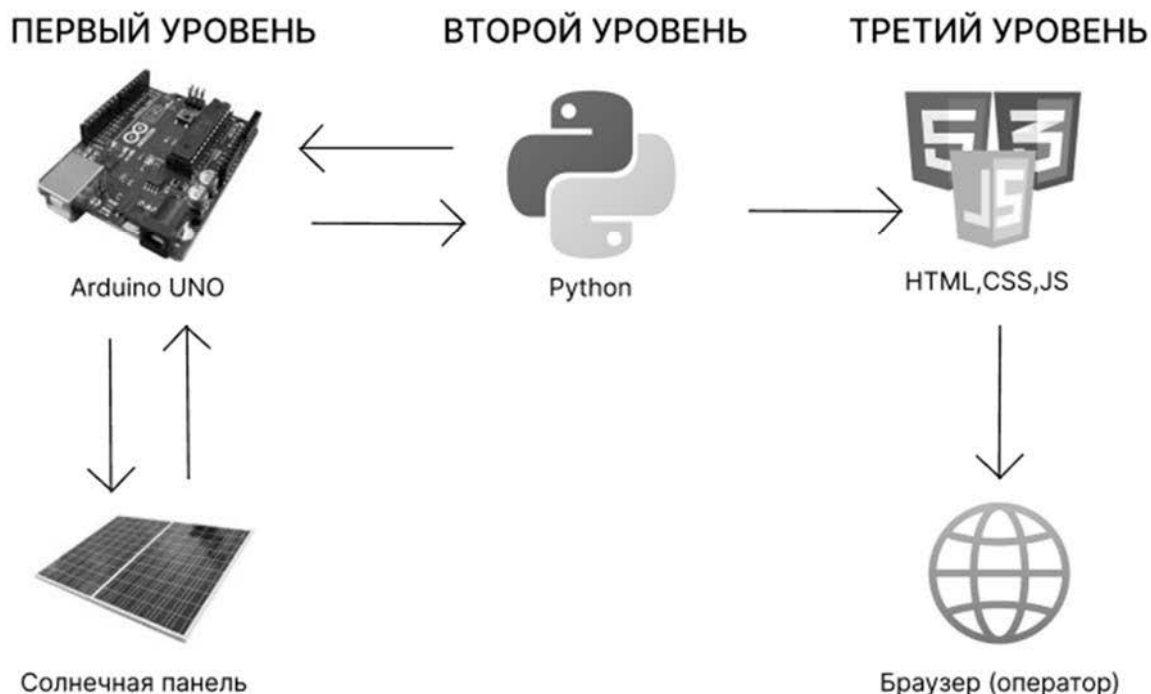


Рис. 1. Схема распределения уровней

Первый уровень представлен микроконтроллером Arduino UNO, который опрашивает датчики каждую секунду (табл. 1).

Табл. 1. Используемые датчики

Название	Назначение
DHT11	Измерение температуры и влажности окружающей среды
Фоторезистор (LDR)	Датчик освещённости
INA219	Датчик силы тока и напряжения

Второй уровень, разработанный на Python с библиотеками pyserial, NumPy и TensorFlow, рассчитывает такие параметры, как накопленная энергия, сопротивление, КПД и точка росы. Эти данные поступают на анализ в нейросеть LSTM. Эксперименты подтвердили стабильность модели, которая заблаговременно определяет падение эффективности панелей, например, при переходе от сумерек к темноте. В таких случаях система присваивает оборудованию статус «критическое». Уведомление мгновенно передается оператору через веб-интерфейс, что позволяет заранее компенсировать просадку генерации.

Третий уровень – это веб-интерфейс, разработанный с использованием HTML5, CSS3 и JavaScript с клиентом WebSocket. Все измеряемые и рассчитанные значения (напряжение, ток, мощность, температура, влажность, освещённость, эффективность, PR, сопротивление, точка росы, накопленная энергия) представлены в реальном времени. Отдельный блок посвящён нейросетевому анализу: присутствует прогноз выработки энергии на 5 мин и сутки, а также индикатор здоровья панели и класс состояния. Данные о силе тока, напряжения, освещённости и т. д. красиво выводятся на динамических графиках Charts.js за последние 60 с. Интерфейс доступен с любого устройства через браузер по локальной сети, что обеспечивает удобный контроль в любой момент.

Автоматизация сбора параметров исключила ручные ошибки и обеспечила постоянный контроль метеорологических и электрических показателей [2]. Использование LSTM-нейросетей и удаленного веб-интерфейса позволяет заблаговременно прогнозировать выработку энергии и состояние оборудования, предотвращая убытки [2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. О Государственной программе «Устойчивая энергетика и энергоэффективность» на 2026–2030 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 31 дек. 2025 г. № 819. – Мн. : Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2026.

2. **Арцивенко, И. Е.** Искусственный интеллект в энергетике: возможности, кейсы и барьеры внедрения / И. Е. Арцивенко // Вестник науки. – 2025. – Т. 2, № 12 (93). – С. 1994–2000.

УДК 004.45:620.9

РОЛЬ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА В СНИЖЕНИИ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА ПРИ ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ ЭНЕРГООБЪЕКТАМИ

Д. В. СВОБОДИН

Научный руководитель Т. А. ПЕТРОВСКАЯ

Национальный детский технопарк

Минск, Беларусь

Снизить число ошибок оператора – главная задача системы безопасности в энергетике. Инженеры решают ее двумя путями: обновляют оборудование и меняют эргономику рабочих мест. Здесь помогают специализированные веб-интерфейсы. Они упрощают работу диспетчера, повышая точность принятых решений при авариях [2]. В основе таких систем лежит иерархия данных. Самые важные параметры (сигналы тревог, перегрузки и сбои) выходят в первую зону внимания [2].

Цветовая схема предельно проста: зелёный сигнал – норма, жёлтый – предупреждение, красный – авария. Логика однозначна. Она убирает двойные трактовки и защищает человека от переутомления. В интерфейсе нет лишних элементов. Каждая деталь выполняет конкретную функцию, чтобы не создавать шум на экране.

Система защищена от случайных нажатий. Любое критическое действие требует подтверждения в два шага. Это исключает случайные клики. Цветовую гамму подобрали под долгие смены. Тёмно-серый и синий фон не утомляют глаза. Яркие элементы, привлекающие внимание, появляются только при сбоях.

Практическую работу подхода иллюстрирует локальный веб-сервер, разработанный для мониторинга солнечной станции. Серверная часть реализована на Python с использованием специализированных библиотек для опроса датчиков, работы с серверами и LSTM-моделями. В блок аналитики интегрирована нейросетевая модель LSTM, которая обрабатывает временные ряды и прогнозирует отклонения в работе оборудования [1]. Клиентский интерфейс построен на базе HTML, CSS и JavaScript. Он формирует динамические экранные формы: показания датчиков, различные графики (рис. 2), панели управления и журнал событий (рис. 1). Такое разделение логики и оформления полностью соответствует стандартам АСУ ТП [2].

Тёмная тема и логичные блоки данных помогают оператору моментально считывать статус оборудования. При выходе параметров за норму система подсвечивает нужные поля, а модель LSTM заранее предупреждает о рисках на

основе анализа прошлых режимов. Это ускоряет реакцию персонала и снижает когнитивную нагрузку.

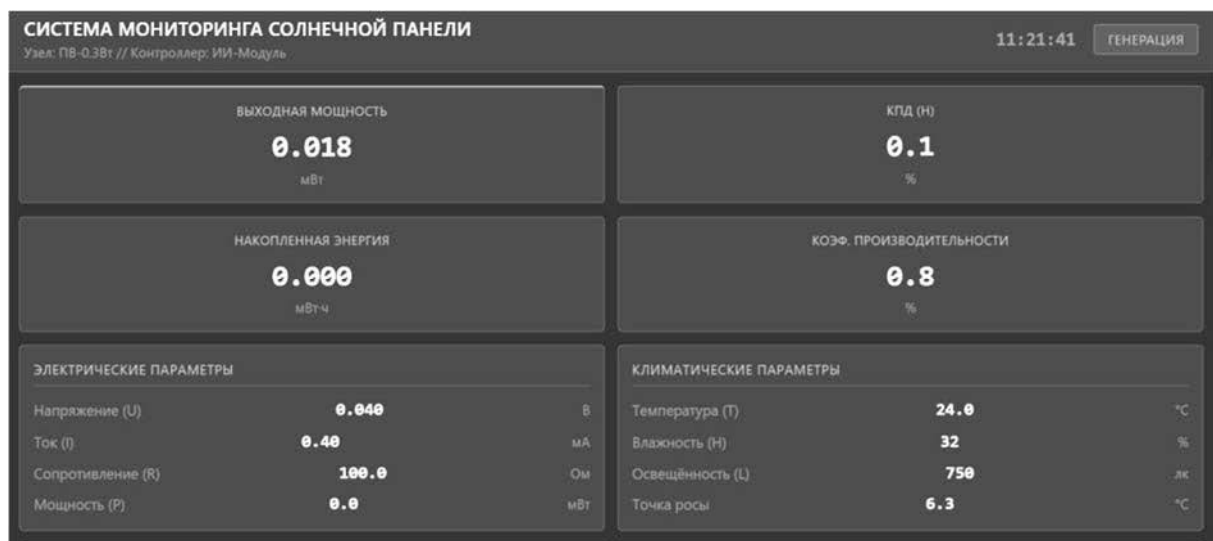


Рис. 1. Вид разработанной веб-страницы

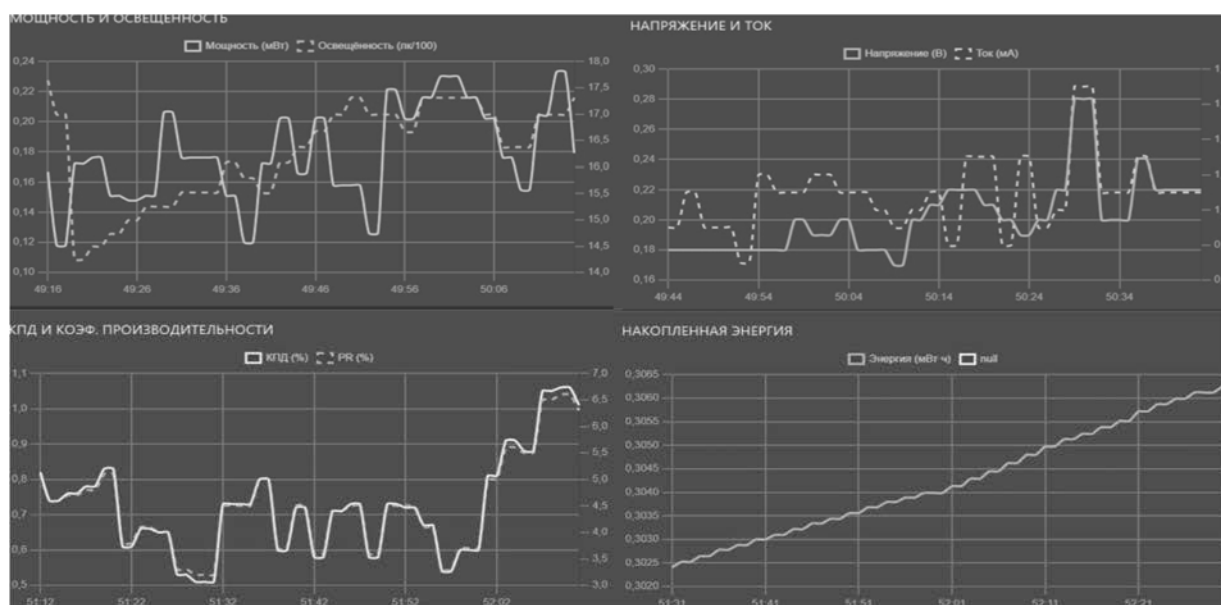


Рис. 2. Графики на разработанной веб-странице

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Музлова, А. Д. Машинное обучение в управлении энергетическими системами / А. Д. Музлова, Д. Г. Черемисин, В. Р. Мкртчян // Символ науки. – 2024. – № 6-2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-obuchenie-v-upravlenii-energeticheskimi-sistemami> (дата обращения: 18.08.2026).
2. АСУ ТП энергетического комплекса с подстанцией ПС-110/10/6кВ и ГТ ТЭЦ-009 «Энергомаш» / В. Матвеев, Н. Мацавей, Г. Плессер [и др.] // СТА. – 2010. – № 3. – С. 34–46. – URL: <https://www.cta.ru/cms/f/434757.pdf> (дата обращения: 19.08.2026).

УДК 004.8:378.147

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АГЕНТ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ LMS MOODLE НА ОСНОВЕ БОЛЬШОЙ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ

Ю. Н. СКУЛЬСКИЙ, Ю. Ю. МЕДВЕДЕВА

Научный руководитель С. В. ПОТЁМКИНА, канд. техн. наук, доц.

Государственный университет «Дубна»

Дубна, Россия

Система управления обучением (LMS) Moodle остаётся одной из наиболее распространённых платформ дистанционного обучения в вузах России, в том числе в государственном университете «Дубна». Богатый набор функций Moodle оборачивается сложным интерфейсом: типовая операция преподавателя – создание раздела, добавление материала, сборка теста из готовых вопросов – требует прохождения нескольких экранов и заполнения форм. Замер трудозатрат показал, что ручное создание теста из 25 вопросов на основе готового фонда оценочных средств (ФОС) занимает у преподавателя порядка 30 мин. В результате заметная доля рабочего времени преподавателя уходит не на содержательную работу с учебным материалом, а на освоение интерфейса платформы и выполнение в нём рутинных операций.

Целью работы является разработка и апробация интеллектуального агента для поддержки и управления LMS Moodle, автоматизирующего рутинные действия преподавателя за счёт большой языковой модели (LLM) и механизма вызова инструментов (Tool Calling).

На начальном этапе рассматривался подход Retrieval-Augmented Generation (RAG): модель дополняет ответ фрагментами, извлечёнными из базы знаний. Эксперименты подтвердили пригодность RAG для справочных сценариев, однако выявили его принципиальный предел – модель способна лишь объяснить, как выполнить операцию в Moodle, но не выполнить её самостоятельно. Поэтому архитектурный акцент был смещён на агентный подход через Tool Calling, при котором модели передаётся не база документов, а описание набора инструментов – функций, выполняющих конкретные операции в системе. Модель разбирает запрос пользователя, выбирает нужные инструменты и формирует параметры вызова. Сервер выполняет действия и возвращает результат, на основе которого формулируется итоговый ответ.

По результатам исследования спроектирован и реализован local-плагин Moodle ThinkMate AI Chat с трёхуровневой архитектурой: клиентский чат-виджет (JavaScript AMD, шаблоны Mustache), серверная часть, включающая ядро обработки запросов и слой внешних функций Moodle (External API), и внешний API языковой модели DeepSeek. Модель данных включает пять таблиц: историю

диалогов, детализированные логи с разбивкой расхода токенов по этапам, резервные копии для отмены действий, очередь асинхронных задач и кэш прикрепленных файлов. Набор инструментов агента насчитывает свыше тридцати функций и охватывает основные потребности преподавателя: добавление контента, создание и редактирование тестов и вопросов, управление секциями курса, просмотр участников и результатов. Каждая операция проверяется через штатную систему прав доступа (Capabilities) Moodle, а потенциально необратимые действия (удаление, переименование, перемещение) сохраняются в таблице отмены перед выполнением.

Отдельно реализован модуль автоматической генерации тестов из ФОС, поддерживающий пять форматов входных файлов (Word, PDF, Excel, TXT, вставленный текст) и все восемь типов вопросов Moodle. Преподавателю достаточно прикрепить файл в чат и сформулировать команду на естественном языке – агент извлекает текст, структурирует вопросы и создаёт тест в курсе.

Функциональное тестирование на локальной инстанции Moodle 4.3 подтвердило корректную работу всех групп инструментов и соблюдение ролевой модели прав доступа: при попытке выполнения операций от имени студента модифицирующие инструменты корректно отклоняли запрос. Средняя длина цикла Tool Calling составила 2–3 итерации, время отклика для простых операций – 4...7 с. Проверка модуля генерации тестов на реальных ФОС трёх дисциплин показала точность извлечения вопросов 94 %, правильной типизации вопросов – 97 %, верного определения правильного ответа – 98 %. Помимо тестового курса, средствами агента на реальных материалах Института системного анализа и управления был сформирован курс диагностической работы, что подтвердило применимость решения за пределами тестового окружения. Сравнение временных затрат на создание теста из 25 вопросов показало сокращение трудозатрат преподавателя с 30 мин до 1 мин, т. е. примерно в 30 раз (на 96,7 %).

Таким образом, предложена и реализована архитектура интеллектуального агента для LMS Moodle, в которой языковая модель не консультирует, а выполняет реальные операции по управлению курсом через Tool Calling с полным соблюдением ролевой модели прав доступа. Практическая ценность работы состоит в готовом к внедрению плагине, не требующем изменения ядра платформы и заметно снижающем трудозатраты преподавателя на рутинные операции. Направления дальнейшего развития – применение RAG для работы с крупными коллекциями учебных материалов, поддержка альтернативных языковых моделей и апробация решения с реальными пользователями в учебном процессе.

УДК 004.9:378

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПЛАГИН К *LMS* ДЛЯ КОНТЕКСТНОЙ ПОДДЕРЖКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ

В. С. ТИШАКОВ

Научный руководитель О. А. КРЕЙДЕР, канд. техн. наук, доц.

Государственный университет «Дубна»

Дубна, Россия

Современные *LMS* активно используются в вузах для предоставления учебных материалов, выдачи заданий, тестирования и оценивания результатов студентов. Но чаще всего используются для функций хранения, предоставления и контроля образовательного материала. В связи с этим актуальным становится расширение *LMS* средствами искусственного интеллекта, который в данной работе рассматривается как вспомогательный инструмент для гибкого обучения. При этом искусственный интеллект целесообразно рассматривать не как замену преподавателю, а как дополнительный инструмент для повышения эффективности образовательного процесса [1].

Целью работы является разработка подхода к проектированию интеллектуального плагина к расширению *LMS*, обеспечивающего контекстную поддержку обучающегося на основе методов искусственного интеллекта.

Функции данного расширения включают в себя следующие модули: модуль интеллектуального сокращения, предназначенный для формирования краткой версии материала с сохранением основной мысли; модуль адаптивного объяснения материала, позволяющий представить сложный фрагмент учебного текста более простыми словами; модуль генерации карточек знаний, предназначенный для быстрого запоминания терминологии предмета (карточки могут содержать термины, определения, ключевые вопросы и краткие ответы); модуль «вопрос – ответ», используемый для формирования набора контрольных вопросов по изучаемому материалу, что позволяет обучающемуся проверить понимание темы; модуль генерации заданий и тестовых вопросов, предназначенный для организации самопроверки и закрепления изученного материала.

Практическая реализация разрабатываемого решения выполнена на базе *LMS* университета «Дубна» [1]. На текущем этапе реализована студенческая часть системы, ориентированная на помощь обучающемуся при работе с учебным материалом. Дальнейшее развитие предполагает создание преподавательского контура, включающего инструменты помощи при проектировании структуры курса, генерации учебных заданий и тестов, анализе статистики обучающихся, выявлении слабых тем и построении дерева знаний.

Таким образом, разработка интеллектуального плагина к *LMS* является актуальным направлением развития цифровой образовательной среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тишаков, В. С. Анализ эффективности применения различных педагогических подходов с использованием искусственного интеллекта для формирования компетенций при подготовке ИТ-специалистов / В. С. Тишаков, О. А. Крейдер // Системный анализ в науке и образовании. – 2026. – № 1. – С. 53–64.

УДК 004.89

КОМПОЗИЦИЯ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ ОХВАТОВ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИЯХ С НЕЧЕТКИМИ ЧИСЛАМИ

П. С. ХАРЛАМОВ

Научный руководитель А. С. ФЕДУЛОВ, д-р техн. наук, проф.
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Одним из основных источников переоценивания в нечетких вычислениях является потеря структуры нелинейной зависимости при замене функции последовательностью интервальных операций. Для ограничения данного эффекта целесообразно использовать функциональные полиномиальные представления, сохраняющие зависимость результата от исходных переменных до этапа вычисления итогового диапазона. К числу таких представлений относятся формы Тейлора, модели Чебышева и форма Бернштейна, однако их математические роли различаются.

Для функции f на локальной области B Taylor-представление порядка p записывается в виде

$$f(x) = P_p^T(x; c) + R_{p+1}^T(B; c),$$

где c – выбранный центр; P_p^T – полином Тейлора; R_{p+1}^T – включающая оценка остатка. Такое представление обладает выраженным локальным характером: при уменьшении диаметра B остаток, при соответствующей гладкости функции, уменьшается с порядком $O(h^{p+1})$.

На более широкой области альтернативой является модель Чебышева

$$f(x) = P_p^{ch}(z) + R_p^{ch}, \quad z \in [-1; 1], \quad P_p^{ch}(z) = \sum_{k=0}^p a_k T_k(z).$$

В отличие от разложения Тейлора, привязанного к одной точке, полином Чебышева ориентирован на распределение ошибки по всей области. Поэтому его использование может быть предпочтительно для широких гладких α -сечений.

После построения полиномиальной части остается самостоятельная задача вычисления ее диапазона. Прямая интервальная подстановка в полином может вновь породить зависимостное переоценивание. Для его ограничения полином переводится в форму Бернштейна

$$P(t) = \sum_{k=0}^n \beta_k B_{k,n}(t), \quad t \in [0; 1], \quad B_{k,n}(t) = C_n^k t^k (1-t)^{n-k}.$$

Поскольку $B_{k,n}(t) \geq 0$ и $\sum_k B_{k,n}(t) = 1$, значение полинома является выпуклой комбинацией коэффициентов формы Бернштейна (β), откуда следует, что формы Тейлора, модели Чебышева целесообразно рассматривать как средства построения функциональной аппроксимации, а форму Бернштейна – как средство включающего оценивания диапазона полученного полинома.

УДК 004.89

LU-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВЫХ ОПЕРАЦИЙ НЕЧЕТКОЙ АРИФМЕТИКИ

П. С. ХАРЛАМОВ

Научный руководитель А. С. ФЕДУЛОВ, д-р техн. наук, проф.
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

В задачах многошагового нечеткого моделирования стандартный принцип расширения Л. Заде приводит к неконтролируемому расширению носителей результирующих нечетких чисел. Уже через несколько итераций вышеуказанное лишает результаты семантической значимости.

Пусть нечеткое число $\tilde{X}$ в LU-форме задается парой параметризованных функций $\{x_L(\alpha), x_R(\alpha)\}$, где $\alpha \in [0, 1]$, $x_L(\alpha)$ и $x_R(\alpha)$ соответствуют левой и правой границам α -среза. Функции удовлетворяют условиям:

- $x_L(\alpha)$ не убывает, $x_R(\alpha)$ не возрастает;
- $x_L(1) = x_R(1)$, соответствующее модальному значению;
- $\text{supp}(\tilde{X}) = [x_L(0), x_R(0)]$ компактно.

На практике ветви аппроксимируются полиномами степени d (формулы (1) и (2)), что сводит представление нечеткого числа к вектору коэффициентов $p = [a_0, \dots, a_d, b_0, \dots, b_d]^T \in R^{2(d+1)}$, где a_j – коэффициент левой ветви; b_j – коэффициент правой ветви.

$$x_L(\alpha) = \sum_{j=0}^d (a_j \alpha^j); \quad (1)$$

$$x_R(\alpha) = \sum_{j=0}^d (b_j \alpha^j). \quad (2)$$

В LU-базисе бинарные операции выполняются поуровнево с последующей параметрической реконструкцией. Для сложения и вычитания, сохраняющих монотонность ветвей, результирующие коэффициенты вычисляются аналитически. Для нелинейных операций применяются численные схемы оптимизации на сетке α -уровней с последующей регрессией в полиномиальный базис.

Ключевое преимущество LU-формы заключается в том, что ширина носителя $w(\tilde{X}) = x_R(0) - x_L(0)$ и форма функции принадлежности становятся явными функциями параметров, что позволяет применять градиентные методы регуляризации и адаптивного сжатия без нарушения выпуклости и нормальности.

УДК 004.89

СОВМЕСТНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЛЯ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЧЕТКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

П. С. ХАРЛАМОВ

Научный руководитель А. С. ФЕДУЛОВ, д-р техн. наук, проф.
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Классическая нечеткая арифметика базируется на принципе расширения, который при вычислении $y = f(x_1, \dots, x_n)$, где $X = (x_1, \dots, x_n)$ – вектор входных значений x , предполагает факторизацию совместной функции принадлежности $\mu(x) = \min_i \mu_{x_i}(x_i)$. В рекуррентных процессах, где выходные переменные одного шага участвуют во входных выражениях следующего, операнды становятся статистически и функционально зависимыми. Игнорирование этой зависимости приводит к завышению ширины результирующих интервалов, что многократно усиливает накопление неопределенности.

Предлагается подход, основанный на поуровневой оценке корреляций. Для фиксированного α -среза $\in [0, 1]$ вводится ковариация нечетких переменных X_i и X_j :

$$\text{Cov}_\alpha(X_i, X_j) = \frac{1}{w_{i,\alpha} w_{j,\alpha}} \int_{[X_i]^\alpha} \int_{[X_j]^\alpha} (x - \bar{x}_{i,\alpha})(y - \bar{x}_{j,\alpha}) d\pi_\alpha(x, y), \quad (1)$$

где $\bar{x}_{i,\alpha}$ – центр α -среза; $w_{i,\alpha}$ – его ширина; π_α – условное распределение (веса, задаваемые распределением возможностей) на срезе.

Затем нормированный коэффициент попарной корреляции $p_{ij}(\alpha) \in [-1, 1]$ усредняется по уровням $\bar{p}_{ij} = \int_0^1 p_{ij}(\alpha) d\alpha$. На основе попарных корреляций строится совместное распределение возможностей $\pi(x)$:

$$\pi(x) = \min_i \mu_{x_i}(x_i) \cdot \prod_{i < j} (1 + \beta \cdot \bar{p}_{ij} \delta_{ij}(x)), \quad (2)$$

где $\beta \in [0, 1)$ – коэффициент учета зависимости; $\delta_{ij}(x)$ – индикатор согласованности направлений отклонения от модальных значений.

Соответственно, модифицированный принцип расширения вычисляет α -срезы результата (Y) как

$$[\tilde{Y}]^\alpha = [\min_{\substack{x \in [\tilde{X}]^\alpha \\ \pi_\alpha(x) \geq \alpha}} f(x), \max_{\substack{x \in [\tilde{X}]^\alpha \\ \pi_\alpha(x) \geq \alpha}} f(x)]. \quad (3)$$

Метод обеспечивает автоматический учет структурных связей без ручного задания ограничений. В рекуррентных схемах матрица $\bar{p}_{ij}$ может обновляться инкрементально, адаптируясь к изменяющейся топологии взаимодействий.

УДК 004.89

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КАУЗАЛЬНОГО ЭФФЕКТА В БАЙЕСОВСКИХ МОДЕЛЯХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

О. Е. ХАРЛАМОВА

Международная академия современных технологий

Смоленск, Россия

Байесовские сети позволяют выполнять вероятностный вывод при наличии наблюдаемых свидетельств и широко применяются в задачах интеллектуальной поддержки принятия решений. Однако условная вероятность $P(Y|X = x)$ характеризует статистическую зависимость между переменными и в общем случае не позволяет определить последствия целенаправленного изменения X . Для оценки эффекта управленческого воздействия используется интервенционный запрос в виде

$$P(Y|\text{do}(X = x)), \quad (1)$$

где оператор do соответствует принудительной установке значения управляемой переменной. Однако основной проблемой при вычислении указанной величины является идентифицируемость каузального эффекта по доступным наблюдательным данным.

Рассмотрим структуру каузального графа (рис. 1, а), в котором Z является общей причиной воздействия X и результата Y . В данном случае путь из вершины графа Z через вершины X и Y создает смешение, вследствие которого условная вероятность $P(Y|X = x)$ может отличаться от интервенционной вероятности.

Если переменная Z наблюдаема (например, на рис. 1, б установлено, что Z не влияет на X) и удовлетворяет критерию допустимой корректировки, эффект может быть идентифицирован в виде

$$P(Y|\text{do}(X = x)) = \sum_z P(Y|X = x, Z = z)P(Z = z). \quad (2)$$

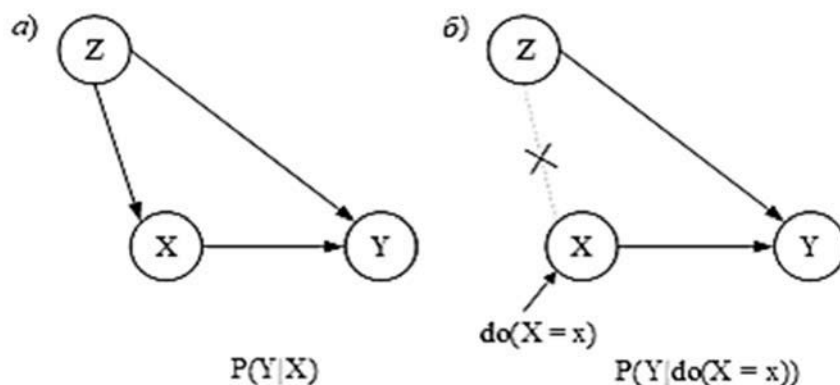


Рис. 1. Различие условного (а) и интервенционного (б) вывода в каузальном графе

УДК 004.89

НЕЧЕТКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНТЕРВЕНЦИОННОГО ЭФФЕКТА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

О. Е. ХАРЛАМОВА

Международная академия современных технологий
Смоленск, Россия

Применение каузальных байесовских моделей позволяет оценивать последствия активных воздействий с использованием интервенционных вероятностей вида $P(Y|X=x)$, где Y и X – переменные; x – значение переменной X . Однако в большинстве теоретических моделей предполагается, что параметры распределений известны достаточно точно. При построении прикладных систем поддержки принятия решений вероятностные характеристики часто определяются по ограниченным статистическим данным или экспертным оценкам. В таких условиях значения условных вероятностей могут иметь интервальный или нечеткий характер. Например, эксперт способен оценить вероятность события как «примерно 0,7» или «от 0,6 до 0,8», но не может обоснованно задать одно точное значение.

В связи с этим предлагается рассматривать нечеткую интервенционную вероятность в виде

$$\tilde{P}(Y|\text{do}(X=x), E), \quad (1)$$

где E представляет совокупность наблюдаемых свидетельств.

При наличии допустимого множества корректировки Z вычисление может быть представлено в обобщенной форме

$$\tilde{P}(Y|\text{do}(X=x)) = \sum_z \tilde{P}(Y|X=x, Z=z) \otimes \tilde{P}(Z=z), \quad (2)$$

где $\otimes$ обозначает операцию над нечёткими вероятностными величинами.

Для поддержки выбора действия целесообразно оценивать не только вероятность результата, но и величину эффекта интервенции $\tilde{\Delta}(a_i)$. Например, если Y соответствует нежелательному событию, например отказу или аварийному состоянию, значение $\tilde{\Delta}(a_i)$ характеризует нечеткую оценку снижения риска при выполнении воздействия a_i , где $i = 1, 2, \dots, I$; I – количество каузальных воздействий.

Для множества альтернатив $A = \{a_1, a_2, \dots, a_I\}$ полученные нечеткие эффекты могут использоваться для ранжирования управленческих решений. При этом следует учитывать не только центральное значение оценки, но и ширину интервала неопределенности. Две альтернативы с близким ожидаемым эффектом, но существенно различной неопределенностью, не должны рассматриваться как равноценные.

УДК 004.89

УЧЕТ ВРЕМЕННОГО ПОРЯДКА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МНОЖЕСТВА КОРРЕКТИРОВОК В КАУЗАЛЬНЫХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЯХ

О. Е. ХАРЛАМОВА

Международная академия современных технологий

Смоленск, Россия

Одним из условий корректного интервенционного вывода является устранение влияния смешивающих факторов. В каузальной байесовской сети для этого формируется множество корректировки Z , позволяющее блокировать некаузальные пути между управляемой переменной X и целевой переменной Y .

Для статической модели интервенционный эффект (do) в простейшем случае может вычисляться по формуле

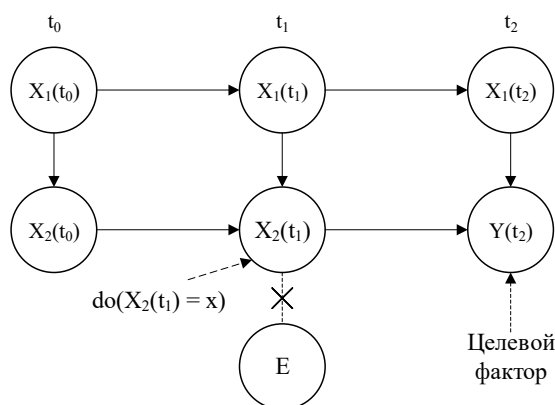
$$P(Y|do(X = x)) = \sum_z P(Y|X = x, Z = z)P(Z = z). \quad (1)$$

Однако для динамических процессов выбор множества корректировки должен учитывать не только структуру графа, но и временной порядок переменных. Пусть воздействие выполняется в момент s , а целевой результат оценивается в момент t . Тогда интервенционный эффект будет иметь вид

$$P(Y_t|do(X_s = x)), \quad (2)$$

где $s < t$.

Если переменная Y_t рассматривается в качестве кандидата на включение в множество корректировок, ее временное положение должно быть согласовано с причинной ролью в модели. В частности, переменная, сформировавшаяся в результате воздействия X_s , не должна рассматриваться как исходный смешивающий фактор. В связи с этим предлагается дополнить структурные критерии выбора множества корректировки темпоральными ограничениями и представить каузальный граф в виде, представленном на рис. 1.



$$\hat{P}(Y(t_2)|do(X_2(t_1) = x), E)$$

Рис. 1. Обобщенная структура каузальной темпоральной нечеткой байесовской сети (темпоральные отношения $t_0 < t_1 < t_2$), E – внешнее воздействие

УДК 004.89

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ ПЕРЕОЦЕНИВАНИЕ

Е. А. ЧЕРНОВА

Научный руководитель П. С. ХАРЛАМОВ

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

При вычислениях с нечеткими числами по α -сечениям операции над функциями принадлежности сводятся к интервальным расчетам. Как утверждает П. С. Харламов [1], повторное вхождение одной неопределенной переменной приводит к потере зависимости между её экземплярами и расширению результата. Величина вычислительного переоценивания определяется не только структурой выражения, но и шириной α -сечений, задаваемой формой функции принадлежности.

Пусть симметричное нечеткое число A имеет сечения $A\alpha = [c - h(\alpha), c + h(\alpha)]$, где $h(\alpha)$ – невозрастающая функция уровня. В исследованиях П. С. Харламова [1] указано, что для зависимого выражения $y = x - x$ точный результат равен нулю, тогда как независимый интервальный расчет дает $Y\alpha = [-2h(\alpha), 2h(\alpha)]$ и ширину области $w\alpha = 4h(\alpha)$. Интегральная оценка переоценивания определяется как

$$\Omega = \int_0^1 w\alpha w\alpha = 4 \int_0^1 h(\alpha) d\alpha.$$

Результаты проведенного вычислительного эксперимента для одинакового носителя s с треугольной, трапециевидальной и параболическими формами представлены на рис. 1. Они показывают, что треугольная форма быстрее сокращает ширину α -сечений и дает меньшую интегральную оценку. Наличие ядра или пологого профиля увеличивает переоценивание. Форма функции принадлежности не создает зависимость ошибку, но определяет ее масштаб.

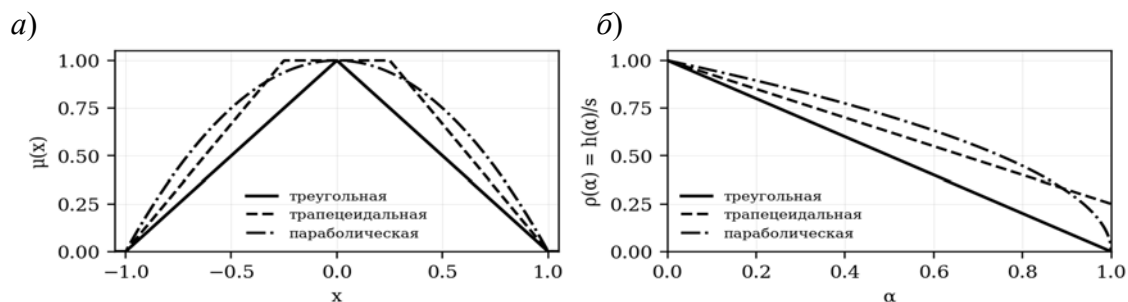


Рис. 1. Форма функций принадлежности и распределение вычислительного переоценивания: а – функции принадлежности; б – относительное переоценивание

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харламов, П. С. Синтез методов нечеткого моделирования и топологического анализа данных для исследования сложных макросистем / П. С. Харламов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 228.

УДК 004.89

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЛОЖЕННОСТИ α -СЕЧЕНИЙ ПРИ НЕЗАВИСИМОМ УРОВНЕВОМ ВЫЧИСЛЕНИИ

Е. А. ЧЕРНОВА

Научный руководитель П. С. ХАРЛАМОВ

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Использование нечетких чисел с помощью α -сечений в интервальных и нечетких вычислениях сводит обработку функции принадлежности к последовательности операции над обычными интервалами [1]. Для сетки уровней $0 < \alpha_1 < \dots < \alpha_m \leq 1$ α -сечение нечеткого числа имеет вид $A_i = [l_i, r_i]$. Необходимым условием корректности такого представления является вложенность $A_j \subseteq A_i$, при $\alpha_i < \alpha_j$, что эквивалентно монотонности границ $L_1 \leq \dots \leq L_m$ и $r_1 \geq \dots \geq r_m$. При независимом вычислении уровней интервалы A_i формируются автономно. Численные погрешности, различие локальных экстремумов и критериев остановки способны разрушить монотонность границ, следовательно, полученное семейство перестает задавать согласованное нечеткое число. Для восстановления структуры предлагается минимальная по включению вложенная мажоранта исходных интервалов, которая определяется как

$$A_i^* = \text{covn } l(U_{k=i}^m A_k) = [\min_k l_k, \max_k r_k].$$

На рис. 1 представлены независимые интервальные оценки. Они пересекают соседние уровневые границы, тогда как предложенная коррекция восстанавливает требуемый порядок без исключения исходно допустимых значений. Метод применим в параллельном нечетком моделировании и многократной интервальной оптимизации.

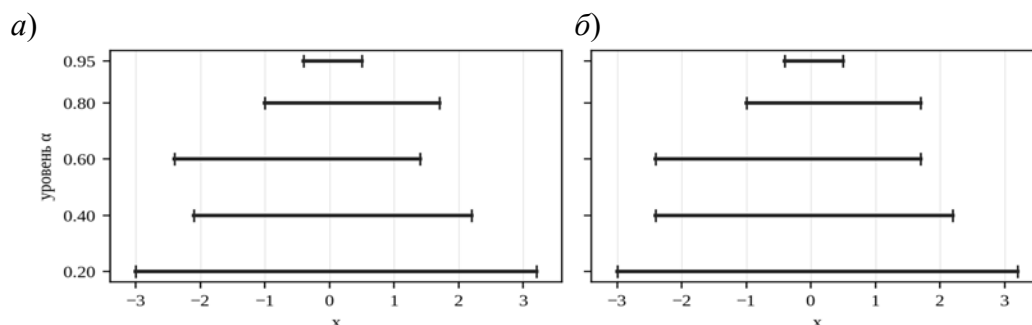


Рис. 1. Нарушение и восстановление вложенности α -сечений: *а* – независимое вычисление; *б* – восстановленная вложенность

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харламов, П. С. Синтез методов нечеткого моделирования и топологического анализа данных для исследования сложных макросистем / П. С. Харламов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 228.

УДК 004.89

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ВТОРОГО РОДА ПРИ АНАЛИЗЕ СОЦИОКИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ УМНОГО ГОРОДА)

Е. А. ЧЕРНОВА

Научный руководитель П. С. ХАРЛАМОВ

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Современные социкиберфизические системы умного города представляют собой сложные динамические макрокомпоненты. Традиционные подходы к их моделированию опираются на стохастические представления, адекватно описывающие неопределенность первого рода (алеаторную), однако игнорируют неопределенность второго рода (эпистемическую) [1], обусловленную неполнотой априорных знаний, структурной неидентифицируемостью моделей и противоречивостью данных от разнородных источников. Игнорирование данного фактора приводит к некорректной оценке рисков, снижению робастности адаптивных контуров и принятию субоптимальных управленческих решений в условиях деградации инфраструктуры. Структура возникновения неопределённости второго рода представлена на рис. 1.

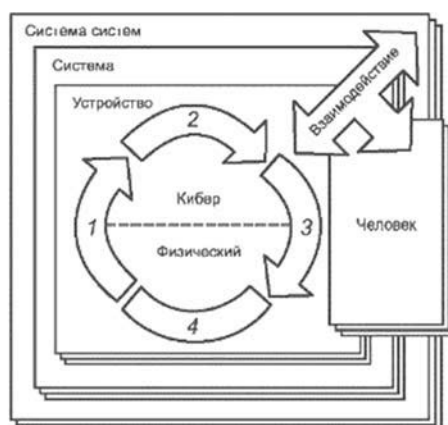


Рис. 1. Структура формирования неопределенности второго рода в социкиберфизической системе умного города: 1 – снятие значений показателей с датчиков; 2 – анализ показателей датчиков; 3 – управляющее воздействие на систему; 4 – мониторинг макросистем

Учет неопределенности второго рода позволяет повысить устойчивость функционирования социкиберфизической системы умного города и обеспечить адаптивное управление городской инфраструктурой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харламов, П. С. Синтез методов нечеткого моделирования и топологического анализа данных для исследования сложных макросистем / П. С. Харламов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 228.

УДК 620.179.18

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО НОЖА НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

А. Р. ШАКИРОВ

Научный руководитель С. С. САМОХИНА, канд. пед. наук, доц., проф. РАЕ

Ульяновский институт гражданской авиации
имени главного маршала авиации Б. П. Бугаева
Ульяновск, Россия

Анализ статистики транспортных происшествий свидетельствует о значительном числе инцидентов, обусловленных повреждением или критическим разрушением оптических элементов транспортных средств гражданского и военного назначения [1, 2].

Актуальность темы проекта обусловлена тем, что на транспорте регистрируется рост числа инцидентов, связанных с остеклением. При этом существующие подходы, отсутствие объективных средств технического контроля, невозможность визуального обнаружения скрытых дефектов не позволяют в полной мере реализовывать регламентные работы и экспресс-диагностику. Особенно важно решение вопросов в авиационной отрасли, т. к. они связаны с экологическими потерями при аварийном снижении воздушных судов и экономическими потерями из-за простоя и ремонта самолетов. Для решения данной проблемы требуется разработка средств объективного контроля, опирающихся на современные аппаратно-программные решения.

Цель проекта – разработка нейросетевого алгоритма дефектоскопии оптических элементов транспортных средств для осуществления неразрушающего контроля с применением лазерного излучения.

Проведение контроля требует разработки алгоритма, который позволяет распознавать особенности дефектов на регистрируемых изображениях. Физической основой данного подхода является метод лазерного ножа.

При пересечении лазерным излучением поверхности оптического элемента формируется тонкая световая линия, представляющая собой результат отражения и рассеяния лазера от стекла. Наличие внутренних трёхмерных неоднородностей материала приводит к локальному изменению коэффициентов преломления и рассеянию света. В результате на двумерном изображении данные дефекты проявляются в виде характерных искажений геометрии отраженной световой линии, а также локальных изменений её интенсивности и контраста. Для регистрации световых пучков использована библиотека машинного обучения с открытым исходным кодом TensorFlow [3]. Она дает возможность проводить тренировку нейронных сетей при поиске и классификации образов.

Алгоритм позволяет распознавать следующие дефекты:

- 1) царапина – локальный резкий изгиб линии при сохранении общей яркости;
- 2) трещина – разрыв контура с диффузным ореолом рассеянного света вокруг зоны дефекта;
- 3) расслоение – размытие основного контура;
- 4) загрязнение – локальное падение яркости линии без изменения формы.

При сравнительном анализе известных визуальных и акустических методик выявлены ограничения. В процессе работы сформулированы требования к обучающей выборке, определены форматы разметки данных. Систематизированы виды производственных и эксплуатационных дефектов.—Выявлены особенности рассеяния лазерного излучения на различных оптических дефектах поверхности.

Практическая значимость состоит в том, что разработано техническое решение, которое позволяет выявлять скрытые дефекты оптических элементов транспортных средств. По теме работы получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шакиров, А. Р.** Оптическая дефектоскопия при производстве авиационной техники / А. Р. Шакиров, С. С. Самохина // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники : материалы 28 Всерос. молодежной науч. конф., Ульяновск, 21–23 окт. 2025 г. – Ульяновск : УлГТУ, 2025. – С. 378–379.
2. **Самохина, С. С.** Предотвращение экологических происшествий на авиационном транспорте с применением средств оптического контроля / С. С. Самохина // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 11-3. – С. 113–114.
3. TensorFlow Guide. – URL: <https://www.tensorflow.org/guide> (date of access: 10.05.2026).
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688293. Программа для расчета координат наземных объектов с помощью телеметрии воздушного судна: заявлено 03.11.2023: зарег. 21.12.2023 / Шакиров А. Р., Самохина С. С., Таубер А. Н.; правообладатель Шакиров А. Р. – 1 с.

УДК 004.8

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ, ИМИТИРУЮЩЕГО РАБОТУ РАЗРАБОТЧИКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

С. Н. ШЕМЯКОВА, В. А. ПЕТУШКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Усложнение архитектуры программных систем актуализирует потребность в специалистах для решения задач промышленной разработки, однако сохраняется существенный разрыв между академической подготовкой и требованиями рынка труда. Существующие образовательные платформы (LeetCode, HackerRank) фокусируются преимущественно на алгоритмической подготовке в идеализированных условиях. Подобный подход не позволяет полноценно моделировать реальный производственный цикл, где инженер сталкивается с неформализованными требованиями, глубокой отладкой стороннего кода, жесткими ресурсными ограничениями и соблюдением стандартов (SOLID, DRY, Clean Code). Следовательно, традиционные методы обладают низкой валидностью и не формируют устойчивых инженерных компетенций.

Для преодоления данного разрыва разработано веб-приложение, имитирующее работу разработчика ПО и смещающее акцент на системный анализ, профилирование ресурсов и экспертное ревью с применением ИИ. Ключевой особенностью системы является механизм динамической генерации технических заданий (ТЗ) с намеренно заложенными логическими противоречиями, что требует преанализа требований и формирования отчетов об ошибках (Bug Reports). Дополнительно реализованы режим целенаправленной отладки чужого кода и интеграция с большими языковыми моделями (LLM), выполняющими функции автоматизированного архитектурного код-ревью.

Для объективной и комплексной оценки инженерных компетенций в разработанном веб-приложении применена многокритериальная математическая модель грейдинга. Итоговый балл за сессию S вычисляется как взвешенная сумма коэффициентов, отражающих различные аспекты качества работы, с применением системы штрафов и бонусов:

$$S = \omega_b \cdot b + \omega_t \cdot t + \omega_r \cdot r + \omega_q \cdot q - P,$$

где b – коэффициент успешности анализа требований (валидация Bug Report, $b \in \{0; 1\}$); t – коэффициент функциональной корректности (доля пройденных unit-тестов в изолированной среде); r – коэффициент ресурсной эффективности (на основе профилирования CPU/RAM); q – коэффициент архитектурного качества (результат семантического анализа кода нейросетью); ω_i – весовые коэффициенты значимости критериев (сумма весов равна 100 баллов); P – кумулятивный штраф за использование подсказок и неэффективные попытки.

Функциональные требования формализованы диаграммой вариантов использования (рис. 1) с четырьмя акторами: Гость, Пользователь, Система и

Внешний LLM-сервис. Сценарии охватывают полный цикл: от выбора траектории и анализа ТЗ до отправки баг-репортов, отладки в веб-IDE и прохождения LLM-ревью.

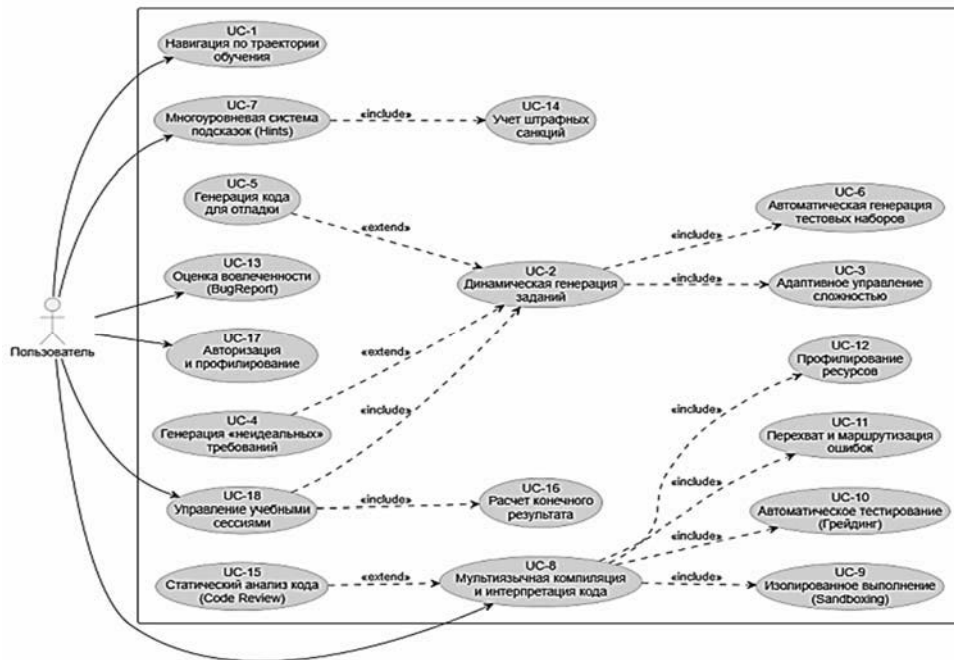


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования для пользователя

Архитектура разработанного приложения базируется на клиент-серверном подходе с разделением ответственности. Клиентская часть на базе React 19 и Monaco Editor формирует полноценную среду веб-IDE. Серверный уровень (Node.js, Express 5) предоставляет REST API для оркестрации сессий и агрегации метрик. Безопасное выполнение кода с жестким профилированием ресурсов реализовано в изолированной песочнице (контекст vm для JavaScript, .NET SDK для C#). Интеллектуальные функции (генерация заданий с дефектами, валидация баг-репортов, рефакторинг) выполняет LLM-агент через OpenRouter API. Надежное долговременное хранение и строгий контроль одиннадцати связанных сущностей обеспечивает связка PostgreSQL и Prisma ORM.

Типовой сценарий начинается с инициации спринта, в ходе которого нейросеть генерирует ТЗ с логическим дефектом. После преанализа требований и написания кода решение направляется в песочницу для профилирования и прогона тестов. При успешном прохождении код передается на архитектурное ревью. По итогам спринта система агрегирует метрики по математической модели, формируя сводку с рекомендациями.

В результате работы реализовано веб-приложение, имитирующее работу разработчика ПО и закрывающее разрыв между академической подготовкой и требованиями индустрии. Корректность и надежность бизнес-логики подтверждены результатами тестирования по методологии TDD (Jest, Supertest) и ручной проверкой интерфейса.

УДК 004.8

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНЦИЙ БИЗНЕС-АНАЛИТИКА С ПРИМЕНЕНИЕМ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

С. Н. ШЕМЯКОВА, С. С. СИКОРИН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Цифровая трансформация формирует устойчивый спрос на бизнес-аналитиков, способных выявлять и формализовать требования, проводить приоритизацию (в том числе по методологии MoSCoW) и оценивать влияние изменений (Impact Analysis). Однако традиционные методы аттестации не моделируют реальные рабочие сценарии и лишены персонализированной обратной связи. Для решения этой проблемы разработана веб-платформа на базе больших языковых моделей (LLM), имитирующая работу бизнес-аналитика и обеспечивающая генерацию адаптивных кейсов, ролевое тестирование и аналитику результатов с применением LLM.

Архитектура платформы следует трехуровневому принципу. Слой представления реализован на React с клиентским рендерингом отчетов. Бизнес-логика (Node.js, Express) предоставляет REST API, JWT-аутентификацию, оркестрирует запросы и обеспечивает потоковую выдачу контента через Server-Sent Events (SSE) для минимизации задержек. Слой доступа к данным базируется на PostgreSQL и Sequelize, гарантируя целостность информации за счет нормализации и каскадного удаления. Интеграция с LLM абстрагирована в отдельный модуль (OpenRouter API), что обеспечивает архитектурную гибкость и легкую замену провайдера.

Ключевые модули системы включают генератор контекстных кейсов, симулятор стейкхолдера (ролевой чат-бот), LLM-оценщик открытых ответов, а также подсистемы интеллектуального сопровождения (подсказки и AI-помощник), истории попыток и экспорта отчетов в PDF.

Для имитации стрессовых факторов реальной работы сеанс тестирования строго регламентирован таймером и дополнен интерактивными сценариями, такими как диалог со стейкхолдером и механизм запроса подсказок. Для объективного оценивания непредсказуемых ответов LLM предложена математическая модель суммирования баллов. Итоговый балл S вычисляется как сумма произведений эффективной оценки $\tilde{s}_i = s_i \cdot h_i$ (где $s_i \in [0; 1]$ – коэффициент качества ответа; h_i – штрафной множитель за подсказки, равный 0,5 при обращении и 1 в противном случае) на весовой коэффициент типа задания w_{ti} . Шкала охватывает 9 типов заданий (включая Impact Analysis) с нормированным максимумом в 100 баллов, по итогам чего система автоматически выявляет «проблемные темы» для фокуса на слабых местах.

Взаимодействие компонентов и потоки управления формализованы на языке UML. На рис. 1 представлена диаграмма компонентов, демонстрирующая связь клиентского шлюза, сервера Node.js, модуля интеграции с LLM

и ORM-слоя. Строгое разделение ответственности между уровнями обеспечивает прозрачность архитектуры, возможность независимого тестирования и высокую сопровождаемость кодовой базы.

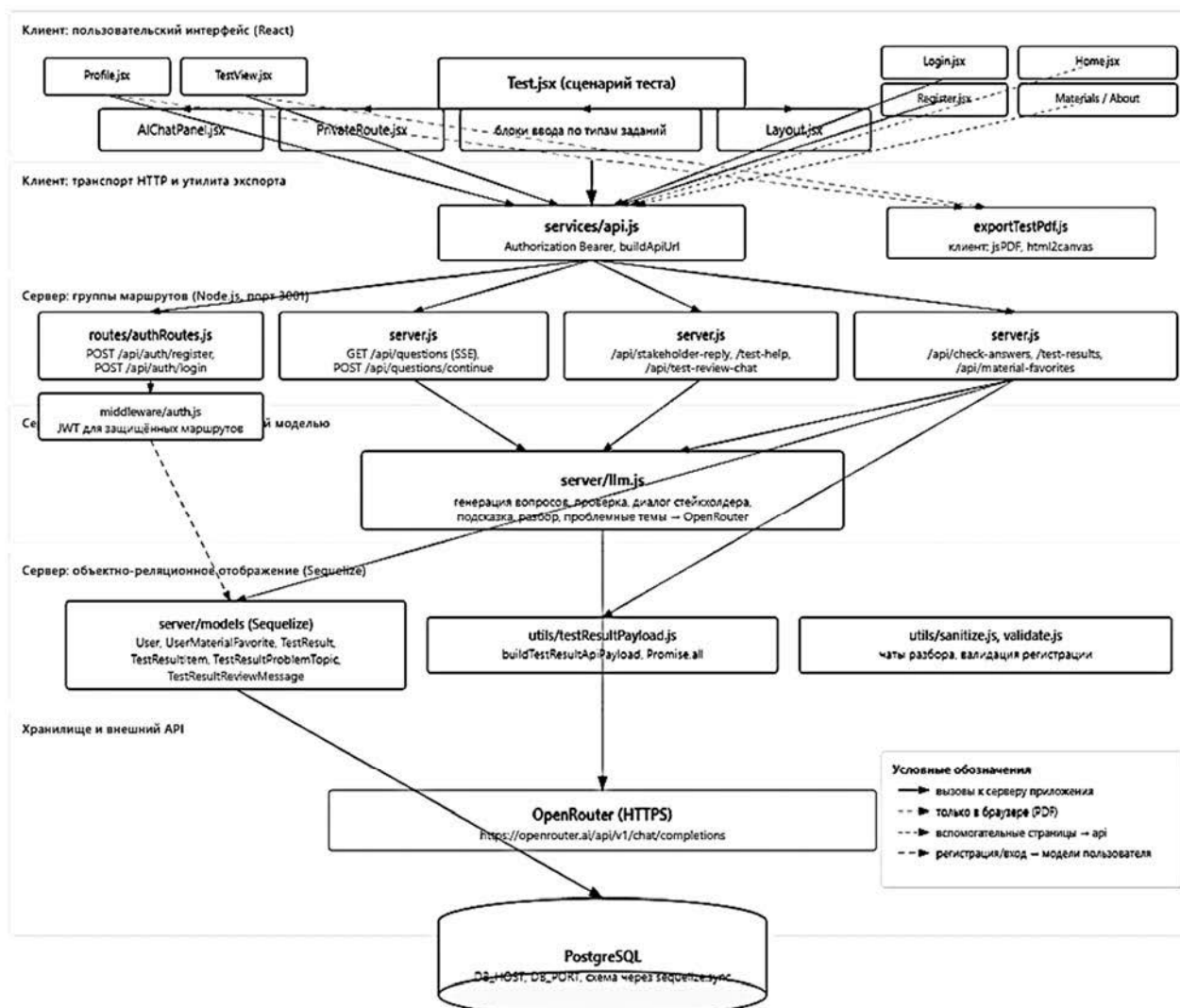


Рис. 1. Диаграмма компонентов веб-приложения

Корректность серверной логики подтверждена методом разработки через тестирование (TDD). Набор из 31 автоматизированного теста (Jest, Supertest) охватывает модульную валидацию, санитизацию данных и интеграцию маршрутов. Разделение зависимостей от СУБД и внешних сервисов посредством имитации гарантирует воспроизводимость результатов и отказоустойчивость системы в любой среде исполнения.

В результате разработано веб-приложение, поддерживающее полный цикл оценки компетенций: от адаптивной генерации заданий до детализированного разбора ошибок и экспорта аналитических отчетов. Инструмент успешно синтезирует определённые правила оценивания с вариативностью генеративного ИИ. Платформа закрывает разрыв между теорией и практикой, предоставляя среду, максимально приближенную к корпоративным сценариям, и обеспечивая базу для целенаправленной подготовки специалистов.

УДК 004.8

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ШКОЛЬНОГО МЕНЮ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С. Н. ШЕМЯКОВА, А. Д. ТЕРЕШКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Организация школьного питания требует строгого соблюдения жестких санитарно-эпидемиологических требований, физиологических норм потребления (КБЖУ) и бюджетных ограничений. Традиционные методы формирования циклических меню опираются на субъективные экспертные оценки технологов или использование статических шаблонных рационов. Данные подходы обладают рядом недостатков: они не способны динамически адаптироваться к сезонным колебаниям цен на продукты, часто приводят к дисбалансу нутриентов и игнорируют реальные вкусовые предпочтения обучающихся. В итоге возникает проблема высокого уровня пищевых отходов (до 40 %...50 %) и риска нарушения нормативов питания. Ручной перебор вариантов для поиска компромисса между стоимостью, пользой и привлекательностью является вычислительно сложной задачей для человека.

Для решения указанной задачи разработано веб-приложение, содержащее подсистему эволюционной оптимизации циклического школьного меню. Система автоматизирует процесс составления рационов на заданный период (10–14 дней), выполняя многокритериальный поиск глобального оптимума с применением генетического алгоритма (ГА).

В основе системы лежит формальная модель, где вариант меню кодируется в виде матрицы M размерностью $T \times S$ (где T – дни периода; S – приемы пищи). Для оценки особей в популяции разработана многокритериальная фитнес-функция $\Phi(M)$, которая минимизирует взвешенную сумму нормализованных показателей

$$\Phi(M) = \alpha \cdot \frac{F_1(M)}{F_1^{\max}} + \beta \cdot \left(1 - \frac{F_2(M)}{F_2^{\max}}\right) + \gamma \cdot \frac{F_3(M)}{F_3^{\max}} + \delta \cdot \sum_r \lambda_r \cdot \varphi_r(M),$$

где $F_1(M)$ – себестоимость рациона; $F_2(M)$ – интегральный показатель потребительской привлекательности (рассчитывается на основе статистики пищевых отходов); $F_3(M)$ – относительное отклонение от суточных норм КБЖУ для заданной возрастной группы.

Параметры α , β , γ являются весовыми коэффициентами ($\alpha + \beta + \gamma = 1$). Для обеспечения валидности решений в модель интегрирован аппарат штрафных функций $\varphi_r(M)$ с весами λ_r , строго ограничивающий нарушения санитарных норм (например, повторяемость блюд в смежные дни, отсутствие обязательных нутриентных групп) и выход за пределы заданного бюджета.

Программная реализация выполнена по трехуровневой архитектуре. Клиентская часть (React, Material UI) обеспечивает редактирование матрицы

меню и настройку параметров эволюции. Серверная часть (Node.js, Express.js) инкапсулирует бизнес-логику и оркестрирует вычисления. Слой данных организован на основе PostgreSQL. Ключевые серверные модули включают: CalculationService – модуль расчета пищевой ценности и себестоимости блюд на основе техкарт и актуальных цен; GACore – ядро генетического алгоритма, реализующее селекцию, кроссовер, а также направленную мутацию с проверкой допустимости замен; GAOrchestrator – модуль управления жизненным циклом эволюции, поддерживающий фиксацию отдельных полей и механизм ранней остановки при стагнации.

Представленная диаграмма компонентов на рис. 1 демонстрирует трехуровневую архитектуру разработанного ПО. Она отражает маршрут прохождения управления: от клиентского интерфейса (WebUI) через серверный шлюз (RESTGateway) к контроллерам и сервисам бизнес-логики. Диаграмма подтверждает строгое разделение ответственности, где сервисы делегируют задачи репозиториям, обеспечивающим инкапсулированный доступ к базе данных PostgreSQL.

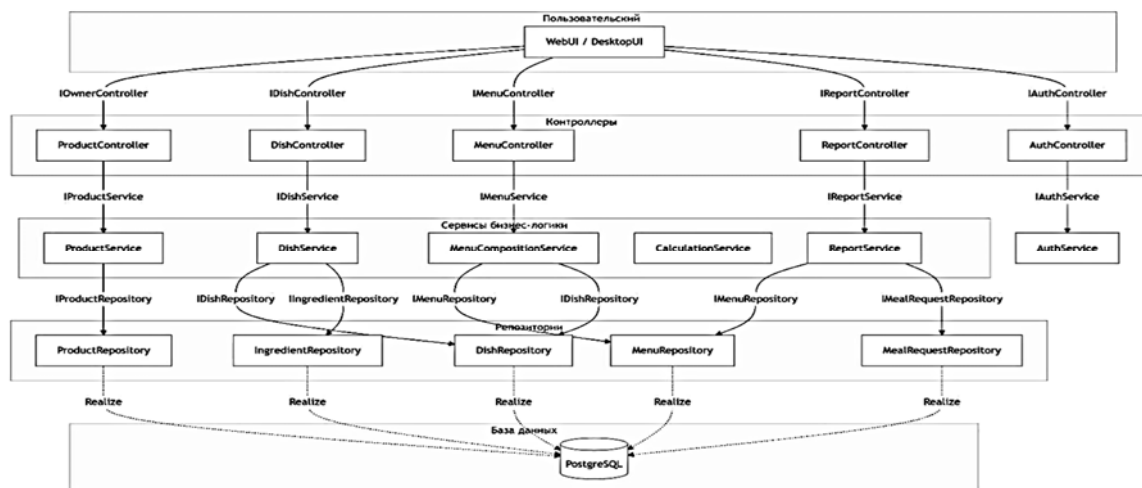


Рис. 1. Диаграмма компонентов подсистемы оптимизации меню

В ходе экспериментов были подобраны оптимальные параметры генетического алгоритма. Показано, что вероятность скрещивания должна быть не ниже 0,8, иначе алгоритм перестает находить лучшие решения. Наилучший результат достигается при вероятности мутации 0,08 и размере популяции 200 вариантов меню. Кроме того, была внедрена автоматическая остановка, если в течение 20 поколений меню не улучшается. Это позволяет экономить время и ресурсы компьютера без потери качества итоговых рационов.

В результате разработано и протестировано программное обеспечение, которое автоматически генерирует сбалансированные циклические меню. Система гарантирует соответствие физиологическим нормам и санитарным требованиям, оптимизирует финансовые затраты и максимизирует привлекательность блюд, что приведет к снижению объема пищевых отходов. Разработанное решение переводит процесс планирования школьного питания из плоскости субъективного экспертного моделирования в область объективной математической оптимизации.

УДК 663.993.42

К ВОПРОСУ ВЕРИФИКАЦИИ ТЕПЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Д. В. ШНИП

Научный руководитель Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В современном сельском хозяйстве особое место занимает оборудование, выполняющее тепловую обработку. К данному виду оборудования относится сельскохозяйственное оборудование для приготовления жидких кормовых смесей (ЖКС) на молочно-товарных фермах, молочно-товарных комплексах (МТК/МТФ). Далее будем использовать аббревиатуру МТК.

Для проведения компьютерного моделирования тепловых процессов в рабочей ёмкости сельскохозяйственного оборудования для приготовления ЖКС на МТК разработана обобщённая компьютерная модель рабочей ёмкости данного оборудования в SolidWorks модуле SolidWorks Flow Simulation (рис. 1).

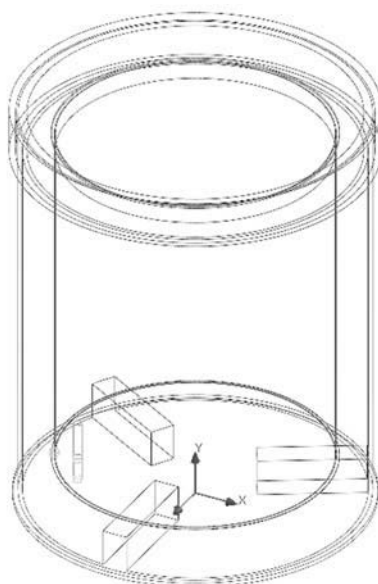


Рис. 1. Компьютерная модель рабочей ёмкости сельскохозяйственного оборудования для приготовления ЖКС на МТК МТФ в SolidWorks модуле SolidWorks Flow Simulation

Для верификации результатов компьютерного моделирования тепловых процессов в рабочей ёмкости сельскохозяйственного оборудования для приготовления ЖКС на МТК в SolidWorks модуле SolidWorks Flow Simulation был разработан и собран испытательный стенд (рис. 2), включающий следующие компоненты: прототип рабочей ёмкости сельскохозяйственного оборудования для приготовления ЖКС (см. рис. 2, а); прототип рабочего бака станции подготовки ТЖ (см. рис. 2, б); прототип станции подготовки ТЖ (см. рис. 2, в).

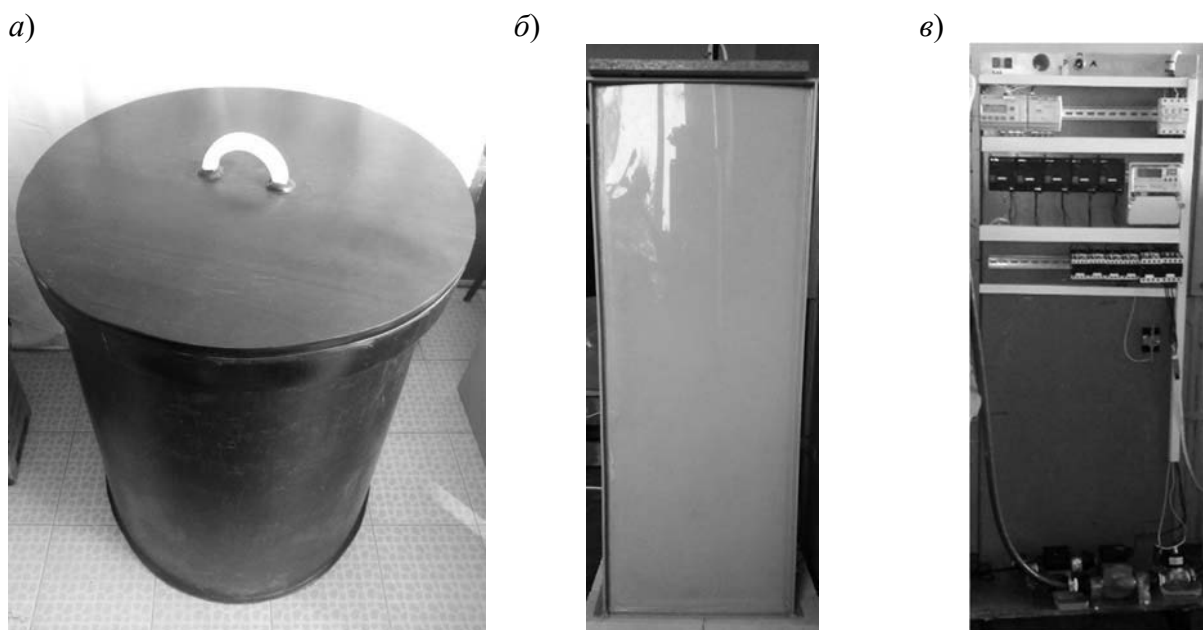


Рис. 2. Испытательный стенд: *а* – прототип рабочей ёмкости сельскохозяйственного оборудования для приготовления ЖКС; *б* – прототип рабочего бака станции подготовки ТЖ; *в* – прототип станции подготовки ТЖ

Особое внимание стоит уделить прототипу станции подготовки ТЖ (см. рис. 2, *в*), который обеспечивает:

- 1) подключение до пяти кондуктометрических датчиков уровня;
- 2) подключение до пяти датчиков температуры;
- 3) подключение до трёх вспомогательных насосов;
- 4) возможность осуществления процесса нагрева ТЖ как в ручном, так и в автоматическом режиме;
- 5) регистрацию / передачу данных о состоянии / показаниях датчиков на внешнее устройство (к примеру, персональный компьютер).

Также стоит выделить отдельно, что за счёт использования счётчика активной и реактивной электроэнергии трёхфазного типа CE 318 BY R32.146.JA.UVFL [1] обеспечивается регистрация:

- 1) данных о затраченной электроэнергии за весь период работы, а также данных за отдельный период работы;
- 2) данных о состоянии электрической сети (к примеру, наличии фаз, мощность, ток, напряжение каждой отдельной фазы и т. д.).

Результаты верификации тепловых процессов в рабочей ёмкости сельскохозяйственного оборудования для приготовления ЖКС на МТК МТФ будут представлены в докладе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. energomera.by. – URL: <https://energomera.by/products/3f/ce318-r32/> (date of access : 11.09.2026).

УДК 330.341.1

ИННОВАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОСПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Р. Г. АБАКУМОВ

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

Переход к модели устойчивого инновационного роста выдвигает на первый план не столько генерацию прорывных технологических решений, сколько способность хозяйствующих субъектов воспринимать, адаптировать и внедрять эти решения в процесс обновления производственного аппарата. Существующие методики оценки возможностей воспроизводства внеоборотных активов чаще всего ограничиваются учетом амортизационных отчислений, доступности кредитных ресурсов и физического состояния оборудования. Подобный суженный подход, однако, не дает объяснения тому, почему предприятия, функционирующие в одной отрасли и обладающие схожими стартовыми условиями, демонстрируют столь разную реакцию на одинаковые технологические вызовы и регуляторные сигналы. Отсюда следует необходимость построения более объемной теоретической модели, включающей помимо материально-ресурсных факторов еще и поведенческие, управленческие и социокультурные составляющие, влияющие на инновационную открытость.

В предлагаемом исследовании вводится авторское понятие инновационно-технологического потенциала воспроизводства основных средств (далее – ИТПВОС). Под ним понимается целостная характеристика предприятия, отражающая совокупность его возможностей и внутренней готовности к инициации, финансовой оценке, практической реализации и последующей эксплуатации технологических и организационных нововведений, материализуемых в основных фондах, причем все эти действия должны быть сориентированы на достижение целей устойчивого развития [1]. Данная дефиниция фиксирует два равнозначных измерения: объективную сторону (наличие ресурсов и компетенций) и субъективную сторону (организационную культуру, ценностные ориентации и мотивационный климат), которые в совокупности определяют реальную восприимчивость к инновационным изменениям.

Методологическим фундаментом концепции ИТПВОС служит синтез ресурсного подхода, теории динамических способностей [2] и парадигмы обучающейся организации. В структурном плане потенциал раскладывается на пять тесно связанных между собой блоков, образующих своего рода «пирамиду»: финансово-инвестиционная составляющая (умение мобилизовать и распределять капитал, в том числе через механизмы «зеленого» финансирования); материально-техническая составляющая (уровень технологичности и возраст оборудования); кадровая составляющая (квалификация, способность к

переобучению и лояльность персонала к переменам); организационно-управленческая составляющая (гибкость оргструктуры, оперативность принятия решений, наличие систем стратегического планирования); и, наконец, культурно-ценностная составляющая (совокупность разделяемых норм и установок, формирующих отношение к инновациям, качеству, экологии и социальной ответственности). Между этими блоками существуют нелинейные связи: например, высокая финансовая обеспеченность при слабой ценностной ориентации на устойчивость может толкнуть менеджмент к приобретению морально устаревшего оборудования, а сильный кадровый потенциал часто оказывается заблокированным излишне жесткими управленческими процедурами.

Для практического применения разработанной схемы создан набор индикаторов и алгоритм расчета интегрального индекса ИТПВОС, представляющего собой взвешенную сумму нормализованных показателей по каждому из пяти блоков. В качестве инструмента визуализации и идентификации «слабых звеньев» предлагается использовать радар-диаграмму, которая позволяет сопоставить индивидуальный профиль предприятия с эталонным (отраслевым или среднекластерным) профилем. Полученные результаты дают возможность построить типологию предприятий по степени их подготовленности к реализации политики устойчивого воспроизводства основных средств – выделить «инновационных лидеров», «пассивных последователей» и «технологических консерваторов». Такая классификация может служить основой для адресной корректировки мер государственной поддержки и для мониторинга результативности институциональных воздействий.

Вклад предлагаемой концепции в развитие экономической теории инноваций видится прежде всего в смещении исследовательского фокуса с анализа генерации радикальных новшеств на исследование процессов их диффузии и материального воплощения в капитальных благах, что является критически важным звеном всего инновационного цикла. Предложенный методологический аппарат открывает возможности для проведения эмпирических исследований, направленных на выявление факторов, обуславливающих различия в инновационной восприимчивости предприятий, а также может быть использован при оценке эффективности промышленной политики в контексте перехода к «зеленой» экономике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Alpidovskaya, M. L.** Fixed capital reproduction as the basis for the technological potential of enterprises in modern economy / M. L. Alpidovskaya, A. O. Ivaschenko // *Izvestiya of Saratov University. Economics. Management. Law.* – 2025. – Vol. 25, iss. 2. – P. 127–136.
2. **Teece, D. J.** Dynamic Capabilities and Strategic Management / D. J. Teece, G. Pisano, A. Shuen // *Strategic Management Journal.* – 1997. – Vol. 18, № 7. – P. 509–533.

УДК 657.3

ДАННЫЕ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА КАК ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА
SWOT-АНАЛИЗА КОММЕРЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

М. С. АБРАМОВИЧ

Научный руководитель О. М. СМОЛЯКОВА, канд. экон. наук, доц.

Минский филиал «Российский экономический университет

имени Г. В. Плеханова»

Минск, Беларусь

Современная экономическая среда характеризуется высокой волатильностью рыночной конъюнктуры и возрастающей неопределённостью внешних условий хозяйствования, что делает SWOT-анализ востребованным инструментом стратегической диагностики предприятия. Вместе с тем на практике матрица SWOT нередко заполняется субъективными экспертными оценками, что снижает её аналитическую ценность. *Цель исследования* – разработка концептуальной модели сопоставления данных бухгалтерского (финансового и управленческого) учёта с элементами SWOT-матрицы.

SWOT-анализ (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) был разработан в 1960–1970-х гг. в Стэнфордском исследовательском институте группой учёных под руководством А. Хамфри [1]. Метод основан на разграничении факторов по локализации (внутренние/внешние) и характеру воздействия (позитивные/негативные), что образует четыре квадранта матрицы. SWOT органично интегрируется с PEST-анализом, моделью пяти сил Портера и матрицей БКГ, занимая центральное место в системе стратегического менеджмента [2].

Бухгалтерский учёт – упорядоченная система сбора, регистрации и обобщения информации об имуществе и обязательствах организации. Финансовый учёт формирует стандартизированную внешнюю отчётность (формы № 1, 2, 4), управленческий – внутреннюю аналитику по себестоимости, центрам ответственности и сегментам [3]. При отборе данных для SWOT-анализа целесообразно руководствоваться принципами существенности, сравнимости, комплексности и достоверности.

Квадранты S и W наиболее полно обеспечиваются учётными данными (табл. 1).

Квадранты О и Т напрямую из учёта не извлекаются, однако динамика показателей косвенно сигнализирует о трендах внешней среды. Рост выручки по сегментам (МСФО 8) указывает на потенциальные точки роста; данные о свободном денежном потоке (форма отчета «О движении денежных средств») и нераспределённой прибыли характеризуют инвестиционный потенциал предприятия.

Со стороны угроз: рост кредиторской задолженности при снижении оборачиваемости указывает на ужесточение условий поставщиков; валютная переоценка (сч. 91) – на подверженность валютному риску; снижение маржи по

ключевым продуктам – на ценовое давление конкурентов.

Табл. 1. Показатели бухгалтерского учёта для SWOT-анализа

Квадрант	Показатель	Источник в учёте	Признак
S	Коэффициент автономии	Ф. 1 стр. 490 / Ф. 1 стр. 700	> среднеотраслевого
S	ROE	Ф. 2 стр. 210 / Ф. 1 стр. 490	> среднеотраслевого
S	Коэффициент текущей ликвидности	Ф. 1 стр. 290 / Ф. 1 стр. 690	≥ 2
W	Коэффициент финансового левериджа	(Ф. 1 стр. 590 + Ф. 1 стр. 690) / Ф. 1 стр. 490	> 1,5 при норме < 0,8
W	Доля просроченной дебиторской задолженности	Данные аналитического учета счетов расчетов	> 20 % от общей ДЗ

Несмотря на то, что использование учётных данных в SWOT-анализе ограничено ретроспективным характером отчётности, неспособностью отразить нефинансовые факторы (репутация, качество менеджмента) и необходимостью сравнительной, а не абсолютной оценки показателей, преодоление ограничений достигается интеграцией учётных данных с экспертными оценками и отраслевым бенчмаркингом [4].

Таким образом, система бухгалтерского учёта является первичным источником количественно измеримых данных для всех четырёх квадрантов SWOT-матрицы: квадранты S и W обеспечиваются учётными данными напрямую, квадранты О и Т – через косвенные сигналы их динамики. Такой подход повышает объективность стратегических оценок и снижает зависимость от субъективных суждений экспертов [5]. Перспективным направлением является разработка систем, интегрирующих учётные программы (1С, SAP) с алгоритмами формирования SWOT-матрицы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Humphrey, A. S.** SWOT Analysis for Management Consulting / A. S. Humphrey // SRI Alumni Newsletter – SRI International. – 2005. – P. 7–8.
2. **Томпсон, А. А.** Стратегический менеджмент. Искусство разработки и реализации стратегии : учебник / А. Томпсон, А. Дж. Стрикленд. – М. : Банки и биржи ; ЮНИТИ, 2017. – 576 с.
3. Бухгалтерский учет : учебник / П. Я. Папковская, А. Н. Соболевская, Д. В. Папковская [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Мн. : РИПО, 2019. – 375 с.
4. **Смолякова, О. М.** Анализ платежеспособности: интеграция различных методик и подходов / О. М. Смолякова // Бухгалтерский учет и анализ. – 2025. – № 3 (339). – С. 34–39.
5. **Шеремет, А. Д.** Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия : учебник / А. Д. Шеремет. – 2-е изд., доп. – М. : ИНФРА-М, 2024. – 374 с.

УДК 338.4

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОСТАВЩИКА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ СОВОКУПНОЙ СТОИМОСТИ ВЛАДЕНИЯ

А. И. АВЧИННИКОВА

Научный руководитель С. А. АЛЕКСАНДРОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Современное управление материальными запасами строится на сочетании классических методов контроля и цифровых инструментов, которые помогают держать баланс между дефицитом и излишками, снижать складские издержки и повышать уровень обслуживания.

Основным принципом организации закупок на предприятии является проведение конкурентных процедур в соответствии с законодательством о государственных закупках. Однако, как показывает практика, ориентация исключительно на минимизацию цены при выборе поставщика не всегда приводит к оптимальным результатам [1].

Для обоснования смены поставщика необходимо провести развёрнутое сравнение действующего и предлагаемого контрагентов.

Ниже представлены описание каждого поставщика, анализ их сильных и слабых сторон, сопоставление условий договора, а также сводная таблица «было / стало» (табл. 1).

Табл. 1. Сводная таблица «было / стало»

Показатель	Было ООО «Бел- ЭнергоСервис»	Стало ОАО «БелЭнерго- СнабКомплект»	Изменение
Цена ед. товара, р.	1 200	1 240	40
Прямые затраты на закупку, р./год	86 400	89 280	2 880
Транспортные расходы, р./год	12 000	0	–12 000
Складские издержки, р./год	8 325	8 490	60 660
Потери от простоев, р./год	18 000	3 000	–15 000
Управленческие затраты, р./год	3 300	550	–2 750
Итого ТСО, р./год	128 025	101 320	–26 705
Частота поставок, раз/год	12	2	–10
Отказов оборудования случ./год	3	1	–2
Годовой эффект, р.	–	27 642	27 642

1. Высокая логистическая нагрузка: поставки осуществляются мелкими партиями один раз в месяц, что увеличивает транспортные расходы и нагрузку на склад.

2. Риски простоев: из-за нестабильного качества и несоблюдения сроков (форс-мажор) возникают простои оборудования, что для энергопредприятия критично [2].

На основе анализа условий взаимодействия с текущим поставщиком было выявлено, что имеются определенные недостатки, не позволяющие обеспечить стабильность системы при минимальных затратах. Поэтому, изучив предложения альтернативных поставщиков, в качестве потенциального нового поставщика выбрали ОАО «БелЭнергоСнабКомплект» (г. Минск) – крупный дистрибьютор, входящий в систему ГПО «Белэнерго».

Результат сравнения условий сделки: действующий поставщик (ООО «БелЭнергоСервис») выигрывает в цене (1 200 р.) и гибкости мелких партий, но страдает нестабильным качеством (три отказа в год, простои по 48 ч, потери 18 000 р.), высоких управленческих затрат (3 300 р. из-за 12 закупок) и долгой замены брака (20...30 дн.). Новый поставщик предлагает более высокую цену (1 240 р.) и требует складских мощностей для крупных партий, но обеспечивает надёжность (один отказ в год, простой 24 ч), быструю замену брака (5 дн.) и снижение административной нагрузки (с 3 300 до 550 р. за счёт перехода на две поставки в год).

По результатам анализа можно заметить, что у действующего поставщика единственным преимуществом является низкая контрактная цена, а потенциальный поставщик имеет системные преимущества, окупающие разницу: он обеспечивает комплексный подход – принимает на себя транспортные риски, предлагает сокращённые сроки гарантийной реакции и обеспечивает стабильность поставок за счёт отраслевого статуса.

Таким образом, выполненные расчеты показывают, что изменение подхода и критериев выбора поставщика позволит организации получить системный эффект.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мясникова, О. В.** Управление запасами в цепях поставок : учеб. пособие / О. В. Мясникова. – СПб. : СПбГЭУ, 2017. – 112 с.
2. **Домников, А. Ю.** Управление развитием региональной электроэнергетики : монография / А. Ю. Домников, Л. В. Домникова, М. Я. Ходоровский ; под ред. М. Я. Ходоровского. – Екатеринбург : УПИ, 2019. – 358 с.

УДК 004.9

ТРАНСФЕР ТЕХНОЛОГИЙ МЕЖДУ УНИВЕРСИТЕТАМИ И БИЗНЕСОМ

Д. В. АНИКИН

Научный руководитель К. В. ПОРТНОВ, канд. техн. наук, доц.

Самарский государственный экономический университет

Самара, Россия

Современная экономика всё в большей степени зависит от способности быстро превращать научные результаты в востребованные продукты и услуги. Университеты являются центрами создания новых знаний, подготовки специалистов и проведения фундаментальных и прикладных исследований. Бизнес, в свою очередь, располагает ресурсами, производственной инфраструктурой, опытом коммерциализации и пониманием потребностей рынка. Их сотрудничество позволяет ускорить внедрение инноваций, повысить конкурентоспособность компаний и обеспечить практическую отдачу от научных разработок.

Однако наличие научного результата само по себе не гарантирует его успешного применения. Между лабораторией и рынком существует сложный этап адаптации технологии, проверки её эффективности, защиты интеллектуальной собственности и поиска финансирования [1]. Поэтому развитие механизмов трансфера технологий становится важным условием инновационного развития государства и отдельных регионов.

Цель доклада – рассмотреть содержание и основные механизмы трансфера технологий между университетами и бизнесом, выявить ключевые проблемы такого взаимодействия и определить условия его эффективной организации.

Трансфер технологий представляет собой процесс передачи научных знаний, разработок, технических решений и прав на интеллектуальную собственность от университета к коммерческой организации для дальнейшего практического использования. Он может осуществляться в форме лицензирования патентов, создания малых инновационных предприятий, выполнения совместных исследований, передачи ноу-хау, подготовки кадров и реализации долгосрочных договоров. Одним из наиболее распространённых механизмов является лицензирование. Университет предоставляет компании право использовать запатентованную технологию за определённое вознаграждение. Такая форма позволяет исследовательской организации получать доход от интеллектуальной собственности, а бизнесу – сокращать затраты и сроки разработки нового продукта. Вместе с тем лицензирование требует чёткого определения прав сторон, условий использования технологии и распределения будущих доходов.

Другим механизмом выступают совместные научно-исследовательские проекты. В рамках такого сотрудничества университет и компания совместно формулируют задачу, финансируют исследования и распределяют результаты. Преимущество модели заключается в том, что разработка изначально ориентируется на практическую потребность. Однако возможны разногласия по поводу конфиденциальности, публикации результатов и принадлежности

созданной интеллектуальной собственности [2]. Важную роль играют университетские центры трансфера технологий, бизнес-инкубаторы и технопарки. Они помогают оценивать коммерческий потенциал разработок, оформлять патентные права, искать инвесторов и устанавливать контакты с промышленными партнёрами. Стартапы, создаваемые на базе университетских исследований, позволяют быстрее проверить инновационную идею и вывести её на рынок. Для этого необходимы доступ к лабораториям, наставничество, венчурное финансирование и поддержка на ранних стадиях.

Ключевой проблемой остаётся различие целей и критериев эффективности университетов и бизнеса. Учёные ориентируются на научную новизну, публикации и академическое признание, тогда как компании заинтересованы в снижении затрат, сроках окупаемости и рыночном спросе. Дополнительными препятствиями являются недостаток специалистов по коммерциализации, слабая защита интеллектуальной собственности, бюрократические процедуры и ограниченное финансирование опытно-конструкторских работ.

Для решения этих проблем необходимы единые правила взаимодействия, прозрачное распределение прав на результаты исследований и развитие компетенций в области управления инновациями. Университетам важно учитывать запросы рынка, а бизнесу – участвовать в формировании исследовательских программ и долгосрочном финансировании науки.

Заключение. Трансфер технологий между университетами и бизнесом является важнейшим инструментом превращения научных знаний в экономическую и социальную ценность. Он способствует появлению новых продуктов, развитию высокотехнологичных компаний, созданию рабочих мест и повышению конкурентоспособности экономики.

Эффективность трансфера зависит от наличия посреднической инфраструктуры, квалифицированных специалистов, доступного финансирования и понятных механизмов защиты интеллектуальной собственности. Наиболее результативной является модель, при которой университет и бизнес взаимодействуют не только на этапе передачи готовой разработки, но и с самого начала исследования.

Таким образом, успешный трансфер технологий требует формирования устойчивого партнёрства, основанного на доверии, взаимной выгоде и долгосрочном планировании. Только при таких условиях научные разработки смогут регулярно превращаться в реальные инновации и востребованные рыночные решения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023664735 Российская Федерация. Система учета товаров на складе интернет-магазина : № 2023660391 : заявлено 24.05.2023 : опубл. 06.07.2023 / К. В. Портнов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет».
2. **Олин, Р. А.** Экономика данных как движущая сила цифровой трансформации / Р. А. Олин // Наука XXI века: актуальные направления развития. – 2025. – № 2-2. – С. 169–174.

УДК 332.1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СПЕЦИАЛИЗАЦИИ РЕГИОНА: СТАВКА НА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ ОТРАСЛИ

А. Д. БИКМАЕВА

Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

В условиях роста глобальной конкурентоспособности особенно актуальным становится поиск точек роста экономики стран и регионов. Как известно, рост сложности производственных процессов, который может выражаться в увеличении числа операций, внедрении и применении инноваций и новых технологий, связан с повышением добавленной стоимости готовой продукции. Следовательно, отрасли, обеспечивающие усложнение экономики, способствуют росту экономической системы в целом. К таким видам деятельности, как правило, относятся высокотехнологичные отрасли, которые характеризуются высоким уровнем применения научных знаний и открытий, использованием новейших технологий, инновационных методов производства. Среди них можно выделить производство компьютеров, техники, научных приборов, лекарственных средств и оборудования, авиационную и космическую промышленность, информационно-коммуникационные технологии и пр.

Технологическая трансформация, в свою очередь, – длительный и сложный процесс, где внедрение передовых технологий в производство сопровождается автоматизацией, появлением новых материалов и продукции. Данный процесс может осуществляться не только в высокотехнологичных отраслях, но и, например, в сельском хозяйстве, в котором сегодня используются искусственный интеллект, роботехника и др., в частности, в данной отрасли активно применяются различные датчики для получения информации и ее последующего анализа. В научном сообществе говорят о четвертой промышленной революции, характеризуемой понятием «Индустрия 4.0», которое подразумевает развитие такой модели производства, при которой оборудование передает данные, анализируемые цифровыми платформами, способными предложить оптимальные решения. Технологическая трансформация, наряду с развитием высокотехнологичных отраслей, способствует изменению экономического профиля региона – его специализации.

Сегодня специализация экономики регионов и стран на высокотехнологичных отраслях – не просто тренд, а стратегическая необходимость для обеспечения устойчивого развития экономической системы. Тем не менее упор на необоснованное развитие технологий и видов деятельности не способен обеспечить рост экономики. Важное значение имеет текущая специализация экономики, на основе которой необходимо выбирать и развивать наиболее перспективные направления. Данные идеи, как известно, являются ключевыми в концепции умной специализации, где предлагается выделить имеющиеся сильные стороны территориальных образований и использовать уникальные особенности регионов. Фокусировка на нескольких отраслях, а не распыление на

множестве, на наш взгляд, способна принести большую пользу для экономики и для ее качественного развития.

Очевидно, что при выборе перспективных направлений следует придерживаться комплексного подхода, опирающегося на научные знания, с использованием информации о текущей специализации экономики, принципов концепции умной специализации и цифровой трансформации производства.

Следовательно, для формирования отраслей специализации в высокотехнологичных отраслях необходимо:

- 1) выявить текущую специализацию территориального образования;
- 2) проанализировать качество имеющихся трудовых ресурсов, технологической базы;
- 3) определить направления, способные обеспечить трансформацию от базового производства к созданию сложной наукоемкой продукции;
- 4) предложить ключевые технологии для применения в выбранных видах деятельности.

Рассмотрим более подробно те виды деятельности, которые представляют собой наиболее сложные технологические направления или имеют большую возможность для перехода в статус высокотехнологичных: это прежде всего машиностроение, химическая промышленность и производство компьютеров и электронных изделий. Основываясь на данных о текущей специализации, можно отметить, что за период с 2005 г. по 2024 г. в регионах России, в частности, машиностроительный комплекс перестал быть отраслью специализации в 16 субъектах и приобрел статус специализации в четырех; на производстве компьютеров и электронных изделий перестали специализироваться шесть, но сформировали данное направление семь. Более позитивные изменения наблюдаются в химической отрасли, где 10 субъектов углубили специализацию в данной сфере и только четыре потеряли статус специализации. Сокращение числа регионов, специализирующихся на машиностроении, может свидетельствовать о деиндустриализации хозяйственной системы регионов либо о смещении концентрации ресурсов на более конкурентоспособных направлениях. Тем не менее, на наш взгляд, необходимо дальнейшее развитие именно в данных направлениях, поскольку именно высокотехнологичные отрасли, имеющие сложные производственные процессы и опирающиеся на научные достижения и современные знания, способны генерировать более высокие показатели добавленной стоимости.

В данном контексте огромное значение имеют не только развитие имеющихся отраслей специализации через внедрение интернета вещей для передачи данных, вычислительные алгоритмы для их анализа, цифровые двойники для моделирования процессов, искусственный интеллект для автоматизации принятия решений, автоматизацию, обработку больших данных и т. д., но и становление новых направлений высокотехнологичных отраслей на базе имеющихся ресурсов.

Формирование региональной политики должно основываться на комплексном понимании текущей специализации экономики, развитии высокотехнологичных отраслей и цифровой трансформации производства.

УДК 336.02

ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДОХОДОВ БЮДЖЕТА МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

А. В. БЛИННИКОВА

Научный руководитель Т. В. МЕДВЕДСКАЯ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Анализ исполнения бюджета Могилевской области за 2023–2025 гг. позволил выявить ряд проблем, которые сдерживают устойчивое финансовое развитие региона. Первая проблема заключается в том, что на протяжении исследуемого периода бюджет области исполнялся с дефицитом. В 2023 г. превышение расходов над доходами составило 0,14 млрд р., в 2024 г. дефицит незначительно снизился до 0,06 млрд р., а в 2025 г. вырос до 0,08 млрд р. Несмотря на относительно небольшой размер дефицита, его наличие свидетельствует о несоответствии между доходной и расходной частями бюджета, что требует постоянного поиска источников покрытия и ограничивает возможности властей области при возникновении непредвиденных обстоятельств.

Серьёзной проблемой является высокая зависимость областного бюджета от безвозмездных поступлений из вышестоящих бюджетов. Доля этих поступлений увеличилась с 63,27 % в 2023 г. до 63,67 % в 2025 г. На этом фоне удельный вес собственных доходов, т. е. налоговых и неналоговых поступлений, снизился с 36,73 % до 36,33 %. Такая структура доходов говорит о низком финансовом суверенитете Могилевской области. Можно сказать, что областной бюджет зависит от решений вышестоящих органов власти, что снижает стимулы к наращиванию собственной доходной базы и делает бюджет уязвимым в случае сокращения межбюджетных трансфертов.

Внутри налоговых доходов наблюдается изменчивая и не всегда позитивная динамика. Хотя в абсолютном выражении налоговые доходы выросли с 971,66 до 1 335,21 млн р., их удельный вес в общем объёме доходов сократился с 35,19 % до 34,30 %. Это означает, что рост безвозмездных поступлений опережает рост налоговых поступлений, что усиливает зависимый характер бюджетной системы области. Кроме того, отдельные виды налогов достаточно неустойчивы. Например, доля налогов на товары, работы и услуги, которые занимают второе место по значимости, в 2024 г. снизилась на 1,45 п. п., составив 43,97 %. Удельный вес налогов на доходы и прибыль организаций был нестабилен: в 2024 г. наблюдался рост с 17,39 % до 20,24 %, в 2025 г. отмечалось снижение до 17,47 %.

Сложности наблюдаются также в динамике и структуре неналоговых доходов. Поступления от штрафов резко снизились на 71,43 % в 2024 г. и на 50,00 % в 2025 г., а прочие доходы после роста на 9,94 % в 2024 г. показали снижение на 51,45 % в 2025 г. Всё это в совокупности привело к тому, что доля собственных доходов бюджета сократилась на 0,40 п. п. за три года.

В целях повышения эффективности формирования доходов бюджета Могилевской области можно предложить следующие мероприятия (табл. 1).

Табл. 1. Направления повышения эффективности формирования доходов бюджета Могилевской области

Направление	Мероприятие
Укрепление собственной доходной базы	Введение дополнительных ставок подоходного налога. Переход при расчете налога на недвижимость с остаточной на рыночную стоимость. Изменение условий зачисления транспортного налога
Оптимизация неналоговых доходов	Создание единого цифрового реестра областного имущества, сдаваемого в аренду, с автоматическим контролем поступлений. Обязательное проведение аукционов для продления аренды. Расширение автоматической фиксации правонарушений с направлением средств в специализированные дорожные и экологические фонды
Снижение зависимости бюджета от безвозмездных поступлений	Переход от пассивного получения трансфертов к программному софинансированию инвестиционных и инфраструктурных проектов. Внедрение программно-целевого планирования расходов. Перевод капиталоемких проектов на принципы государственно-частного партнерства
Развитие инвестиционной привлекательности области	Создание малых индустриальных парков, технопарков с льготами. Упрощение процедур предоставления инвестиционного налогового кредита. Создание публичного реестра инвестиционных площадок с уже подведёнными коммуникациями
Совершенствование налогового администрирования	Расширение проактивных услуг. Интеграция «Личного кабинета» налогоплательщика с порталами госуслуг и банковскими системами. Законодательное закрепление чётких критериев «необоснованной налоговой выгоды». Расширение практики «горизонтального мониторинга» для крупнейших налогоплательщиков. Разъяснительная работа по отмене неэффективных льгот. Расширение функционала приложения «Налог на профессиональный доход», интеграция с банками и маркетплейсами. Информационные кампании о преимуществах легального статуса. Введение повышенных ставок не только на недвижимость и транспорт, но и на иные предметы роскоши
Стимулирование доходов от использования природных ресурсов и экологических платежей	Экономически обоснованная корректировка кадастровой стоимости земель. Увеличение местной составляющей экологических платежей с механизмом возврата части средств предприятиям, инвестирующим в природоохранные технологии. Использование природного потенциала для платной рекреации и туризма

Реализация данных мероприятий укрепит доходную часть бюджета, снизит ее зависимость от вышестоящих бюджетов.

УДК 339.137.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОАО «ОЛЬСА»

Д. М. ГОЛУБ

Научный руководитель О. Д. МАКАРЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В современных условиях значимым критерием платежеспособности и устойчивости любого отечественного предприятия выступает его конкурентоспособность, которая неразрывно связана с эффективностью предпринимательской деятельности. Для того чтобы выявить, какие факторы имеют наибольшее влияние на конкурентоспособность и эффективность деятельности предприятия, применим факторный анализ основных результирующих показателей – прибыли и рентабельности.

Исследование факторов, влияющих на прибыль от реализации и рентабельность продукции и продаж, проводилось за 2022–2024 гг. по фактическим статистическим и бухгалтерским данным на примере ОАО «Ольса».

Проведённый факторный анализ прибыли и рентабельности ОАО «Ольса» позволил выделить четыре ключевых фактора, оказывающих наиболее существенное влияние на эффективность деятельности предприятия:

1) цена продукции. Так, в 2024 г. именно рост цен обеспечил увеличение прибыли на 7 293,64 тыс. р., а также способствовал росту рентабельности продукции на 5,51 п. п. и рентабельности продаж на 7,86 п. п. Именно рост цен позволил предприятию восстановить финансовые результаты в 2024 г. после спада 2023 г.;

2) переменные затраты. Установлено, что их опережающий рост снизил прибыль в 2024 г. на 2 152,95 тыс. р., а рентабельность продукции – на 1,88 п. п. Несмотря на уменьшение отрицательного влияния данного фактора по сравнению с 2023 г., переменные затраты остаются главным сдерживающим фактором;

3) объем выпуска продукции. Так, в 2023 г. его снижение негативно сказалось на результатах, а в 2024 г. рост объемов дал положительный эффект (рост объема выпуска способствовал увеличению прибыли от реализации на 1 626,46 тыс. р.). Это указывает на возможности роста использования производственных мощностей при условии активного стимулирования сбыта продукции;

4) управленческие расходы. Их разнонаправленная динамика (снижение

в 2023 г. и рост в 2024 г.) показывает, что требуется внедрение более жёстких механизмов планирования и мониторинга постоянных затрат предприятия, например путем внедрения системы бюджетирования деятельности.

В рамках исследования факторов конкурентоспособности продукции предприятия было установлено, что деятельность ОАО «Ольса» характеризуется значительной неравномерностью объёмов производства и реализации продукции.

Анализ внутригодовой динамики производства двух основных видов продукции – садовых качелей и медицинских кроватей – позволил выявить сезонность спроса как один из ключевых факторов, создающих угрозы для стабильной загрузки производственных мощностей и персонала предприятия. Так, рассчитанный коэффициент вариации для садовых качелей составил 9,26 %, что характеризуется как слабая степень сезонности. Низкое значение коэффициента вариации свидетельствует о том, что производство садовых качелей распределено относительно равномерно в течение года, а выявленные пики и спады не носят критического характера. Тем не менее спад в ноябре (80,47 %) требует определённого внимания с точки зрения планирования загрузки производственных мощностей в преддверии зимнего сезона. Производство же медицинских кроватей распределено по году неравномерно. Основной объём приходится на ноябрь (индекс 153,78 %) и декабрь (165,56 %), тогда как первая половина года ниже среднемесячного уровня. Так, в июле индекс сезонности составил лишь 56,01 %. Подобная амплитуда сезонности оборачивается повышенной нагрузкой на предприятие. В конце года производственные мощности работают на полной загрузке, оборудование изнашивается быстрее, и, как результат, растут переменные затраты.

Факторный анализ прибыли и рентабельности показал, что рост финансовых результатов ОАО «Ольса» в 2022–2024 гг. обеспечен главным образом ценовым фактором, а не снижением затрат, что создает дополнительные риски при изменении рыночной конъюнктуры. Выявленная сезонность выступает значимым внутренним фактором, усугубляющим проблему роста производственных затрат и снижения рентабельности продукции.

Чтобы повысить конкурентоспособность и эффективность деятельности, предприятию стоит не только наращивать стимулирование спроса, но и обратить внимание на управление производственными затратами. Особое внимание нужно обратить на сглаживание сезонных колебаний за счёт диверсификации заказов и долгосрочных контрактов с равномерным графиком поставок.

УДК 339.137.2:339.138

РАЗРАБОТКА КОНТЕНТ-ПЛАНА КАК ФАКТОР РОСТА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОАО «ОЛЬСА»

Д. М. ГОЛУБ, У. Е. АГОРОДНИКОВА
Научный руководитель О. Д. МАКАРЕВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Анализ маркетинговой деятельности ОАО «Ольса» показал, что предприятие использует следующие инструменты коммуникационной политики:

- реклама (печатная: каталоги, буклеты, баннеры; онлайн: социальные сети, официальный сайт, электронный каталог);
- личные продажи (квалифицированные консультации в фирменных магазинах);
- связи с общественностью (участие в выставках медицинского и мебельного направлений, спонсорство спортивных клубов, сотрудничество с интернет-СМИ);
- стимулирование сбыта (подарочные сертификаты, скидки в фирменных магазинах).

При этом в сфере цифрового маркетинга наблюдается ряд ограничений, характерных для многих промышленных предприятий. Контекстная и баннерная реклама не используются. Социальные сети ведутся эпизодически, без единой стратегии и контент-плана. По состоянию на 2026 г. ОАО «Ольса» представлено в трех социальных сетях: Instagram (два аккаунта), Telegram и TikTok. Однако анализ публикационной активности показывает, что:

- частота обновления контента неравномерна (TikTok обновляется примерно один раз в неделю);
- отсутствует разграничение контента между двумя Instagram-аккаунтами;
- не используются такие инструменты вовлечения, как конкурсы, розыгрыши, программы лояльности, таргетированная реклама, сотрудничество с блогерами;
- брендируемость аккаунтов ограничена.

Указанные недостатки свидетельствуют о том, что маркетинговый потенциал социальных сетей используется предприятием не в полной мере, поэтому для устранения выявленных недостатков и повышения эффективности маркетинговой деятельности предлагается внедрение контент-плана.

В табл. 1 представлен примерный контент-план на неделю для двух Instagram-аккаунтов ОАО «Ольса»: официального (@olsa_mogilev) и страницы фирменных магазинов (@shop_olsa). При составлении учтена специфика каждого аккаунта: первый ориентирован на репутационный и информационный контент, второй – на продающий и стимулирующий.

Кроме того, для TikTok-аккаунта рекомендуется ежедневная публикация коротких вертикальных видео (15...30 с) с обзорами продукции, процесса произ-

водства или трендовыми тематиками. В отличие от Instagram, где важна информативность, в TikTok приоритетом является развлекательный и вирусный контент.

Табл. 1. Примерный контент-план ОАО «Ольса» на неделю

Дата	Аккаунт	Тип контента	Тематика	Формат	Цель
01.11	@olsa_mogilev	Информационный	Новости предприятия (участие в выставке, новая модель, государственный заказ)	Пост (текст + фото)	Информирование, укрепление репутации
02.11	@shop_olsa	Продающий	Обзор садовой мебели (качели, наборы) – акцент на летнюю коллекцию	Reels (короткое видео до 60 с)	Стимулирование продаж
03.11	@olsa_mogilev	Репутационный	Рассказ о сотруднике/ цехе/ этапе производства. Рубрика «Как это сделано»	Пост (фото + текст) и Stories	Формирование доверия, открытость компании
04.11	@shop_olsa	Обучающий	«Как выбрать кровать для лежащего больного»	Пост (текст + инфографика)	Повышение осведомленности
05.11	@olsa_mogilev	Коммуникативный	Рубрика «вопрос/ответ»: отвечаем на частые вопросы клиентов	Stories и пост с ответами	Повышение коэффициента общительности
06.11	@shop_olsa	Развлекательный	Юмористический видеоролик с продукцией под трендовый звук	Reels	Вовлечение, расширение охвата
07.11	@shop_olsa	Продающий	Акция/скидка на конкретную позицию («Воскресное спецпредложение»)	Пост и Stories (таймер на скидку)	Стимулирование спонтанных покупок

Таким образом, предлагаемый контент-план позволяет не только повысить эффективность маркетинговой деятельности, но и укрепить конкурентные позиции предприятия на рынке мебельной продукции за счёт системной и целенаправленной коммуникации с целевой аудиторией.

УДК 519.876.5:658.5

РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛОГИСТИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В. Н. ДОБРЫНИН, А. Н. САЛОВ, Л. С. ТИМОНИНА,
Е. С. КОНДРАШОВА, Н. Э. КОЗЛОВ

Научный руководитель А. А. МИЛОВИДОВА, канд. техн. наук, доц.
Государственный университет «Дубна»
Дубна, Россия

Для описания и анализа производственных процессов, представленных логистико-технологическими системам (ЛТС), требуется модель, сохраняющая единые принципы расчета при изменении состава операций, ресурсов и параметров конкретного производства. Дискретно-событийное моделирование позволяет описывать такие процессы через события, состояния и правила переходов [1, 2]. *Цель работы* состоит в разработке обобщенной математической модели ЛТС и ее использовании в информационно-аналитической мульти-агентной адаптивной системе (ИАМАС-ЛТС). Прикладная область разработки – производство изделий из ячеистого бетона.

Основой подхода является разделение инвариантного расчетного ядра и параметризуемого описания конкретной ЛТС. Обобщенная модель включает ориентированный граф технологической схемы G , множество ресурсов R , множество объектов обработки и партий O , параметры операций и ресурсов Θ , начальные условия S_0 , правила функционирования Π , множество пользователей и ролей U и множество решаемых задач Z .

$$M_{LTS} = \langle G, R, O, \Theta, S_0, \Pi, U, Z \rangle.$$

Конкретная производственная схема формируется заданием значений этих компонентов без изменения структуры расчетного ядра. Обобщенность модели тем самым определяется не фиксированной конфигурацией оборудования, а единым способом описания состояний, ресурсов, маршрутов и правил переходов. Граф технологической схемы задает процессы, буферы, разделители, синхронизаторы, операции передачи продукта и граничные точки. Для каждой партии фиксируются идентификатор, тип, масса, показатели качества, текущее состояние, местоположение, маршрут и ресурсный носитель.

ИАМАС-ЛТС является информационно-аналитической надстройкой над математической моделью. Мультиагентный подход используется для разделения функций и координации действий участников производственного управления [3]. Математическое ядро принимает параметры ЛТС и формирует полученные результаты. Семантическая оболочка отвечает за источники данных,

взаимодействие подсистем и агентов, действий пользователей и представление результатов для конкретных пользователей. Для доступа к ядру используется каталог классов задач и производственная ролевая модель. Доступные исходные данные, уточнение результатов, права для корректировки и границы ответственности определяются ролью пользователя.

Взаимодействие с системой осуществляется через текстовый запрос. Программа «Консультант ИАМАС-ЛТС» формирует задание для расчетного ядра из входных данных пользователя, класса задачи, роли и доступного контекста. Данный способ разделяет математическую модель и семантический интерфейс. Подход продолжает развитие интеллектуальных сред поддержки мультидисциплинарного взаимодействия, в которых согласование контекста и ролей отделяется от собственно вычислительных процедур [4].

Первичная апробация модели была параметризована для технологической схемы производства изделий из ячеистого бетона. Проверялась возможность изменения состава операций, ресурсов, начальных условий и пользовательских задач без изменения структуры расчетного ядра. Полученная конфигурация воспроизводит прохождение партии по графу технологических операций и позволяет формировать расчеты для различных ролевых запросов. Научный результат работы состоит в разработке параметризуемой графовой дискретно-событийной модели ЛТС, в которой общие правила расчета отделены от конфигурации конкретного производственного процесса. Для подтверждения адекватности модели следующим этапом предусмотрено сопоставление расчетных результатов с фактическими характеристиками работы предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Law, A. M.** Simulation Modeling and Analysis / A. M. Law. – 5th ed. – New York : McGraw-Hill Education, 2015. – 804 p.
2. **Cassandras, C. G.** Introduction to Discrete Event Systems / C. G. Cassandras, S. Lafortune. – 2nd ed. – New York : Springer, 2008. – 769 p.
3. **Wooldridge, M.** An Introduction to MultiAgent Systems / M. Wooldridge. – 2nd ed. – Chichester : Wiley, 2009. – 484 p.
4. **Milovidova, A.** Architecture of an Intelligent Environment for Multidisciplinary Research / A. Milovidova // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science : CCIS. – Cham : Springer, 2026. – Vol. 2803. – P. 370–381.

УДК 656.13

МЕСТО И РОЛЬ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. В. ДРУГАЧЕНКО

Научный руководитель М. Н. ГРИНЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Автомобильный транспорт в Республике Беларусь занимает ведущие позиции в системе межрегиональных перевозок грузов и пассажиров. Ведущая роль данного вида транспорта обусловлена высокой мобильностью, манёвренностью, возможностью доставки «от двери до двери», а также способностью обеспечивать транспортные связи между всеми регионами страны независимо от уровня развития железнодорожной или иной инфраструктуры. В современных условиях именно автомобильный транспорт наиболее полно удовлетворяет потребности экономики и населения в оперативных перевозках на короткие и средние расстояния.

Транспортная система играет важнейшую роль в обеспечении устойчивого функционирования хозяйственного комплекса, укреплении межрегиональных связей и повышении уровня мобильности граждан. Автомобильный транспорт является наиболее распространенным видом транспорта общего пользования, обеспечивающим значительную часть перевозочной деятельности страны. Вместе с тем в последние годы отрасль сталкивается с рядом проблем, связанных со снижением грузооборота, ростом эксплуатационных затрат и необходимостью цифровизации логистических процессов.

В межрегиональных перевозках автомобильный транспорт обеспечивает перемещение грузопотоков и пассажиров между областями республики, способствуя укреплению внутренних экономических связей. В отличие от других видов транспорта, он способен оперативно реагировать на изменения рыночного спроса, эффективно обслуживая как крупные города, так и сельские населённые пункты.

Важную роль в функционировании транспортной системы играет нормативно-правовое регулирование. Основу правового регулирования транспортной деятельности составляют Закон Республики Беларусь «Об основах транспортной деятельности» от 5 мая 1998 г. № 140-З, Закон «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках» от 14 августа 2007 г. №278-З, Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31 марта 2026 г. № 147 «О перевозках пассажиров и грузов». Нормативные акты определяют организационные основы работы, регулируют отношения между участниками рынка, устанавливают требования к безопасности, определяют требования к транспортным средствам, порядок заключения договоров.

Оценка эффективности использования подвижного состава базируется на системе технико-эксплуатационных показателей, включающей объем перевозок, грузооборот, пассажирооборот, коэффициенты использования пробега и грузоподъемности, а также средние скорости движения.

Статистический анализ работы транспорта показал, что после периода стабильного роста грузооборота автомобильного транспорта в стране наметилась тенденция к постепенному снижению показателей. Наиболее выраженное сокращение объемов транспортной работы произошло в связи с изменением внешнеэкономической конъюнктуры, сокращением объёмов международных перевозок, ростом стоимости топлива и эксплуатационных расходов, а также вынужденным изменением логистических маршрутов. Региональный анализ грузооборота показал, что наибольшие объёмы перевозок стабильно приходятся на город Минск, Брестскую и Минскую области. Наиболее низкие показатели характерны для Витебской и Могилёвской областей. В сфере пассажирских перевозок после временного спада, вызванного пандемийными ограничениями, в настоящее время наблюдается устойчивое восстановление показателей, итогом которого стало превышение докризисного уровня.

К основным проблемам, снижающим эффективность межрегиональных автомобильных перевозок, относят: значительный уровень порожнего пробега транспортных средств из-за отсутствия обратной загрузки, недостаточный уровень автоматизации логистических и управленческих процессов на предприятиях, преобладание бумажного документооборота, увеличивающего временные затраты, а также недостаточная прозрачность процессов мониторинга движения автомобилей на маршрутах. Дополнительными факторами выступают постоянный рост эксплуатационных расходов, связанных с увеличением стоимости топлива и технического обслуживания, и частое использование разовых перевозчиков вместо формирования долгосрочных партнерских отношений.

Для повышения эффективности межрегионального сообщения требуется реализация комплекса организационно-экономических мероприятий. Снижение уровня порожнего пробега возможно за счет проектирования кольцевых маршрутов движения и более широкого внедрения практики попутной загрузки подвижного состава. Важным направлением является внедрение современных цифровых технологий, автоматизация систем управления перевозками, а также использование систем GPS-мониторинга для жесткого контроля маршрутов движения, расхода топлива и соблюдения графиков. Повышению стабильности рынка будет способствовать формирование баз надёжных постоянных перевозчиков и развитие долгосрочного сотрудничества между всеми участниками логистического процесса. Оптимизация маршрутов перевозок на основе современных методов планирования позволит повысить конкурентоспособность автомобильного транспорта и обеспечит устойчивое развитие транспортной системы Республики Беларусь.

УДК 338.583

УПРАВЛЕНИЕ ФИНАНСОВЫМ СОСТОЯНИЕМ В СИСТЕМЕ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

К. И. ЖИВЕЛЮК

Научный руководитель Л. В. НАРКЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

ОДО «Технолог-М» отнесено к статусу малых предприятий, работает в условиях внешних и внутренних рисков конкурентной экономической среды, что требует построения такой системы управления, которая направлена на повышение уровня финансовой стабильности по критериям экономической безопасности предприятия. Информационно-аналитическая система финансовой устойчивости организации в данной подсистеме демонстрирует потенциальную платежеспособность организации, прирост показателей перспективной платежеспособности в 2024 г. относительно 2022–2023 гг. и одновременно прирост в периоде 2022–2023 гг. Данные тенденции указывают на незначительные риски по уровню финансовой безопасности организации. Отмечен значительно высокий уровень длительности оборота готовой продукции: профиль продолжительности оборота запасов запасных частей к автомобилям, тракторам и сельхозтехнике в 2022–2024 гг. определен значениями 80,926; 78,039; 74,805 дней. Незначительное ускорение в динамике не снижает риска и угроз экономической безопасности ОДО «Технолог-М» и требует сценарной ликвидации отрицательного эффекта замораживания оборотных средств в запасах запасных частей к автомобилям, тракторам и сельхозтехнике (запчастей к МТЗ, запчастей к ГАЗ, электрооборудования, шин, аккумуляторов, гидравлики и др.) в целях обеспечения стабильности устойчивого развития организации. Аналитическая информация показывает дисбаланс в расчетных операциях ОДО «Технолог-М» с дебиторами и кредиторами. Профиль коэффициента соотношения дебиторской и кредиторской задолженности в динамике 2021–2025 гг. составил: 0,412; 0,346; 0,406; 0,516; 0,527 пункта, что значительно ниже порогового значения финансового уровня безопасности (0,9), также отмечено отсутствие просроченной кредиторской задолженности. В исследуемом временном интервале установлен высокий уровень свободных денежных средств на счетах организации и длительный период их оборачиваемости: удельный вес актива в итоге бухгалтерского баланса за 2022–2024 гг. соответственно составил: 8,35 %; 11,46 %; 14,65 %; продолжительность оборота денежных средств 17,343; 18,465; 24,750 дней, что рассмотрено отрицательно и требует выбора вариантов размещения свободных денежных средств для привлечения дополнительного дохода. Исследован многоуровневый срез факторов эффективности управления финансовым состоянием в системе экономической безопасности ОДО «Технолог-М», а именно факторный анализ индикаторов финансового уровня безопасности организации; эконометрический факторный анализ коэффициента маневренности организации с выходом на уравнение функциональной взаимосвязи результативного показателя и аргументов, привязанных к мероприятиям проектной части. Снижение коэффициента финансового левериджа в смежных периодах

обеспечено уменьшением следующих факторов: коэффициента концентрации заемного капитала (размер влияния соответственно $-0,3062$ и $-0,1901$ пункта); коэффициента маневренности собственного капитала (размер влияния соответственно $-0,1712$ и $-0,0826$ пункта). Прирост получен только по одной строке коэффициента соотношения долгосрочных и краткосрочных активов: полученные пропорции разделов актива баланса в итоге способствовали росту результативного показателя соответственно на $0,0058$; $0,0094$ пункта. Остальные факторы определили незначительное отрицательное влияние на результативный показатель. Увеличение краткосрочных активов в 2022–2024 гг. способствовало приросту коэффициента текущей ликвидности в периодах соответственно на $0,106$; $0,167$ пункта, а изменение краткосрочных обязательств оказало положительное влияние в 2022–2023 гг., увеличив коэффициент текущей ликвидности на $0,600$ пункта; отрицательное влияние в 2023–2024 гг. в размере $0,162$ пункта.

Разработан комплексный проект управления взаимоотношениями с клиентами в формате интегрированного модуля инструментов его реализации; произведен перспективный анализ по направлениям: сегментация клиентской базы; персонализированная модель работы с клиентами; инструменты закрепления потребителей (программы лояльности); оптимизация ассортиментного портфеля; техническая поддержка проекта; финансовый инструментарий (пассивного дохода; системы скидок закрепления клиентов). Визуализация результатов перспективного анализа параметров эффективности управления в финансовом блоке экономической безопасности ОДО «Технолог-М» по проекту стратегий взаимодействия с клиентами в программах лояльности приведена на рис. 1.

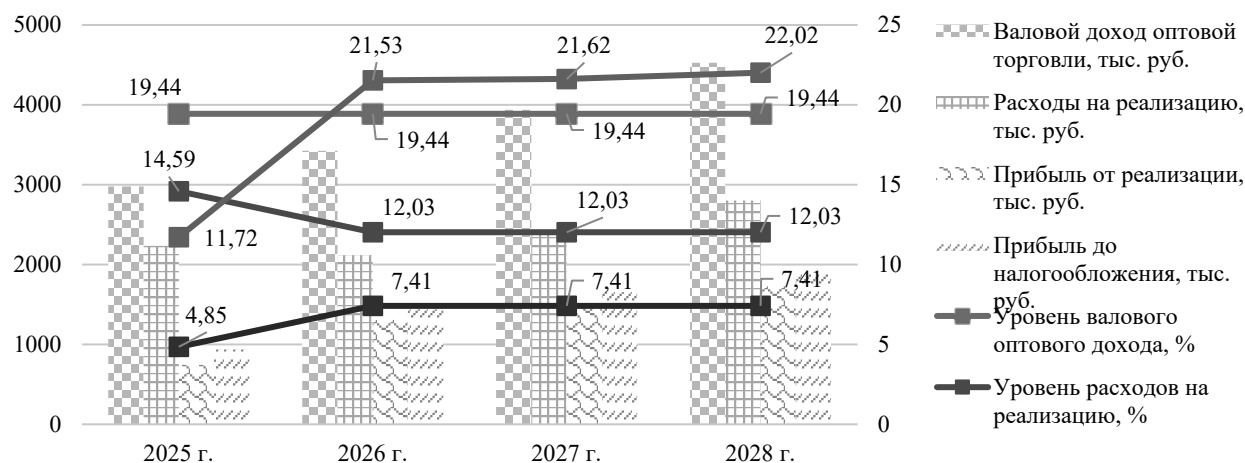


Рис. 1. Перспективная динамика параметров эффективности управления в финансовом блоке экономической безопасности по проекту управления взаимоотношениями с клиентами ОДО «Технолог-М»

Перспективный профиль прибыли до налогообложения ОДО «Технолог-М» обозначен значениями: 937 (базис 2025 г.); 1439,172; 1655,048; 1903,305 тыс. р., что соответствует приросту рентабельности капитала организации относительно предыдущего года соответственно на $9,816$; $0,085$; $0,396$ п. п. Наглядно виден положительный тренд роста всех финансовых параметров прибыли, рентабельности; ускорения оборачиваемости оборотных средств, запасов запасных частей.

УДК 338.2

СТРАТЕГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИНАНСОВОГО УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ОРГАНИЗАЦИИ: МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ

С. В. ЖУКОВА

Научный руководитель Л. В. НАРКЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Цель исследования – разработка методического базиса и аналитически обоснованного проекта инновационного развития строительной организации (объектное управление финансовыми рисками произведено на базе ОАО «Спецмонтажстрой-179») в системе управления финансовым состоянием по критериям финансового блока экономической безопасности. В ходе исследования получены следующие научные результаты: в сравнительном аспекте рассмотрены элементы финансовой безопасности (финансовый блок мониторинга параметров эффективного использования ресурсов организации; аналитическо-прогностический блок; инновационный блок управления устойчивым функционированием системы), обеспечивающие предотвращение угроз, проистекающих из внешней среды, и стабильное развитие организации в пространстве и времени. Практическое применение результатов исследования заключается в возможности их интеграции в систему менеджмента строительной организации и построения системы внутреннего мониторинга, контроля и управления финансовым уровнем безопасности организации. Основная задача состояла в разработке и обосновании системного, комплексного и целостного подхода к управлению финансовым состоянием строительной организации. Процедура решений включила: теоретические исследования в данной области, формирование информационно-аналитической платформы ретроспективного анализа уровня финансовой безопасности по показателям финансовой устойчивости, платежеспособности в динамике 2022–2025 гг. Исторический анализ параметров финансового уровня безопасности ОАО «Спецмонтажстрой-179» за 2022–2025 гг. выявил дисбаланс отдельных параметров в данном блоке: установлена отрицательная тенденция снижения нераспределенной прибыли и роста добавочного капитала в пассиве баланса в сопровождении высокой доли в активе баланса и положительной тенденции роста основных средств, т. е. вымывание собственных оборотных средств и смещение к агрессивной политике финансирования активов; отмечен недостаточный рост суммы собственных оборотных средств и снижение уровня собственного финансирования краткосрочных активов для ведения текущей деятельности организации (коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами находится за пределами порогового значения и снижается); констатировано снижение параметров рентабельности по всем рассматриваемым позициям, что соответствует росту рисков кризисной ситуации в организации, вымыванию прибыли и собственных средств финансирования, в том числе собственного оборотного капитала; установлены финансовые проблемы, связанные с высоким уровнем кредиторской задолженности в структуре капитала организации, что в итоге

определяет негативные тенденции индикаторов финансовой устойчивости, платежеспособности организации; но при этом наибольший удельный вес в структуре краткосрочных активов приходится на дебиторскую задолженность, погашение которой обеспечит оптимизацию соотношения между КЗ и ДЗ. Данный блок объясняется кассовыми разрывами во времени закрытия выполненных объемов работ и расчетов с кредиторами, характерными для предприятий строительной отрасли. Нами не рассматривался в проектном модуле.

Цель проектного блока стратегии обеспечения финансового уровня безопасности ОАО «Спецмонтажстрой-179» – системный прирост прибыли в долгосрочной перспективе (положительная перспективная динамика по строке нераспределенной прибыли, чистой прибыли отчетного периода), что в итоге прогнозирует рост эффективности управления финансовой устойчивостью, снижение финансовых рисков и экономическую безопасность организации.

Инструментом реализации целевого вектора развития рассмотрены инновационные технологии прокладки и монтажа полимерного трубопровода инженерных подземных сетей взамен прокладки стального трубопровода. Инвестиционные затраты по проекту прокладки полимерных трубопроводов составили 2 млн 340 тыс. р. Портфель инвестиционного проекта представлен собственными средствами частно-государственным партнерством и заемным лизинговым потоком на 3 года. Расчет экономического эффекта произведен по направлениям: снижение уровня материалоемкости, зарплатоемкости, отчислений на социальные нужды. Произведенный перспективный анализ в данных направлениях определил общую сумму экономии в размере 837 тыс. р. Расчет производился на 1 п. м систем трубопроводов в пересчете на годовую программу прокладки 23531 м.

Издержкоемкость СМР по в результате внедрения инвестиционного проекта составила 0,905 р., что на 0,035 р. (или на 4 %) ниже уровня базисного периода. Материалоемкость продукции в перспективе также отмечена положительной динамикой снижения: уровень ее снижения составил 0,026 р. (среднегодовой относительный прирост объема СМР – 18 %, материальных затрат – 17 %). Прогностический профиль валовой прибыли отмечен среднегодовым темпом роста 129 %. Внутренняя норма окупаемости (IRR) установлена по встроенной в Excel функции ВСД в размере 32 %; индекс рентабельности инвестиций (PI) – 2,148 пункта, что соответствует высокому уровню маржинальности проекта. Чистая дисконтированная стоимость (NPV) на перспективу пяти лет жизни проекта определена в размере 2 045 тыс. р., что определяет статус инвестиционного проекта технической поддержки технологии прокладки полимерных труб как целесообразного к реализации. Динамический срок окупаемости проекта (DPP) установлен в размере 1,618 года. Проект лепесткового формата индикаторов финансового состояния ОАО «Спецмонтажстрой-179» показывает значительные негативные расхождения по линии 2025 г. и рост финансовой устойчивости по проекту. Коэффициент финансового левериджа по проекту составил 1,71 и существенно приблизился к красной линии пороговых значений, что указывает на высокую маржинальность проектного модуля и эффективность рекомендованной к внедрению концепции инновационно-инвестиционной компоненты стратегии управления финансовым уровнем безопасности.

УДК 339.138:658.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОБЫТИЙНОГО МАРКЕТИНГА КАК ИНСТРУМЕНТА ПРИВЛЕЧЕНИЯ ПОКУПАТЕЛЕЙ В ОАО «УНИВЕРМАГ «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ»

М. А. КАЗАРЯН

Научный руководитель Л. А. КЛИМОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Функционирование ОАО «Универмаг «Центральный» в условиях соседства с крупным современным торгово-развлекательным центром «Атриум» в центральной части г. Могилева требует непрерывного поиска уникальных конкурентных преимуществ для привлечения покупательского потока. Традиционные методы ценового воздействия и стандартные рекламные кампании постепенно теряют свою привлекательность и эффективность. В связи с этим перспективным направлением интенсификации коммерческой деятельности розничного предприятия может стать событийный маркетинг. Однако в условиях дефицита свободных площадей универмаг не может проводить массовые развлекательные шоу. Это заставляет предприятие искать другие решения и объединять свои внутренние ресурсы для создания небольших, но интересных для покупателя мероприятий непосредственно в торговых залах

Целью исследования является разработка комплексной стратегии событийного маркетинга на основе объединения внутренних ресурсов розничного объекта для перераспределения покупательских потоков. Автором проведена оценка параметров событийной среды ОАО «Универмаг «Центральный» и ТРЦ «Атриум» по трехбалльной шкале (1 – низкий, 2 – средний, 3 – высокий уровень) с позиции их уникальности и вовлеченности потребителя (табл. 1).

Табл. 1. Сравнительная оценка качественных параметров событийной среды торговых объектов ТРЦ «Атриум» и ОАО «Универмаг «Центральный»

Направление оценки	ТРЦ «Атриум»		ОАО «Универмаг «Центральный»	
	Балл	Характеристика среды	Балл	Характеристика среды
Акустическая самобытность	2	Стандартный цифровой аудиофон, отсутствие живого звука	1	Высокий скрытый потенциал при отсутствии постоянной трансляции
Презентация товарных групп	3	Высокая сменяемость витрин брендов, но дефицит локального колорита	1	Консервативная выкладка, требующая внедрения элементов перформанса
Интерактивность пространства	2	Пассивное посещение торговых галерей и фуд-корта	1	Изолированные торговые секции без единой концепции
Историко-культурный капитал	1	Отсутствие локальной идентичности (типовой торговый объект)	3	Высокий уровень доверия, статус главного торгового объекта города

Данные таблицы наглядно демонстрируют, что ОАО «Универмаг «Центральный» не должен копировать крупноформатные развлекательные мероприятия

ТРЦ «Атриум». Главным конкурентным преимуществом универмага является его высокий историко-культурный капитал и уникальные внутренние ресурсы (собственный музыкальный коллектив, тесные связи с отечественными производителями), которые при интеграции способны создать мощный синергетический эффект.

Для преодоления дефицита свободной площади и качественного обновления имиджа ОАО «Универмаг «Центральный» автором предложен переход к комплексной организации мероприятий. Разработанный перечень взаимосвязанных проектов, сочетающих музыкальное сопровождение, визуальное оформление и новые консультационные услуги, представлен в табл. 2.

Табл. 2. Комплекс интегрированных проектов событийного маркетинга

Название проекта	Механизм реализации проекта	Ожидаемый эффект
«Симфония стиля»	Выступление оркестра универмага на лестничных маршах совместно с мини-показами одежды	Привлечение внимания, замедление покупательского потока в залах
«Персональный гид»	Еженедельные открытые консультации приглашенных стилистов и визажистов в торговых секциях	Рост комплексных покупок и существенное увеличение среднего чека
«Кулинарная академия»	Организация детских праздников и кулинарных мастер-классов в столовой на 3-м этаже в выходные	Удержание семейной аудитории, высвобождение времени родителей для покупок
«Универмаг историй»	Создание ретро-зон с QR-кодами, ведущими на цифровые аудиогиды об истории моды города	Эмоциональное удержание посетителей, рост времени нахождения в магазине

Таким образом, предложенные мероприятия позволяют ОАО «Универмаг «Центральный» использовать свои исторические и инфраструктурные особенности для борьбы за покупателя с ТРЦ «Атриум». Вместо копирования чужих форматов универмагу целесообразно сделать ставку на собственную культурную самобытность. Преимущество данных проектов заключается в том, что их реализация не требует проведения масштабной реконструкции здания или крупных капитальных вложений, поскольку торговый объект задействует уже имеющиеся ресурсы.

Музыкальные выступления оркестра на лестницах привлекают транзитный поток с улицы, а бесплатная помощь стилистов и визажистов в отделах одежды и косметики напрямую помогает посетителям выбрать товары и способствует увеличению среднего чека. В свою очередь, кулинарные занятия для детей на базе столовой решают проблему пустующих в выходные дни площадей общепита и дают родителям время на осмотр основных торговых секций. В долгосрочной перспективе такой подход позволяет превратить поход в универмаг из обычной утилитарной закупки в полноценный досуг, формируя у жителей города устойчивую привычку регулярного посещения торгового объекта. В результате сочетание живой музыки, бесплатных консультаций и детского досуга создаст уникальную атмосферу, которую невозможно повторить в условиях стандартного торгового центра. Это обеспечит приток новых покупателей и рост розничного товарооборота универмага.

УДК 339.138:658.8

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОРГОВЫХ ПЛОЩАДЕЙ РОЗНИЧНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОКУПАТЕЛЬСКОГО ПОВЕДЕНИЯ

М. А. КАЗАРЯН

Научный руководитель Л. А. КЛИМОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В условиях насыщения потребительского рынка эффективность деятельности регионального универмага напрямую зависит от рациональной организации торгово-технологических процессов. Одним из важнейших факторов интенсификации розничных продаж выступает научно обоснованное распределение площади торгового зала между отдельными товарными группами. Рациональное пространственное планирование призвано минимизировать издержки и обеспечить психологический комфорт для посетителей, что напрямую сказывается на времени их нахождения в магазине и величине среднего чека. Настоящее исследование посвящено анализу организации розничной торговли на третьем этаже ОАО «Универмаг «Центральный» г. Могилева, где сосредоточены секции мужской и женской одежды. Основным методом исследования выступило включенное наблюдение с выборочным хронометражем покупательских потоков. В ходе мониторинга установлено, что существующая структура распределения торгового пространства не в полной мере учитывает плотность потоков целевой аудитории. В настоящее время площади секций распределены практически равномерно, однако интенсивность их посещения существенно различается. Результаты сравнительного анализа параметров функционирования секций систематизированы в табл. 1.

Табл. 1. Сравнительный анализ параметров функционирования секций одежды

Критерий сравнения	Секция «Женская одежда»	Секция «Мужская одежда»
Доля от площади этажа	53 %	47 %
Плотность потока покупателей	Высокая (избыточная в часы пик)	Низкая (стабильно разреженная)
Среднее время нахождения	12...15 мин	5...7 мин
Размещение оборудования	Плотное (сужение проходов, теснота)	Свободное (широкие проходы)
Доступ к товарным позициям	Затрудненный (невозможность подойти)	Свободный (беспрепятственный подход)
Поведение при пиковой нагрузке	Отказ от покупки из-за дискомфорта и уход	Беспрепятственный осмотр и выбор
Сдерживающий фактор развития	Дефицит пространства для навигации	Низкая интенсивность потока

Представленные данные свидетельствуют о наличии пространственного дисбаланса. Секция женской одежды испытывает дефицит торговой площади,

усугубляющийся внутренней структурой выкладки (около 25 % площади отведено под фирменные зоны отечественных производителей легкой промышленности, еще 25 % занято секцией нижнего белья). В итоге на экспозицию остального ассортимента (платья, костюмы, брюки, верхняя одежда) остается менее половины выделенного пространства. Высокая плотность расстановки вешал приводит к сужению проходов ниже нормативных значений. В условиях наплыва посетителей возникает эффект вынужденной тесноты. Женская модель покупательского поведения предполагает длительный визуальный контакт с товаром и изучение размерного ряда. В условиях затрудненного доступа к кронштейнам часть покупателей прерывает процесс выбора и покидает секцию. Напротив, в секции мужской одежды плотность оборудования минимальна, а поток посетителей разрежен. Мужчины совершают покупки быстрее (в среднем за 5...7 мин), ориентируясь на конкретную потребность, и не нуждаются в избыточном пространстве. Для устранения выявленного дисбаланса автором сформирован комплекс рекомендаций, сгруппированных по трем направлениям (табл. 2).

Табл. 2. Комплекс мероприятий по оптимизации работы секций одежды

Направление	Содержание мероприятия	Ожидаемый управленческий эффект
Пространственное	Перераспределение 12 %...15 % площади мужской секции в пользу женского зала	Расширение проходов до 1,4...1,6 м, ликвидация скученности, удержание покупателей
Организационное	Внедрение принципа экспонирования «один артикул – один образец в зале»	Разгрузка вешал, повышение сохранности товаров, высвобождение площади
Цифровое	Размещение на ценниках QR-кодов со ссылкой на электронную витрину остатков	Самостоятельная проверка покупателем наличия смежных размеров на складе

В рамках пространственного направления предлагается изменить пропорции секций, передав часть площади мужского зала женскому. Для мужского ассортимента незначительное уплотнение выкладки не станет критическим фактором снижения продаж, тогда как в женском зале дополнительные квадратные метры позволят расширить проходы. Организационный блок предполагает отказ от выкладки всего размерного ряда в зале. На кронштейнах следует оставлять по одному образцу каждого артикула в ходовых размерах, а дублирующие позиции хранить в присекционном складе и доставлять по запросу. Это разгрузит вешала и облегчит осмотр коллекции. Цифровое направление подразумевает нанесение на ценники матричных кодов, позволяющих покупательницам с помощью мобильных устройств мгновенно проверять наличие размеров на складе. Перспективным шагом является и внедрение интерактивных примерочных («умных зеркал») для виртуального подбора аксессуаров.

Реализация предложенного комплекса мероприятий позволит ОАО «Универмаг «Центральный» оптимизировать использование пространства третьего этажа и обеспечить прирост розничного товарооборота.

УДК 331.1

ОЦЕНКА УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
В СФЕРЕ МОТИВАЦИИ ПЕРСОНАЛА

Т. Б. КЛИМАСЬ

Научный руководитель О. М. СМОЛЯКОВА, канд. экон. наук, доц.

Минский филиал «Российский экономический
университет имени Г. В. Плеханова»

Минск, Беларусь

Эффективность функционирования современной организации, успех реализации любого управленческого решения стратегического или тактического плана напрямую зависит от степени вовлеченности исполнителей и их внутренней заинтересованности в конечных результатах. В связи с этим разработка, внедрение и последующая оценка действий, связанных с мотивацией персонала, приобретают особую актуальность. Под управленческим решением в контексте мотивации понимается целенаправленное воздействие руководства на внутренние побудительные силы сотрудников для достижения целей компании. Как отмечается в современных исследованиях, мотивация представляет собой сложный динамический процесс, включающий как материальные (прямые и косвенные), так и нематериальные (социальные, психологические, организационные) стимулы [1, с. 218]. На практике управленческие решения часто концентрируются исключительно на монетарной составляющей (премии, бонусы), что снижает долгосрочную устойчивость системы управления персоналом.

Для комплексной оценки управленческих решений в сфере мотивации необходимо соотносить затраченные ресурсы с изменением поведенческих и результирующих индикаторов. Эффективность принятого решения может быть выражена математически как отношение достигнутого эффекта к совокупным затратам на реализацию мотивационного мероприятия. Рассмотрим формулу общего коэффициента эффективности мотивационного управленческого решения:

$$E = \frac{\Delta P}{\sum(C_m + C_i)},$$

где ΔP – прирост производительности труда (выручки, валовой прибыли или иного ключевого показателя) за анализируемый период; C_m – материальные затраты на внедрение новой системы стимулирования; C_i – прочие затраты на i -е организационное и информационное обеспечение решения.

Важной особенностью оценки эффективности является необходимость учета не только экономических, но и социально-психологических факторов личной заинтересованности сотрудников. Как справедливо подчеркивают исследователи, игнорирование структуры индивидуальных потребностей работников приводит к снижению результативности любых программ. Внедрение управленческого решения должно сопровождаться мониторингом уровня

лояльности, удовлетворенности трудом и снижения текучести кадров [2, с. 428]. Принятие решений без предварительного анализа структуры мотивационного профиля коллектива может обернуться негативом (например, усиление контроля при отсутствии прозрачной системы вознаграждения демотивирует). Напротив, интеграция личных целей сотрудников с миссией компании максимизирует синергетический эффект управленческого воздействия [3, с. 26]. Для систематизации подходов к оценке выделим ключевые параметры эффективности управленческих решений в области мотивации (табл. 1).

Табл. 1. Критерии оценки мотивационных управленческих решений

Группа критериев	Показатель оценки	Метод измерения
Экономические	Показатели производительности труда, качества продукции (работ, услуг)	Анализ данных учета и отчетности
Организационные	Уровень текучести кадров, абсентеизма	Кадровый аудит, анализ KPI персонала
Социально-психологические	Коэффициент удовлетворенности трудом, уровень вовлеченности (eNPS)	Анкетирование, опросы, тестирование

Вывод. Оценка управленческих решений, связанных с мотивацией персонала, является непрерывным процессом, требующим гармоничного сочетания количественных и качественных методов. Эффективное управленческое решение в данной сфере не только обеспечивает прирост экономических показателей организации, но и формирует устойчивую внутреннюю заинтересованность работников в профессиональном развитии. Учет всех факторов и регулярный аудит удовлетворенности сотрудников позволяют минимизировать риски принятия неэффективных решений и повысить общую конкурентоспособность предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Александрова, О. С.** Исследование системы мотивации персонала / О. С. Александрова // Актуальные аспекты развития науки и общества в эпоху цифровой трансформации : материалы XVIII Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 6 нояб. 2024 г. – М. : Центр развития образования и науки, 2024. – С. 217–224.
2. **Мамчиц, А. А.** Измерение вовлеченности персонала в инновации: метрики и KPI / А. А. Мамчиц, О. М. Смолякова // Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 4 июня 2025 г. – Н. Новгород : Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2025. – С. 427–430.
3. **Яковлева, А. В.** Удовлетворенность трудом в системе организации и мотивации труда / А. В. Яковлева // Способы, модели и алгоритмы управления модернизационными процессами : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Казань, 15 марта 2024 г. – Уфа : Аэтерна, 2024. – С. 25–27.

УДК 339.138:004.77

ИНТЕРНЕТ-ТОРГОВЛЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ДИВЕРСИФИКАЦИИ
КАНАЛОВ СБЫТА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Д. А. КОЗЛОВА

Научный руководитель Л. А. КЛИМОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Одним из ключевых направлений развития текстильного предприятия ОАО «Моготекс» является расширение интернет-торговли.

В связи с этим компания активно развивается на новых каналах сбыта, которые включают в себя ряд крупных интернет-площадок. Среди них маркетплейсы Wildberries (реализуется 439 видов продукции), ведущая российская платформа Ozon (более 300 товаров), онлайн-гипермаркет 21vek.by (93 разновидности продукции), «Яндекс.Маркет» (несколько сотен экземпляров), а также интернет-магазин в социальной сети «ВКонтакте» и онлайн-гипермаркет «Е-доставка». Реализация товаров посредством интернет-торговли составляет около 20 % от общего объема продукции предприятия. Основными категориями, представляющими ассортимент продукции, являются: аксессуары, одежда, текстиль для дома (преимущественно скатерти), детские товары, товары для творчества. Однако следует отметить, что на маркетплейсе 21vek.by продукция предприятия представлена лишь в двух категориях – шторы, гардины (два вида продукции) и скатерти (91 вид), а через онлайн-гипермаркет «Е-доставка» ОАО «Моготекс» реализует в основном только скатерти и салфетки для сервировки стола.

На основании оперативной отчетности управления маркетингом предприятия в ходе исследования был проведен анализ динамики продаж на различных интернет-площадках за 2023–2024 гг. Динамика сбыта продукции компании через маркетплейсы представлена на рис. 1.

Как мы можем заметить, в течение исследуемого периода наблюдается рост продаж на всех представленных площадках, что свидетельствует об успешной интеграции компании в интернет-торговлю и высоком спросе на её продукцию в B2C-сегменте. Кроме того, можно отметить, что абсолютными лидерами, демонстрирующими наибольшие показатели выручки и темпы прироста, являются Wildberries и Ozon, в то время как Яндекс.Маркет, 21vek.by и Е-доставка, несмотря на положительную динамику сбыта, играют роль вспомогательных каналов с меньшим объемом продаж.

Существенный перекося в пользу маркетплейсов Wildberries и Ozon можно заметить и при анализе структуры продаж через сеть Интернет. Так, период с 2023 г. по 2024 г. характеризуется устойчивой тенденцией к концентрации объемов реализованной продукции на данных интернет-площадках с одновременным снижением удельного веса остальных платформ (рис. 2). Совокупная доля двух лидеров рынка (Wildberries и Ozon) возросла с 52,44 % в 2023 г. до 54,65 % в 2024 г. В то же время произошло сокращение доли второстепенных

каналов (21vek.by, Яндекс.Маркет, Е-доставка) на 3,28 п. п. в совокупности, что указывает на необходимость пересмотра подходов к работе с данными платформами либо перераспределения маркетингового бюджета в пользу лидеров с целью максимизации прибыли и возврата инвестиций.

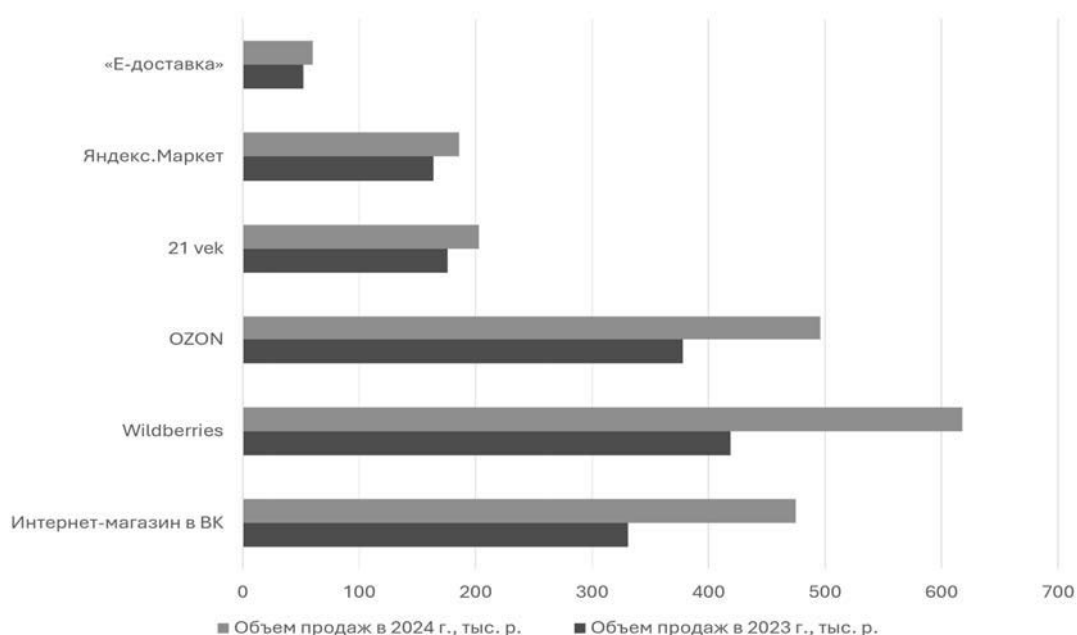


Рис. 1. Динамика сбыта продукции ОАО «Моготекс» за 2023–2024 гг.

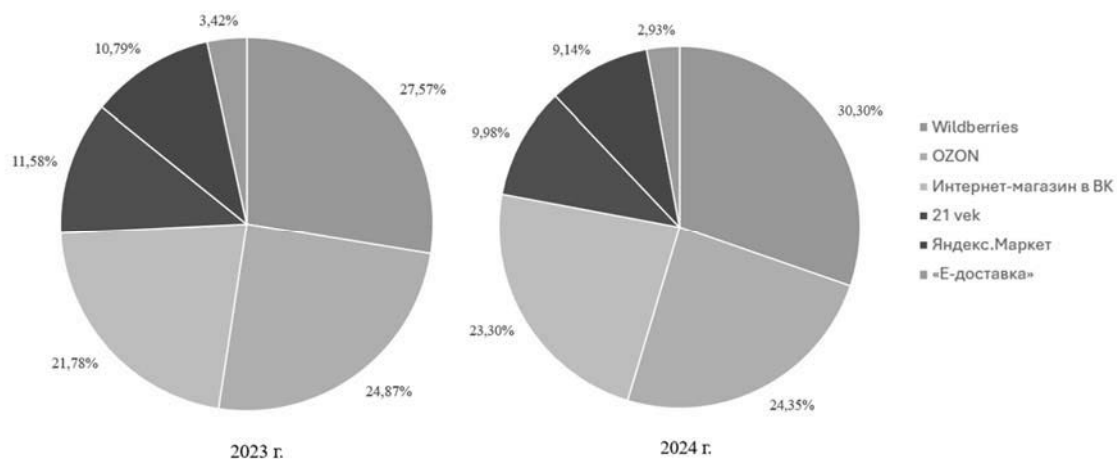


Рис. 2. Структура сбыта продукции ОАО «Моготекс»

Таким образом, предприятие ОАО «Моготекс» демонстрирует успешное развитие интернет-торговли и положительную динамику продаж на всех используемых площадках. Дальнейшее сочетание традиционных продаж через фирменные магазины с современными методами продаж через крупные интернет-площадки позволит компании укрепить свои позиции на рынке и максимизировать прибыль.

УДК 004.9

ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА В УСЛОВИЯХ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

А. К. КОНДРАТКОВА
Педагогический колледж
Бугуруслан, Россия

В современных реалиях проблемы подготовки инженерных и производственных кадров промышленного сектора в условиях стремительного распространения технологий генеративного искусственного интеллекта (ГИИ) играют значительную роль в образовательном процессе. Рассмотрим ключевые барьеры, возникающие на стыке традиционной инженерной педагогики и новых требований цифровой экономики. Активное внедрение генеративного искусственного интеллекта в промышленность, в части проектирования, автоматизации технологического проектирования, предиктивной аналитики и управления производственными процессами, происходит быстрее, чем система профессионального образования успевает адаптировать образовательные программы. Промышленные предприятия всё активнее используют ГИИ-инструменты для генерации конструкторской документации, оптимизации технологических маршрутов и моделирования производственных сценариев, тогда как выпускники технических вузов и колледжей часто не обладают компетенциями работы с такими системами. Возникает разрыв между темпом технологических изменений и инерционностью образовательных стандартов. Это порождает кадровый дефицит нового типа – не отсутствие специалистов вообще, а отсутствие специалистов, способных эффективно интегрировать ГИИ в инженерную деятельность.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью адаптировать систему подготовки кадров к развивающимся технологиям генеративного искусственного интеллекта в промышленном секторе.

Цель статьи: выявить и систематизировать ключевые проблемы подготовки специалистов промышленного сектора в условиях генеративного искусственного интеллекта и определить возможные направления их решения.

В результате проведенного анализа и педагогической практики удалось выявить следующие основные проблемы:

- отставание образовательных стандартов от темпов технологического развития;
- дефицит преподавательских компетенций;
- риск деградации фундаментальных инженерных компетенций;
- отсутствие единой методологии оценки достоверности ИИ-решений [1];
- разрыв между теоретической подготовкой и прикладными задачами предприятий;

- этические и правовые проблемы применения ГИИ в инженерной практике;
- кадровый разрыв между поколениями специалистов [2];
- недостаточная материально-техническая база образовательных учреждений.

Выявленные проблемы обладают взаимосвязанными причинами, т. к. технологическое отставание образовательных программ усугубляется дефицитом кадровых компетенций преподавателей, что в совокупности формирует замкнутый цикл. Без обновления методик подготовки специалистов невозможно устранить разрыв между вузом и производством, а без притока квалифицированных практиков в образовательную среду невозможно обновить сами методики. Одновременно нельзя игнорировать риск чрезмерной технологической зависимости, т. к. подготовка специалистов должна балансировать между освоением новых инструментов и сохранением фундаментальной инженерной грамотности.

Выводы.

1. Подготовка специалистов столкнулась с системным разрывом между темпами технологического развития и инерционностью образовательных программ.

2. Ключевыми барьерами являются отставание стандартов, недостаток компетенций у преподавателей, риск деградации фундаментальных инженерных навыков, отсутствие методологии проверки достоверности ИИ-решений и слабая интеграция образования с реальными производственными процессами.

3. Решение проблемы требует комплексного подхода: регулярного обновления образовательных программ с участием промышленных партнёров, повышения квалификации преподавательского состава, внедрения модулей критической оценки результатов ГИИ и развития инфраструктуры образовательных учреждений.

4. Стратегическим направлением развития должна стать модель «гибридной компетентности», при которой специалист сочетает глубокие фундаментальные инженерные знания с навыками эффективного и критического применения генеративных ИИ-инструментов, что позволит обеспечить устойчивое кадровое обеспечение промышленного сектора в условиях цифровой трансформации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Латушкина, Т. С.** Скрытое влияние искусственного интеллекта на экономику и общество / Т. С. Латушкина // Искусственный интеллект и духовная культура : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 23 окт. 2025 г. : в 2 т. – М. : Сциентиа, 2026. – Т. 1. – С. 129–134.
2. **Портнов, К. В.** Проблемы и перспективы замещения рабочих мест искусственными интеллектуальными агентами / К. В. Портнов // Экономика, управление и финансы: новые подходы и решения : тез. докл. и выступлений II Всерос. (с междунар. участием) науч.-практ. конф., Донецк, 11–12 февр. 2026 г. – Донецк : Донец. гос. ун-т, 2026. – С. 575–579.

УДК 339.138

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕПРОДАЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И СЕРВИСА НА МАРКЕТИНГОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОАО «ЗЕНИТ»

Е. А. КРАСНИКОВА

Научный руководитель Л. А. КЛИМОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

ОАО «Зенит» – предприятие радиотехнического профиля, входящее в состав холдинга «Могилевлифтмаш». Основная номенклатура включает устройства управления лифтами, запасные части к ним, светодиодные светильники промышленного, транспортного и бытового назначения. Продукция реализуется как на внутреннем рынке, так и на экспорт.

На рынке лифтового оборудования и светодиодной техники продукты разных производителей с каждым годом всё больше сближаются по техническим характеристикам, и именно послепродажный сервис всё чаще становится тем фактором, который определяет выбор покупателя. Качественное обслуживание после продажи формирует лояльность, становится источником рекомендаций и обеспечивает предприятию выручку на протяжении всего срока эксплуатации оборудования. Общеизвестно, что удержание действующего клиента обходится в несколько раз дешевле, чем привлечение нового, а средний чек постоянного покупателя примерно в 3 раза выше. Для ОАО «Зенит», работающего преимущественно в секторе B2B, это означает, что своевременная поставка запасных частей и компетентная техническая поддержка напрямую увеличивают долю повторных заказов и снижают затраты на маркетинг.

Для клиентов предприятия простой лифта из-за отсутствия запчастей или задержки в диагностике оборачивается прямыми финансовыми потерями, а в ряде случаев – штрафными санкциями. Скорость реакции на сервисную заявку, наличие комплектующих узлов на складе, способность провести диагностику и устранить неисправность с первого выезда – всё это измеримые параметры, и на практике заказчик ценит их выше, чем разницу в цене самого оборудования. В этом смысле сервис перестаёт быть вспомогательной функцией и превращается в самостоятельный продукт, который клиент фактически покупает вместе с оборудованием.

Помимо прямого эффекта, послепродажное обслуживание увеличивает количество точек контакта с потребителем. Каждый сервисный выезд, каждая заявка на запчасть, каждое обращение в техподдержку – это источник информации о том, как оборудование ведёт себя в реальных условиях эксплуатации, какие узлы отказывают чаще, какие конструктивные решения себя не оправдали. При системном подходе эти данные ложатся в основу доработок устройств управления лифтами и светодиодных изделий, повышая их надёжность и конкурентоспособность. Таким образом, сервис работает не только на удержание клиента, но и на совершенствование самого продукта.

Довольный заказчик, получивший оперативную помощь по гарантии,

с высокой вероятностью порекомендует предприятие коллегам. В относительно узком кругу лифтовых и монтажных организаций СНГ репутация передаётся из уст в уста и работает эффективнее прямой рекламы. Кроме того, платное сервисное обслуживание, поставка запчастей по постгарантийным договорам, модернизация ранее установленного оборудования формируют стабильный доход, который не зависит от сезонных колебаний спроса на новую продукцию и сглаживает кассовые разрывы.

Для количественной оценки вклада отдельных элементов сервиса в маркетинговые результаты предприятия построена таблица, в которой каждый элемент оценивается по 10-балльной шкале (10 – максимальный вклад). Оценка проводится по пяти маркетинговым результатам, каждому из которых присвоен весовой коэффициент, отражающий его значимость для ОАО «Зенит». Интегральный балл по каждому элементу рассчитывается как сумма произведений оценки на соответствующий вес (табл. 1).

Табл. 1. Оценки вклада отдельных элементов сервиса в маркетинговые результаты предприятия

Элемент послепродажного сервиса	Лояль- ность клиентов (вес 0,25)	Повтор- ные продажи (вес 0,25)	Репутация и рекомен- дации (вес 0,20)	Обратная связь и улучшение продукта (вес 0,15)	Дополни- тельный доход от сервиса (вес 0,15)	Инте- гральный балл
Гарантийный ре- монт и замена	8	7	7	6	4	6,65
Поставка запас- ных частей	9	9	8	7	8	8,25
Техническая под- держка	8	7	8	8	5	7,25
Обучение персо- нала клиентов	6	6	7	7	3	5,95
Постгарантийное обслуживание	7	8	6	5	9	7,10
Модернизация оборудования	7	7	8	9	8	7,65
Сбор и обработка обратной связи	6	6	6	10	4	6,25

На основании проведенной оценки можно выделить приоритетные направления развития сервиса для ОАО «Зенит». В первую очередь это сокращение сроков поставки запасных частей, в том числе за счёт расширения складской номенклатуры узлов и региональных точек выдачи. Далее – расширение базы постгарантийных договоров, которые обеспечивают предприятию стабильный доход, а клиенту – гарантированное время реакции на неисправность. Систематический сбор обратной связи с её последующей передачей в конструкторский отдел позволяет не только удерживать клиента, но и делает следующий экземпляр оборудования надёжнее предыдущего. Именно эти меры обеспечат наибольший прирост лояльности и повторных продаж при минимальных затратах на маркетинг.

УДК 339.138

ОЦЕНКА И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
СВЕТОДИОДНОЙ ПРОДУКЦИИ ОАО «ЗЕНИТ»

Е. А. КРАСНИКОВА

Научный руководитель Л. А. КЛИМОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Эффективное управление сбытом на внутреннем и внешнем рынках требует от белорусских предприятий своевременной и качественной оценки конкурентных преимуществ выпускаемой продукции. Объектом исследования в работе стало ОАО «Зенит» (г. Могилев). *Цель работы* – сравнить одну из популярных моделей светодиодной техники завода с рыночными аналогами и предложить конкретные маркетинговые меры для стимулирования продаж.

Позиции завода оценивались на примере промышленного пылевлагозащищенного светильника ДПП 01-1×22-001-УХЛ3.1 производства ОАО «Зенит». Для сравнения выбрали два сильных конкурента на рынке Союзного государства: российский Line S 20 (ООО «Завод Светорезерв», г. Москва) и китайский LSP-01 LED (TM ASD).

Для оценки конкурентоспособности светильников использовался метод многокритериальной оценки с учетом весовых коэффициентов. Итоговый интегральный показатель рассчитывался на основе технических и экономических параметров, весовые коэффициенты для которых были установлены на основе аналитической оценки автора с учетом специфики рынка. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Проведенные расчеты показывают, что светильник ДПП 01-1×22-001 производства ОАО «Зенит» лидирует по общему показателю конкурентоспособности ($K = 0,95$). Он опережает российский аналог на 5,5 %, а китайский – на 26,6 %. Такое преимущество достигнуто за счет технических характеристик: высокой светоотдачи, надежного источника питания и качественного оптического рассеивателя.

В то же время экономический блок позволил выявить слабые стороны в сбыте. По начальной отпускной цене «Зенит» уступает бренду ASD. Причина кроется в высокой себестоимости импортных полупроводниковых кристаллов и небольших (в сравнении с КНР) масштабах серийного производства. Хотя в процессе эксплуатации экономия электроэнергии перекрывает эту разницу, при участии в электронных торгах именно первоначальная цена часто становится решающим фактором.

Для укрепления конкурентных позиций ОАО «Зенит» на рынках сбыта предлагаются следующие маркетинговые и стратегические шаги:

- внедрение расчетов стоимости жизненного цикла – в коммерческих предложениях для крупных заказчиков важно показывать не просто цену светильника, а сумму затрат на электроэнергию и обслуживание за весь период

его службы, это докажет экономическую выгоду белорусской продукции в долгосрочной перспективе;

– прямые поставки по государственным программам – предприятию необходимо активнее включаться в стратегические программы технического перевооружения заводов Республики Беларусь и регионов России. Это позволит выйти на прямые контракты и избежать ценового давления со стороны посредников;

– снижение себестоимости на электронные компоненты за счет собственных разработок научно-технического центра и более плотной кооперации с предприятиями холдинга «Могилевлифтмаш».

Табл. 1. Квалиметрическая оценка конкурентоспособности промышленных светильников

Параметр	Вес параметра a_i	ДПП 01-1×22-001 (ОАО «Зенит», РБ)	Line S 20 (ООО «Завод Светорезерв», РФ)	LSP-01 LED (TM ASD, КНР)
<i>Технические параметры (баллы от 1 до 5)</i>				
1. Световая отдача (энергoeffективность)	0,25	5,0	4,8	3,8
2. Надежность (нормативный гарантийный срок)	0,20	5,0	5,0	3,0
3. Степень защиты оболочки от пыли и влаги	0,15	5,0	5,0	4,0
4. Диапазон предельных рабочих температур	0,10	4,5	4,0	3,5
Сводный индекс технических параметров Imn	0,70	0,69	0,67	0,49
<i>Экономические параметры (условие минимума)</i>				
5. Первоначальная отпускная цена единицы товара	0,20	4,0	3,8	5,0
6. Удельные затраты на регламентное обслуживание	0,10	5,0	4,5	3,0
Сводный индекс экономических параметров $Iэп$	0,30	0,26	0,23	0,26
Интегральный показатель ($K = Imn + Iэп$)	1,00	0,95	0,90	0,75

Источник: собственная разработка автора на основе технических паспортов изделий и данных прайс-листов предприятий-изготовителей.

Предложенные меры помогут ОАО «Зенит» перейти от разовых продаж к системному управлению конкурентоспособностью своей светотехнической продукции.

УДК:330.131.7:65.011.1

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИМИ РИСКАМИ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

В. В. ЛУНЁВА

Научный руководитель Н. Н. ЯРКИНА, д-р экон. наук, доц.
Керченский государственный морской технологический университет

Современная предпринимательская среда характеризуется полифакторной неопределенностью: волатильность рынков, киберугрозы, разрывы логистических цепочек и быстрое устаревание технологий требуют от предприятия не просто защиты от уже реализовавшихся угроз, а формирования предвидящей системы управления. Традиционные, зачастую реактивные, подходы к экономической безопасности оказываются недостаточными. На первый план выходит инновационный подход к обеспечению ЭБП, предполагающий не просто применение новых технологий, а пересмотр философии управления: от «избегания потерь» к «устойчивому развитию через контролируемую рискованность». Он базируется на трех ключевых элементах:

- 1) проактивная идентификация – использование прогнозной аналитики и непрерывного мониторинга индикаторов риска (раннее обнаружение точек бифуркации);
- 2) цифровая интеграция – объединение данных о внутренних и внешних рисках в единое информационное поле (системы класса GRC – Governance, Risk, Compliance);
- 3) адаптивное реагирование – не жесткие регламенты, а сценарное планирование и динамическое перераспределение ресурсов.

Методологической основой инновационного подхода выступают национальные стандарты РФ (ГОСТ Р ИСО 31000–2019 [1] и ГОСТ Р 58771–2019 [2]), дополненные актуальными инструментами.

Исходя из того, что предпринимательские риски представляют собой вероятность возникновения убытков, вызванных нарушением равновесия в условиях неопределенности экономической конъюнктуры, инновационный подход требует синтеза качественных и количественных методов их прогнозирования и оценки. Карты рисков (качественный экспресс-анализ) целесообразно сочетать с имитационным моделированием Монте-Карло и методом моментов, что особенно значимо при недостатке статистической информации по новым видам рисков (например, киберриски, репутационные риски в социальных сетях).

Практическим подтверждением эффективности предложенного подхода выступает опыт ПАО «ГМК «Норильский никель». Предприятие реализовало не просто набор процедур, а системную интеграцию всех подразделений в общую систему риск-менеджмента. Инновационные решения заключаются [3]:

- во внедрении инструмента оценки САНРА (зоны конфликтного и высокого риска) и анкетирования «Знай своего поставщика» для сквозной проверки цепочек поставок минерального сырья;

- в применении матрицы принятия решений по рискам, где уровень подтвержденного риска напрямую определяет алгоритм взаимодействия с контрагентом;

- в ежегодной актуализации оценки территориальной принадлежности и публичной отчетности по цепочке поставок.

Это позволило предприятию сохранять финансовую устойчивость при ценовых шоках на сырьевых рынках, что прямо коррелирует с определением экономической безопасности как защищенности жизненно важных интересов от внутренних и внешних угроз.

Инновационный подход решает проблему недостаточной согласованности и интеграции различных элементов риск-менеджмента на предприятиях путём создания «риск-ориентированной культуры» (risk culture) – когда принятие решений на всех уровнях учитывает риск-аппетит предприятия. Влияние рисков на ЭБП имеет ярко выраженный отраслевой и региональный аспект [4], следовательно, инновационный подход не может быть шаблонным – он требует персонализированной архитектуры под каждый субъект предпринимательства.

Выводы. Инновационный подход к управлению предпринимательскими рисками в системе ЭБП позволяет перейти от компенсации ущерба к его предотвращению за счет прогнозной аналитики; достичь синергетического эффекта, когда мероприятия по снижению одного риска усиливают защищенность сразу нескольких компонентов безопасности; трансформировать риск-менеджмент в драйвер создания стоимости, повышая инвестиционную привлекательность и рыночную капитализацию. Перспективы дальнейших исследований лежат в области внедрения технологий искусственного интеллекта для динамического скоринга рисков, разработки отраслевых бенчмарков интегрированной зрелости риск-менеджмента и оценки экономического эффекта от проактивного управления рисками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Менеджмент риска. Принципы и руководство : ГОСТ Р ИСО 31000–2019. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (дата обращения: 15.06.2026).

2. Менеджмент риска. Технологии оценки риска : ГОСТ Р ИСО 58771–2019. – URL: <https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fdocs.cntd.ru%2Fdocument%2F1200170253&utf=1> (дата обращения: 15.06.2026).

3. Отчет в области ответственной цепочки поставок Группы компаний «Норильский никель» за 2024 год. – URL: https://nornickel.ru/upload/files/ru/investors/reports-and-results/annual-reports/responsible_supply_chain_report_2024-rus.pdf (дата обращения: 15.06.2026).

4. **Марочкин, Н. А.** Влияние рисков на экономическую безопасность предприятия: отраслевой и региональный аспекты / Н. А. Марочкин // Стратегии развития социальных общностей, институтов и территорий : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 22–23 апр. 2019 г. : в 2 т. – Екатеринбург : Урал. ун-т, 2019. – Т. 2. – С. 134–138.

УДК 004.94

СКВОЗНАЯ ТРАССИРОВКА ДАННЫХ В АРХИТЕКТУРНЫХ МОДЕЛЯХ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ОТГРУЗОК ХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

А. А. НАМЕСТНИКОВ

Научный руководитель А. А. МИЛОВИДОВА, канд. техн. наук, доц.

Государственный университет «Дубна»

Дубна, Россия

Введение. Разработка цифрового решения для промышленной логистики требует согласованного описания бизнес-процессов, приложений, данных и расчётных моделей. ArchiMate задаёт представления корпоративной архитектуры [1], модель C4 раскрывает программную систему на последовательных уровнях детализации [2], схема потоков данных (DFD) фиксирует перемещение и преобразование данных [3], модель «сущность – связь» – их структуру [4]. Они используют разные уровни абстракции, поэтому соответствие их элементов не взаимно однозначно, а связь бизнес-требования с системой-источником и параметром расчётной модели остаётся неявной. *Цель исследования* – разработать и апробировать способ согласования архитектурных представлений, обеспечивающий двунаправленную трассировку от требования и источника данных до параметра расчётной модели.

Материалы и методы. Материалами послужили результаты проекта календарного планирования отгрузок твёрдой химической продукции железнодорожным транспортом крупной нефтегазохимической компании: регламенты процесса, перечень интеграционных обменов, логическая модель данных и оптимизационная модель. В исходном процессе график затарки формировался вручную в табличном процессоре; целевое решение – система диспетчеризации на базе платформы класса Enterprise Performance Management (EPM) со встроенным солвером; в её состав входят интеграционные сервисы, хранилища, веб-приложение и расчётные модули по категориям продукции.

Предложенный способ включает три механизма. Во-первых, при переходе от ArchiMate к C4 изменяется охват: взаимодействующие приложения отображаются как внешние системы, а компоненты проектируемой системы раскрываются как контейнеры. Во-вторых, каждому регулярному обмену присваивается сквозной идентификатор – номер среза данных; он маркирует поток и хранилище в DFD, входит в имя сущности информационной модели и связывается с параметром оптимизационной модели. В-третьих, сущности классифицируются по роли: измерения формируют множества индексов, факты – исходные параметры, ограничения – правые части ограничений, сущности результата – значения переменных решения. Связи проверены матрицей «система-источник – поток – срез – сущность – параметр модели».

Фрагмент линейной оптимизационной модели задан на множествах узлов I , клиентов J , продуктов P , типов транспорта V и дней горизонта T ; переменная $x(i, j, p, v, t)$ – объём отгрузки, $\Delta(j, p, t)$ – неудовлетворённый спрос, связанные условием баланса спроса. Минимизируются транспортные затраты и штраф за дефицит:

$$Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} c_{ijv} x_{ijpvt} + \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \pi_{jpt} \Delta_{jpt} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $c(i, j, v)$ – удельная стоимость перевозки; $\pi(j, p, t)$ – штраф за единицу неудовлетворённого спроса.

Суточная мощность погрузочно-разгрузочных работ ограничена условием

$$\sum_{j \in J} \sum_{p \in P} \sum_{v \in V} x_{ijpvt} \leq w_{it}, \quad \forall i \in I, t \in T, \quad (2)$$

где $w(i, t)$ – доступная мощность узла i в день t .

Переменные неотрицательны; прочие ограничения не приводятся.

Результаты. Сформирована матрица трассировки для 29 срезов: для каждого входного параметра установлены система-источник, поток, срез и сущность информационной модели; пропуски не выявлены (табл. 1).

Табл. 1. Сквозная трассировка ограничения мощности склада

Уровень представления	Элемент трассировки
Бизнес- и прикладная архитектура	Требование ограничить суточную мощность погрузочно-разгрузочных работ; источник – система ведения тарифов
C4 и схема потоков данных	Интеграционный сервис; поток 5; срез данных 24 «Ограничения по складам»
Информационная модель	Сущность FACT_CONSTRAINTS_24 класса «ограничение»
Оптимизационная модель	Параметр $w(i, t)$ – правая часть ограничения (2)

Срез 24 «Ограничения по складам» поступает из системы ведения тарифов потоком 5, сохраняется в сущности FACT_CONSTRAINTS_24 и задаёт параметр $w(i, t)$ в (2). Тем же способом прослежены потребность клиента (срез 32), входящий остаток (12), норматив грузоподъёмности (30) и квоты перевозчика (85–87). Из 29 срезов 22 участвуют в расчёте плана, семь содержат фактическое исполнение и служат для план-фактного контроля; результат расчёта (срез 17) передаётся в системы исполнения потоками 7 и 8. Матрица разделяет расчётные и контрольные данные и обосновывает состав интеграционного контура.

Обсуждение. Результат достигается не унификацией метамodelей, а фиксацией перехода между уровнями охвата и сохранением идентификатора данных, что и делает трассировку двунаправленной. Исследование ограничено одним промышленным случаем.

Заключение. Предложен и апробирован способ согласования ArchiMate, C4, DFD, информационной и оптимизационной моделей на основе правила смены охвата, сквозного идентификатора среза и ролевой классификации сущностей. Он позволяет до начала разработки проверить обеспеченность модели исходными данными и обосновать состав интеграций целевой системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ArchiMate® 3.2 Specification / The Open Group. – 2022. – URL: <https://pubs.opengroup.org/architecture/archimate32-doc/> (data of access: 03.09.2026).
2. Brown, S. The C4 model for visualising software architecture / S. Brown. – URL: <https://c4model.com> (data of access: 03.09.2026).
3. Yourdon, E. Modern Structured Analysis / E. Yourdon. – Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1989.
4. Chen, P. P.-S. The entity-relationship model – toward a unified view of data / P. P.-S. Chen // ACM Trans. Database Syst. – 1976. – Vol. 1, № 1. – P. 9–36.

УДК 338.984

ПРОЕКТ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМООТНОШЕНИЯМИ С КЛИЕНТАМИ
В СИСТЕМЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОДО «ТЕХНОЛОГ-М»

Т. А. ПРОКОПЕНКО, К. И. ЖИВЕЛЮК

Научный руководитель Л. В. НАРКЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

По результатам аналитической части исследования определено, что в целом ОДО «Технолог-М» является финансово устойчивой и платежеспособной организацией с устойчивыми негативными тенденциями роста финансовых рисков экономической безопасности в блоке снижения прибыли и замедления оборачиваемости готовой продукции. Исторический анализ за 2022–2024 гг. выявил дисбаланс отдельных параметров в данном блоке: установлена отрицательная тенденция снижения чистой прибыли и роста добавочного капитала в сопровождении высокой доли в активе баланса и положительной тенденции роста готовой продукции, т. е. вымывание собственных оборотных средств и смещение к умеренной политике финансирования активов; отмечен недостаточный рост суммы собственных оборотных средств и снижение уровня собственного финансирования краткосрочных активов для ведения текущей деятельности организации (коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами снижается); констатировано снижение параметров рентабельности по всем рассматриваемым позициям, что соответствует росту рисков кризисной ситуации в организации, вымыванию прибыли и собственных средств финансирования, в том числе собственного оборотного капитала; установлены финансовые проблемы, связанные с высоким уровнем кредиторской задолженности в структуре капитала организации, что в итоге определяет негативные тенденции индикаторов финансовой устойчивости, платежеспособности организации, но при этом ОДО «Технолог-М» не имеет просроченной кредиторской задолженности в соответствии с договорами поставки, что определяет потенциал «пассивного дохода» за счет кассовых разрывов во времени поступления запчастей от поставщика и оплатой в соответствии с отсрочкой платежа по договору; установлен высокий уровень свободных денежных средств на счетах организации и длительный период их оборачиваемости: удельный вес актива в итоге бухгалтерского баланса за 2022–2024 гг. соответственно составил: 8 %; 11 %; 15 %; продолжительность оборота денежных средств 17; 18; 25 дней, что рассмотрено отрицательно и требует выбора вариантов размещения свободных денежных средств для привлечения дополнительного дохода.

Разработана концептуальная программа управления взаимоотношениями с клиентами в формате интегрированного проектного модуля инструментов ее реализации. В разработанном проектном модуле акценты сделаны на следующие инструменты: разработка сегментированной клиентской базы и программ закрепления потребителей за организацией; техническая поддержка мобиль-

ности, оперативности в системе транспортной логистики; разработка финансового инструментария кредитной политики.

Прогноз эффективности создания сегментированной клиентской базы показывает прирост прибыли от реализации за счет увеличения объемов отгрузки, снижения уровня постоянных расходов на реализацию при условии роста оптового товарооборота в системе реализации программ взаимодействия с клиентами в сегментах клиентской базы; ускорение оборачиваемости запасов запасных; снижения расходов по статьям складской и транспортной логистики.

Наглядно видна положительная перспективная динамика параметров финансового блока экономической безопасности ОДО «Технолог-М» (рис. 1).

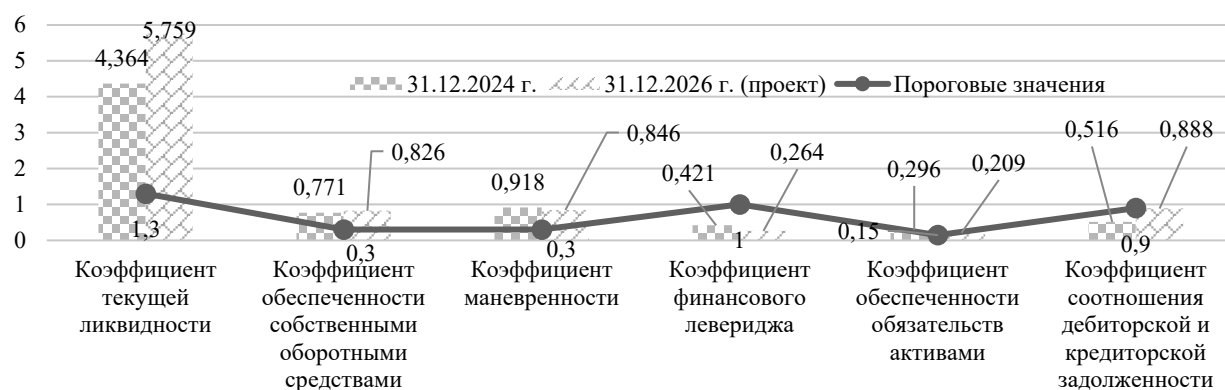


Рис. 1. Перспективная динамика индикаторов финансового состояния ОДО «Технолог-М» в контексте теории экономической безопасности

Проект лепесткового формата индикаторов финансового состояния ОДО «Технолог-М» показывает высокий уровень финансовой устойчивости и платежеспособности по выстроенным индикаторам экономической безопасности. Значительно завышен коэффициент текущей ликвидности, значение которого по базису составило 4,364 пункта, что выше порогового значения в 3,4 раза. Значение по проекту составило 5,739 пункта и отделилось от порогового значения, что указывает на высокую маржинальность проекта управления взаимоотношениями с клиентами. На основе диаграммы сделан вывод: ОДО «Технолог-М» находится в зоне «стабильности» (относительно сектора линии пороговых значений), о чем свидетельствует расположение всех выбранных индикаторов: коэффициент текущей ликвидности, коэффициент маневренности, коэффициент обеспеченности обязательств активами, коэффициент соотношения дебиторской и кредиторской задолженности и др. Исследуемые индикаторы не представляют собой угрозу экономической безопасности ОДО «Технолог-М», а нахождение их значений относительно зоны пороговых значений является позитивным.

Таким образом, концепт осмысленного применения целенаправленных инструментов программ взаимодействия с клиентами в сегментах клиентской базы обеспечит эффективное использование неявного ресурса предприятия – отношений с потребителями.

УДК 338.984

СИСТЕМНО-ЦЕЛЕВАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ОПЕРАТИВНОГО И СТРАТЕГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В. С. ПРОЛЕЙЧИК

Научный руководитель Л. В. НАРКЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Цель исследования – разработка методического базиса системно-целевой модели управления затратами промышленного предприятия с инновационным базисом технико-технологического развития на основе комплексного анализа параметров динамики и факторов изменения затрат промышленного предприятия. Основной задачей исследования является разработка и экономическое обоснование системного и комплексного подхода к построению действенного алгоритма оперативного управления затратами крупного промышленного предприятия. Объектный базис исследования – ОАО «Зенит», обеспечивающее разработку и производство оборудования для комплектации лифтов, светодиодного оборудования общего и транспортного назначения.

Проведенный системно-целевой анализ деятельности ОАО «Зенит» за период 2022–2025 гг. выявил смену фазы роста (2022–2024 гг.) резким спадом в 2025 г. Объем производства в действующих ценах увеличился в 2023 г. на 4,84 %, в 2024 г. – на 8,66 %, а в 2025 г. сократился на 16,77 %. Выручка от реализации в 2025 г. снизилась на 23,4 % по сравнению с 2024 г., тогда как себестоимость произведенной продукции уменьшилась лишь на 8,5 %. В результате затраты на рубль товарной продукции повысились с 0,842 р. в 2024 г. до 0,926 р. в 2025 г. Факторный анализ показал, что переменные издержки на единицу продукции возрастали на всех трех интервалах: в отчетном периоде отмечен прирост +11 556 тыс. р., что превысило общее снижение затрат. Коэффициент эластичности переменных затрат по объему выпуска в 2025 г. составил 0,51, что свидетельствует о неспособности оперативно корректировать расходы при падении производства. Доля материальных затрат в себестоимости сократилась с 76,2 % до 60,7 %, доля оплаты труда выросла с 15,7 % до 19,7 %, амортизации – с 1,4 % до 2,5 %. Расходы на услуги сторонних организаций увеличились за три года в 6,5 раза. Внешнеторговое сальдо в 2025 г. стало отрицательным (–2 501,7 тыс. долл.) при росте импорта до 9 949 тыс. долл. ABC- и XYZ-анализ отнес устройства управления лифтом и комплекты запчастей к стабильной группе AX, а новые продукты (комплекты электрооборудования кабины, блоки эвакуации, фотобарьеры) – к группе CZ из-за высокой волатильности.

По результатам аналитического блока, установленных диспропорций во взаимосвязях системы параметров затрат рекомендована концепция оптимизации затрат в рамках инновационного технико-технологического развития ОАО «Зенит». Разработан и обоснован проектный модуль системы управления затратами предприятия по критериям эффективности на базе использования

сформированной информационно-аналитической платформы многоуровневого анализа затрат на производство и реализацию продукции, включающего исследование динамики, структурной динамики по элементам затрат, в разрезе постоянных и переменных затрат в системе «директ-кост», в разрезе статей калькуляции; факторов и резервов снижения затрат на рубль произведенной продукции, ее материалоемкости.

Произведен прогностический аналитический расчет комплексного эффекта от: внедрения инновационно-инвестиционного проекта (обновление токарного парка двумя токарными автоматами продольного точения с ЧПУ модели SZ-205E1, совмещающими операции точения, фрезерования, сверления и нарезания резьбы в одном технологическом цикле); унификации электрической схемы устройства УЛ30Пп-322 с заменой отдельных покупных комплектующих на более доступные аналоги при сохранении безопасности и функциональности; организации замкнутого цикла переработки полимерных отходов с добавлением до 20 % вторичного сырья при литье неотчетливых деталей; внедрения прогрессивной технологии лазерной резки листового металла относительно действующей технологии холодной штамповки для самостоятельного изготовления деталей толщиной до 10 мм. Замена изношенного токарного парка на один высокоавтоматизированный станок SZ 205E1, организация замкнутого цикла переработки полимерных отходов (добавление 20 % вторичного сырья), внедрение лазерной резки вместо холодной штамповки, замещение кооперационных поставок металлодеталей собственным производством, а также конструкторская оптимизация устройства управления лифтом УЛ30Пп 322 – дают в совокупности годовой экономический эффект от 114,37 тыс. р. Эффект спроектирован по направлениям снижения материалоемкости, сокращения энергопотребления, уменьшения затрат на ремонт и обслуживание, а также отказа от оплаты услуг сторонних поставщиков. Дополнительным качественным результатом является повышение технологичности производства (пятикоординатная обработка позволяет изготавливать детали сложной формы за один установ), улучшение экологических показателей (снижение отходов полимеров, захораниваемых на полигонах) и уменьшение логистических рисков из-за прекращения закупок по кооперации.

Проект управления затратами с инновационным технико-технологическим обновлением производственных участков отвечает всем критериям экономической эффективности: обеспечивает положительный NPV, приемлемый срок окупаемости, высокий индекс рентабельности и внутреннюю норму доходности, превышающую стоимость капитала. Кумулятивный чистый дисконтированный денежный поток становится положительным в 2028 г., а при расширении горизонта до 2029 г. его величина возрастает до 29,47 тыс. р., что подтверждает устойчивую генерацию дохода после завершения инвестиционной фазы. Динамический срок окупаемости составляет 3,3 года, что соответствует отраслевым нормативам. Индекс рентабельности 1,18; внутренняя норма доходности почти в полтора раза превышает принятую норму дисконта, что гарантирует проекту значительный запас прочности при возможных колебаниях стоимости капитала или ухудшении конъюнктуры.

УДК 004.9

ИННОВАЦИОННЫЕ БИЗНЕС-МОДЕЛИ В СЕКТОРЕ УСЛУГ

Д. А. РОЗЯЕВ

Научный руководитель К. В. ПОРТНОВ, канд. техн. наук, доц.
Самарский государственный экономический университет
Самара, Россия.

Сектор услуг занимает ключевое место в современной экономике, обеспечивая занятость, формируя значительную часть валового внутреннего продукта и определяя качество жизни населения. Однако традиционные модели обслуживания сталкиваются с растущей конкуренцией, изменением потребительских ожиданий и быстрым развитием цифровых технологий. Клиенты хотят получать услуги быстрее, удобнее, персонализированнее и через доступные цифровые каналы [1].

В этих условиях предприятия сферы услуг вынуждены пересматривать способы создания и получения дохода [2]. Инновационная бизнес-модель позволяет компании не только внедрить новый продукт, но и изменить саму логику взаимодействия с клиентами, партнёрами и ресурсами. Поэтому изучение современных бизнес-моделей является важной задачей для повышения устойчивости и конкурентоспособности организаций.

Цель работы: рассмотреть основные направления развития инновационных бизнес-моделей в секторе услуг, определить их преимущества и проблемы практического применения, а также сформулировать условия успешного внедрения таких моделей.

Инновационная бизнес-модель представляет собой способ организации деятельности, при котором компания создаёт ценность для клиента и одновременно формирует устойчивый источник дохода; так, для сферы услуг наиболее распространены: платформенные, подписочные, сервисные и цифровые модели.

Платформенная бизнес-модель объединяет поставщиков и потребителей на единой цифровой площадке, такие как сервисы заказа транспорта, аренды жилья, поиска специалистов и онлайн-образования [3]. Платформа, как юридическое лицо, редко производит услугу самостоятельно, а выступает «посредником», обеспечивая доступ к рынку, обработку платежей, коммуникацию пользователей и контроль качества. Преимущество данной модели заключается в возможности быстро масштабировать деятельность, однако важными условиями остаются доверие клиентов, защита данных и эффективная модерация.

Подписочная бизнес-модель базируется на формировании регулярного денежного потока за оплату постоянного доступа к какой-либо услуге. Для цифровых сервисов это доступ к программному обеспечению, медиа, фитнес-индустрии, доставке и консультационному обслуживанию и т. п. Это модель менее рисковая для предпринимателей, обеспечивая более предсказуемую выручку и долгосрочные отношения с клиентами, но требующая сохранения «ценности услуги» для клиентов, чтобы обеспечить сохранение и увеличение

числа подписчиков.

Влияние шеринговых тенденций в экономике сделало популярной модель «услуга вместо продукта», когда клиент платит не за приобретение оборудования, а за его использование, техническое обслуживание или результат. Наибольшее распространение он получил при аренде техники, облачных вычислениях, промышленном сервисе и транспортной сфере [4].

Цифровизация способствует появлению и развитию персонализированных новых моделей, чему способствует искусственный интеллект, большие данные и автоматизация посредством анализа поведения клиентов, прогнозирования спроса, выявления индивидуальных паттернов поведения клиентов и формирования специальных предложений.

Главной проблемой внедрения инновационных моделей является необходимость одновременно менять технологии, организационную структуру, бизнес-процессы и даже корпоративную культуру. Простое создание и (или) приобретение цифровой платформы не гарантирует успеха, т. к. это связано с рядом организационных изменений: обучением персонала, перестройкой внутренних процессов и оценкой обратной связи. С этими процессами связано появление дополнительных рисков, обусловленных высокой зависимостью от цифровой инфраструктуры, киберугрозами, технологическим неравенством и возможным сокращением рабочих мест из-за автоматизации.

Заключение и выводы. Рассмотренная классификация сервисных бизнес-моделей позволяет участникам бизнеса повысить гибкость, расширить рынок и сформировать более тесные отношения с клиентами. Наиболее перспективными направлениями являются платформенные, подписочные, сервисные и персонализированные цифровые модели, т. к. их эффективность определяется не отдельной технологией, а набором системных факторов. Для них согласованы следующие элементы бизнеса: ценностное предложение, каналы взаимодействия, ресурсы, партнёрства и механизмы получения дохода.

Успешное внедрение инноваций связано с необходимостью ориентироваться на реальные потребности клиентов, обеспечивать безопасность данных, развивать компетенции сотрудников и использовать поэтапное тестирование решений. Это делает инновации важнейшим инструментом адаптации бизнеса к изменениям рынка, и позволяет не только повысить прибыльность, но и создать более удобную, доступную и устойчивую систему предоставления услуг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Олин, Р. А.** Экономика данных как движущая сила цифровой трансформации / Р. А. Олин // Наука XXI века: актуальные направления развития. – 2025. – № 2-2. – С. 169–174.
2. **Ермолина, Л. В.** Смарт-контракты как инструмент автоматизации и оптимизации бизнес-процессов / Л. В. Ермолина, К. В. Портнов // Экономика и предпринимательство. – 2025. – № 10 (183). – С. 793–797.
3. **Живцов, В. Ю.** Токенизация репутации / В. Ю. Живцов // Экономика и предпринимательство. – 2025. – № 11 (184). – С. 715–719.
4. **Портнов, К. В.** Нечеткость в операторах генетического алгоритма / К. В. Портнов // Наука XXI века: актуальные направления развития. – 2025. – № 1-1. – С. 529–532.

УДК 656.13

ВОЗДУШНЫЙ ТРАНСПОРТ – ОСОБОЕ МЕСТО И РОЛЬ В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ МИРА

Е. В. РОМАНОВА

Научный руководитель М. Н. ГРИНЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Развитие воздушного транспорта обусловлено необходимостью обеспечения высокой скорости доставки пассажиров и грузов на большие расстояния, что сделало авиацию ключевым звеном глобализации. Роль авиации в мировой транспортной системе уникальна: обладая наивысшей скоростью, она сокращает временные затраты на преодоление огромных пространств, соединяя континенты и обеспечивая связность между удаленными точками планеты. Техническое оснащение отрасли представляет собой сложный комплекс, включающий современные воздушные суда, аэродромную сеть, системы навигации и управления движением.

Воздушный транспорт рассматривается как высокотехнологичная отрасль, обеспечивающая доставку пассажиров и специальных грузов (оборудования, гуманитарной помощи, опасных товаров) в кратчайшие сроки, особенно в места, где использование наземного транспорта затруднено.

Основой функционирования авиации являются воздушные линии – утвержденные постоянные маршруты. Ширина трассы, согласно техническим стандартам, составляет 30 км. Важнейшим элементом системы являются аэропорты, классифицируемые по объему перевозок: внеклассные (более 10 млн чел. в год), I–V классы и неклассифицированные (менее 100 тыс. чел. в год). Территория аэропорта разделяется на летную (ВВП, рулежные дорожки) и служебную (аэровокзалы, терминалы) зоны. Парк воздушных судов классифицируется по массе (легкие и сверхлегкие), скорости (дозвуковые и сверхзвуковые – более 1188 км/ч) и дальности полета (сверхдальние – свыше 6000 км, средней дальности, ближние и местная).

Мировой рынок организован по сетевому принципу через систему хабов (Дубай, Атланта, Стамбул). В 2024 г. глобальный пассажирский трафик превысил 9,4 млрд пассажироперевозок, из которых 1,54 млрд (16 %) пришлось на топ-20 крупнейших аэропортов. Всего было зафиксировано 10,6 млн взлетов и посадок. Рейтинг самых загруженных авиагаваей мира возглавляет аэропорт Атланты (108 млн пассажиров в 2024 г.), на втором месте – Дубай (92 млн), на третьем – Даллас-Форт-Уэрт (88 млн). Лидером по объему грузов остается Гонконг (4,9 млн т). По версии Skytrax 2025, лучшим аэропортом признан сингапурский Чанги.

Современный этап развития характеризуется переходом к качественной трансформации по следующим ключевым направлениям.

1. Технологическая модернизация и скоростные характеристики. Ведется активная разработка нового поколения гражданских сверхзвуковых самолетов с пониженным уровнем звукового удара, параллельно прорабатываются концепции суборбитальных и гиперзвуковых экспресс-перевозок (доставка за 1...2 ч).

2. Интеллектуальная инфраструктура и искусственный интеллект (ИИ). Внедрение концепции «умных аэропортов» на базе биометрической идентификации пассажиров и бесшовного контроля позволяет увеличить пропускную способность крупнейших хабов на 30 %...40 % без расширения их физической площади. Применение промышленного интернета вещей (IoT) и нейросетевого анализа данных обеспечивает переход к предиктивному обслуживанию авиационной техники. Активно развивается сегмент тяжелых грузовых беспилотных авиационных систем (БАС) для оптимизации логистики «последней мили».

3. Цифровая навигация и мультимодальная интеграция. Осуществляется глобальный переход от традиционных трассовых маршрутов к траекторному управлению полетами на основе спутниковой навигации (GNSS) и систем четырехобъемного планирования (4D-траектории). Мультимодальная интеграция предполагает создание единых физических и цифровых транспортных узлов в рамках единого билета (Air-Rail).

4. «Зеленая» авиация и декарбонизация (в рамках инициативы Fly Net Zero 2050). Ключевым вектором выступает достижение полной углеродной нейтральности отрасли к 2050 г. через переход на экологически чистое авиационное топливо (SAF), снижение выбросов углекислого газа на 80 % и создание водородных силовых установок (проект Airbus ZEROe).

5. Цифровизация документооборота и сквозной мониторинг цепей поставок. Наблюдается переход к полностью цифровому сопровождению грузовых перевозок на базе технологий блокчейн и Big Data для динамической оптимизации тарифных сеток и прогнозирования спроса.

Воздушный транспорт занимает стратегическое положение в мировой системе, являясь наиболее динамичным и технологичным видом транспорта. Авиация играет ключевую роль в обеспечении глобальной мобильности и функционировании современных цепей поставок. Будущее воздушного транспорта неразрывно связано с инновациями, внедрением беспилотных систем, разработкой двигателей на альтернативных источниках энергии и цифровизацией процессов управления.

УДК 336.6:378.14

ИНСТРУМЕНТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ДЕНЕЖНЫМИ ПОТОКАМИ В УЧРЕЖДЕНИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

М. Д. САКОВИЧ

Научный руководитель О. Д. МАКАРЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В деятельности учреждений высшего образования, функционирующих в условиях сочетания бюджетного финансирования и приносящей доход деятельности, ключевой проблемой управления денежными потоками выступает временная асинхронность между поступлениями и выплатами денежных средств. Для организаций, финансируемых за счёт платных образовательных услуг, характерна ярко выраженная сезонность притока денежных средств: пиковые поступления приходятся на начало каждого семестра (сентябрь и февраль), тогда как расходы, включая заработную плату, коммунальные платежи и закупку оборудования, распределены относительно равномерно в течение всего календарного года. Данная ситуация создаёт кассовые разрывы – временные интервалы, в течение которых текущие обязательства превышают объём поступивших денежных средств, что вынуждает учреждение либо накапливать избыточный страховой остаток, снижая эффективность использования ресурсов, либо прибегать к краткосрочным заимствованиям, что влечёт дополнительные процентные расходы.

В рамках настоящего исследования предложен комплекс из двух взаимодополняющих мероприятий, направленных на синхронизацию притоков и оттоков денежных средств по внебюджетной деятельности Белорусско-Российского университета.

Первое мероприятие предполагает внедрение ценовой акции для студентов, обучающихся на платной основе: при оплате полной стоимости обучения за весь предстоящий учебный год или семестр вперёд, не позднее установленной даты, предоставляется скидка в размере 5 % от суммы договора. Данная мера позволяет решить три задачи управления денежными потоками: сгладить сезонность за счёт досрочного поступления значительного объёма денежных средств, создающего финансовый резерв на период равномерных расходов; сократить дебиторскую задолженность, полностью исключая риск невозврата средств за будущие периоды; снизить потребность в страховом остатке и, соответственно, в краткосрочном кредитовании. Экономический эффект от внедрения скидки формируется за счёт прямого эффекта – дополнительных процентных доходов от размещения досрочно полученных средств на краткосрочных депозитах, и издержек мероприятия – суммы предоставленных скидок. На основе данных о структуре внебюджетных средств Белорусско-Российского университета за 2024 г. и консервативного прогноза доли студентов, выбравших оплату вперёд (15 %), сумма досрочно оплаченных средств составит 1 810 тыс. р. При размещении данной суммы на отзывном банковском депозите

под 7,79 % годовых дополнительный процентный доход достигнет 141 тыс. р. в год, тогда как потери от предоставленных скидок составят 90,5 тыс. р. Чистый экономический эффект мероприятия оценивается в 50,5 тыс. р. в год при рентабельности мероприятия 55,8 %. При более высоком уровне участия студентов (20 %...25 %) или использовании безотзывных депозитов с повышенной ставкой эффект может возрасти до 70...90 тыс. р. ежегодно. Помимо прямого денежного эффекта, мероприятие обеспечивает снижение риска кассовых разрывов в периоды между пиками поступлений, упрощение планирования денежных потоков для планово-финансового отдела и бухгалтерии, а также повышение платёжной дисциплины студентов.

Второе мероприятие направлено на предотвращение возникновения дебиторской задолженности и базируется на концепции «подталкивания» в поведенческой экономике, согласно которой своевременные и персонализированные напоминания, не носящие принудительного характера, способствуют принятию индивидами более ответственных финансовых решений. Применительно к управлению дебиторской задолженностью, автоматизированная система напоминаний выступает в роли такого «подталкивания», снижая вероятность пропуска срока платежа по причинам забывчивости или недостаточной информированности. Предлагается внедрить в деятельность БРУ систему автоматизированных напоминаний о предстоящих и просроченных платежах за обучение и проживание в общежитии, направляемых студентам на электронную почту и в виде SMS-сообщений в следующие контрольные точки: за 7 дней до наступления срока платежа – профилактическое напоминание; в день наступления срока – информационное сообщение; на 1-й день просрочки – уведомление о возникновении задолженности; на 7-й день просрочки – повторное уведомление с информацией о возможных последствиях. Внедрение такой системы не требует существенных капитальных затрат: при использовании облачных сервисов электронной почты и SMS-шлюзов затраты сводятся к оплате трафика и единовременным расходам на настройку интеграции.

Таким образом, предложенные мероприятия представляют собой примеры «бесплатных» (не требующих значительных капитальных затрат) инструментов повышения эффективности управления денежными потоками, основанных на поведенческой реакции потребителей и использовании стандартных банковских и цифровых продуктов. Совокупный годовой экономический эффект от реализации обоих мероприятий составляет не менее 57,2 тыс. р. при минимальных инвестиционных затратах. Помимо количественного эффекта, система автоматических напоминаний обеспечивает качественные улучшения: повышение платёжной дисциплины студентов, снижение нагрузки на сотрудников, улучшение имиджа университета как современного и клиентоориентированного учреждения. Внедрение автоматизированных напоминаний является неотъемлемым элементом современной системы управления денежными потоками. Предложенные решения могут быть применены в других учреждениях высшего образования Республики Беларусь с аналогичной структурой финансирования, что подтверждает их практическую значимость и универсальность.

УДК 330.322.2

ИНВЕСТИЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ФИНАНСОВЫМ СОСТОЯНИЕМ ОРГАНИЗАЦИИ

Г. М. ЦЫМБАРЕВИЧ, В. С. ПРОЛЕЙЧИК

Научный руководитель Л. В. НАРКЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В результате проведенного анализа взаимосвязи выбранных результативных показателей финансового состояния (индикаторов финансовой устойчивости, платежеспособности) и переменных (факторов) в блоке оценки предпосылок и результатов эффективности управления финансовой устойчивостью в рамках ретроспективного анализа сделан вывод о необходимости повышения рыночной стоимости на базе процессных инноваций (технико-технологических), продуктовых инноваций. В аналитическом блоке исследования установлен дисбаланс отдельных параметров эффективности управления финансовой устойчивостью ОАО «Спецмонтажстрой-179». Информационно-аналитическая платформа позволила выявить ряд рисков финансовой устойчивости развития в финансовом блоке экономической безопасности: установлена отрицательная тенденция снижения чистой прибыли, роста добавочного капитала в сопровождении высокой доли в активе баланса и положительной тенденции роста основных средств (смещение к агрессивной политике финансирования активов); финансовые риски, связанные с высоким уровнем кредиторской задолженности в структуре капитала, что в итоге отягощает негативные тенденции индикаторов финансовой устойчивости, платежеспособности организации; увеличение краткосрочных обязательств по строке кредиторской задолженности (на 31.12.2025 г. удельный вес данного показателя составил 70,16 % общей суммы итога баланса и вырос на 22,21 п. п. относительно доли 2022 г.); наибольший удельный вес в структуре краткосрочных активов приходится на краткосрочную дебиторскую задолженность: соответственно на конец 2022–2025 гг. 24,50 %; 27,38 %; 48,41 %; 64,73 %, что соответствует высокому порядку цифр в структуре и значительному росту в динамическом ряду. Установлены диспропорции: высокие колебания и нестабильность расчетных операций в сегменте сбалансированности дебиторской и кредиторской задолженности, что в совокупности представляет реальную угрозу инновационно-инвестиционной устойчивости организации; рост суммы собственных оборотных средств и снижение уровня при финансировании оборотных средств для ведения текущей деятельности организации (коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами находится за пределами порогового значения); снижение параметров рентабельности по всем рассматриваемым позициям, что соответствует росту рисков кризисной ситуации в организации, вымыванию прибыли и собственных средств финансирования, в том числе собственного оборотного капитала. На 31.12.2025 г. уровень дебиторской задолженности составил 13205 тыс. р. или 48,41 % итога бухгалтерского баланса, что значительно превысило уровень 2022–2024 гг. Данная проблема связана со спецификой расчетных операций в строительной отрасли, запаздыванием выплат за выполненные СМР, в частности, на 31.12.2025 г. по объектам

ОАО «Бобруйский завод КПД», ОАО «Могилевский домостроительный комбинат» и другим объектам строительства. Соответственно возникают значительные суммы кредиторской задолженности: сегмент сбалансированности дебиторской и кредиторской задолженности характеризуется следующим профилем коэффициента соотношения дебиторской и кредиторской задолженности за 2022–2025 гг. – 0,511; 0,436; 0,719; 0,923 пункта. Значение параметра на 31.12.2025 г. имеет оптимально рекомендуемое (0,9) в контексте экономической безопасности значение. В разработанном проектном модуле акценты сделаны на инновационный базис СМР финансовой надежности организации по критериям роста прибыли, рыночной стоимости предприятия и положительным тенденциям перспективного развития индикаторов финансовой устойчивости и платежеспособности. Таким образом, в ОАО «Спецмонтажстрой-179» выявленная проблема финансирования текущих обязательств ликвидными активами требует реструктуризации и обеспечения сбалансированности финансовых и материальных потоков по критериям роста прибыли, рентабельности, индикаторов финансовой устойчивости. В целях снижения риска неплатежеспособности разработан проектный модуль инновационного развития потенциала организации в соответствии со Стратегией развития строительного комплекса Республики Беларусь до 2030 г., принятой в Министерстве архитектуры и строительства. Правительство Беларуси приняло Постановление № 932, утверждающее Стратегию развития строительной отрасли на ближайшие пять лет с перспективой до 2030 г. Основной упор в документе сделан на переход к инновационно-цифровым технологиям. Республиканский форум «Инновации в строительстве» значительное внимание уделил прогрессивным технологиям применения полимеров в строительстве (полиэтилена, полипропилена, полибутена и др.), переходам на длинномерные участки труб, позволяющие снизить затраты на прокладку инженерных подземных сетей и сроки СМР. В данном контексте рекомендовано использование инновационно-инвестиционных инструментов управления финансовой устойчивостью ОАО «Спецмонтажстрой-179», предусматривающих интеграцию в механизм управления совокупности следующих направлений использования производственных резервов роста прибыли: ресурсно-ценовых факторов замены материалов (реализация резервов снижения себестоимости (материальных затрат) за счет внедрения прогрессивных инновационных технологий прокладки полимерных труб относительно классических стальных труб с базисом инвестиционного обновления спецтехники); повышения качества выполняемых СМР (сырья, материалов, технологий проведения СМР). Прогрессивность технологий прокладки в инженерных сетях строительно-ремонтных работ (новое строительство, реновация) имеет стратегическую перспективу создания единой цифровой платформы, которая объединит всех участников инвестиционно-строительного процесса в информационном сегменте за счет встроенного в трубы устройства базовой паспортной инженерной информации (дата производства и диаметральный ряд трубной продукции, идентификация производителя, сроки монтажа и пр.). Данный концепт позволит внедрить технологии информационного моделирования (BIM) на всех стадиях – от инженерных изысканий до сноса коммуникаций зданий, – а также ускорит прохождение экспертиз и получение разрешений за счет цифрового взаимодействия и повысит эффективность актуальных планов развития территорий.

УДК 621.9

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ – ОСОБОЕ МЕСТО И РОЛЬ В МЕЖДУНАРОДНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ

Т. А. ШУПЛЯКОВА

Научный руководитель М. Н. ГРИНЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Автомобильный транспорт занимает важное место в мировой транспортной системе и играет ключевую роль в обеспечении международных перевозок грузов и пассажиров. В условиях глобализации экономики, роста внешне-торговых связей и развития логистических цепей значение автомобильного транспорта существенно возрастает. Автомобильный транспорт успешно конкурирует с другими видами транспорта благодаря своей оперативности, доступности и относительно невысоким затратам на организацию перевозок на короткие и средние расстояния.

Международные автомобильные перевозки являются важнейшей частью мировой транспортной системы и обеспечивают устойчивое функционирование международной торговли. Развитие автомобильного транспорта способствует ускорению движения товаров, формированию глобальных логистических цепей и интеграции государств в мировую экономику. Вместе с тем отрасль сталкивается с рядом проблем, связанных с ростом затрат на перевозки, необходимостью цифровизации транспортных процессов, совершенствованием инфраструктуры и обеспечением экологической безопасности.

Автомобильный транспорт представляет собой вид наземного транспорта, использующий дороги общего пользования для перевозки грузов и пассажиров с помощью транспортных средств с автономным двигателем. Он обеспечивает значительную часть перевозок на короткие и средние расстояния благодаря высокой доступности, гибкости маршрутов и возможности доставки «от двери до двери».

Особое значение автомобильный транспорт имеет в международных перевозках. Международные автомобильные перевозки представляют собой перевозки грузов и пассажиров автомобильным транспортом, при которых маршрут проходит через границы двух и более государств. Автомобильный транспорт обеспечивает прямую связь между производителями, торговыми партнёрами и потребителями в разных странах.

Основные особенности международных автомобильных перевозок включают необходимость соблюдения международных договоров и правовых норм, использование международной транспортной накладной CMR, системы международного транзита TIR, а также выполнение требований по безопасности перевозок, техническому состоянию транспортных средств и режиму труда и отдыха водителей.

Важную роль в организации международных перевозок играет нормативно-правовое регулирование. Основу правового регулирования составляют Граж-

данский кодекс Республики Беларусь, Закон «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках», Закон «Об основах транспортной деятельности», Закон «О дорожном движении», а также правила автомобильных перевозок грузов.

Основные технико-экономические показатели работы автомобильного транспорта включают: коэффициент технической готовности парка, коэффициент использования пробега, коэффициент использования грузоподъемности, техническая и эксплуатационная скорость, объем перевозок, грузооборот, пассажирооборот, себестоимость и производительность автомобиля.

Анализ технико-экономических показателей автомобильного транспорта стран ЕАЭС показал, что крупнейший объем грузооборота и пассажирооборота приходится на Российскую Федерацию, а наиболее высокие темпы относительного роста наблюдаются в Армении и Казахстане. Несмотря на отдельные периоды нестабильности, сектор автомобильных перевозок демонстрирует положительную динамику и высокую адаптивность к изменениям мировой экономики.

Основные преимущества автомобильного транспорта: высокая мобильность и маневренность, возможность доставки грузов «от двери до двери», гибкость маршрутов, сравнительно высокая скорость перевозок, возможность перевозки различных видов грузов, востребованность в международной логистике.

Основные проблемы международных автомобильных перевозок: зависимость от дорожной инфраструктуры, высокая стоимость перевозок на дальние расстояния, экологическое воздействие автотранспорта, дефицит квалифицированных водителей, сложность прохождения таможенных процедур, влияние внешнеэкономических факторов.

Основные направления повышения эффективности международных автомобильных перевозок: внедрение цифровых технологий и электронного документооборота, использование GPS-мониторинга и систем отслеживания грузов, совершенствование международной транспортной инфраструктуры, развитие логических центров, повышение экологичности транспорта, автоматизация процессов управления перевозками.

Таким образом, автомобильный транспорт занимает особое место в системе международных перевозок и является важнейшим элементом мировой транспортной системы. Он обеспечивает развитие международной торговли, способствует интеграции государств в мировую экономику и удовлетворяет потребности бизнеса и населения в транспортных услугах.

Несмотря на существующие проблемы, автомобильный транспорт остаётся наиболее универсальным и востребованным видом транспорта. Повышение эффективности международных перевозок требует внедрения современных технологий, совершенствования логистики и дальнейшего развития транспортной инфраструктуры.

Научное издание

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Материалы Международной
научно-технической конференции
молодых ученых
(Могилев, 22–23 октября 2026 года)

**Авторы несут персональную ответственность
за содержание публикуемых материалов**

Корректоры *И. В. Голубцова, А. А. Подошевка*

Компьютерный дизайн *М. М. Дударева, Е. В. Ковалевская,
Н. П. Полевничая*

Подписано в печать 21.10.2026. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 16,74. Уч.-изд. л. 17,81. Тираж 25 экз. Заказ № 765.

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.