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

ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА И ПРОИЗВОДСТВО В XXI ВЕКЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Материалы юбилейной
Международной конференции
(Могилев, 19–20 ноября 2026 года)

Могилев
«Белорусско-Российский университет»
2026

УДК 378+001:5658«324»(0.43.2)
ББК 74.58+72:65.9
О23

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. *М. Е. Лустенков* (гл. редактор); д-р техн. наук, проф. *В. М. Пашкевич* (зам. гл. редактора); канд. физ.-мат. наук, доц. *И. И. Маковецкий*; канд. техн. наук, доц. *С. А. Сухоцкий*; канд. техн. наук, доц. *С. В. Болотов*; *И. В. Брискина* (отв. секретарь)

О23 **Образование**, наука и производство в XXI веке: современные тенденции развития : материалы юбилейной Междунар. конф., Могилев, 19–20 нояб. 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. – 388 с. : ил.

ISBN 978-985-492-332-1.

Представленные в сборнике доклады приурочены к 65-летнему юбилею со дня образования Могилевского машиностроительного института, а сегодня – Белорусско-Российского университета. Роль современного университета в настоящее время состоит в организации устойчивой и динамичной связи между наукой, производством и высшими образовательными учреждениями, а также в определении приоритетов их развития и взаимного сотрудничества. Данной проблематике и посвящена юбилейная Международная конференция «Образование, наука и производство в XXI веке: современные тенденции развития».

УДК 378+001:5658«324»(0.43.2)
ББК 74.58+72:65.9

ISBN 978-985-492-332-1

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЛУСТЕНКОВ М. Е. Белорусско-Российский университет: 65 лет развития, успехов и достижений..... 16

Секция 1. Инженерное образование в Беларуси и России: проблемы, перспективы, пути развития..... 18

АЛЕКСЮТИНА Г. Я. Образ инженера будущего в представлениях студентов технического вуза..... 18

АЛИЕВА В. Р., АМИРОВ Н. А. Инженерно-экономическое образование: современные тенденции..... 20

АННАЕВА А. Г. Сочетание физического и цифрового экспериментов в инженерном образовании..... 22

БАРЫШНИКОВА А. Д. Практико-ориентированный модуль в подготовке специалистов по информационной безопасности..…….... 24

БЫЛКОВ М. А., ИСТРАТОВА Е. Е. Анализ систем фильтрации и блокировки сетевого трафика в образовательных учреждениях..... 26

ВОРОНОВ М. В. К решению задачи повышения эффективности организации учебного процесса..... 28

ГЛАДКОВСКИЙ В. И., КУШНЕР Т. Л. Проблемы и перспективы современных подходов к оценке компетенций студентов технических вузов.....…..... 30

ГОЛОВАЧ Э. П., МОНТИК С. В., МОНТИК Н. С., ГОЛОВАЧ А. П. Кадровые риски автосервисных предприятий в условиях электромобильности…..…..... 32

ГОЛОЗУБОВ А. Л., ХОМИЧ К. И. Формирование профессиональных компетенций инженера-педагога профилизации «Строительство»..... 34

ГОЛУШКОВ М. Л., ГОЛУШКОВА О. В. Современные подходы к инженерному образованию..... 35

ДАВЫДОВ А. М. От получения ответа к инженерному доказательству: практикум по физике в эпоху генеративного ИИ..... 36

ДОМОЖИРОВА А. Д. Инструменты формирования культуры безопасности у студентов..... 38

ДУБИНИНА А. П., БИЛЫК О. В. Актуализация идей П. Фейерабенда в преподавании курса «Философия и методология науки»..... 40

ЖУКОЦКАЯ З. Р., ДУБИНИНА А. П. Педагогическая антропология М. Шелера как синтез экзистенциально-культурологических установок..... 42

ЗЮЗИКОВА Е. А., КОМАРОВА Д. С., Ю. А. АТАПИНА Генеративный искусственный интеллект как соавтор инженера: трансформация компетентностной модели..... 44

КАЗАКОВ Д. Ф. Практико-ориентированное обучение студентов разработке прикладных XR-решений на основе проектной деятельности и деловой игры..... 46

КОВАЛЕНКО Н. А. Тенденции и перспективы развития подготовки специалистов в области эксплуатации наземных транспортных машин и комплексов..... 48
КОЧЕТОВ Н. В. Резервы ускорения экономического развития Союзного государства..... 50
КУДИНА С. А. Трансформация системы образования в России в 2026 году: системные вызовы и нормативные новации..... 52
ЛАНИНА С. Ю. Прикладная направленность школьного математического образования в контексте подготовки будущих инженеров..... 54
ЛОБИКОВА О. М. Основные тенденции в развитии высшего инженерно-строительного образования..... 56
МАКОВЕЦКИЙ И. И. Об одном подходе к автоматизации решения задачи составления расписания занятий..... 58
МАЛОВЕЦКАЯ Е. В. Интеграция ИИ в среду высшего образования: векторы трансформации образовательных и профстандартов..... 60
МАРКЕЛОВ Е. А., ЮКЛАСОВА А. В. Государственная поддержка студентов инженерных специальностей в Российской Федерации..... 62
МОЛОХОВИЧ М. В. Методы мотивации студентов к активизации познавательной деятельности..... 64
НАЗАРОВ Р. Р., АЛИЕВ С. У. Современное инженерно-экономическое образование: опыт Ташкентского филиала РЭУ имени Г. В. Плеханова..... 66
ОЛЕНЦЕВИЧ В. А. Вопросы реализации образовательной модели «вуз – транспортная компания» на основе дуального подхода..... 68
ПУСКОВА В. М. Дистанционные образовательные технологии в Институте повышения квалификации..... 70
РОМАНОВА Д. С. Деловая игра как средство развития навыков принятия решений в изменяющихся условиях у студентов IT-направлений..... 72
РЫНКЕВИЧ С. А. Применение искусственного интеллекта при изучении дисциплины «Интеллектуальные системы управления автомобилем»..... 74
САМАРЦЕВ К. С., САМАРЦЕВ С. Б., КАМИНСКАЯ С. О. Искусственный интеллект в дополнительном образовании взрослых..... 75
СИДОРЕНКО Ю. В. О необходимости развития познавательной активности обучающихся в техническом вузе..... 77
СТЕПАНОВА М. П., НАЗАРОВА Л. И. Модернизация содержания дисциплины «Основы бережливого производства» в политехническом колледже..... 79
ТОКАРЬ Г. М., МАЦУГАНОВА М. Д. Формирование предпринимательской культуры в студенческой инженерной среде: роль Парка высоких технологий в развитии университетского стартап-движения в Беларуси..... 81
УСОВ Е. С., ЧЕРНОГАЛОВ Н. В. Создание совместных научно-производственных кластеров в Союзном государстве..... 83

ФЕДОРЕНКО А. М. Цифровизация информационных процессов заочной формы обучения..... 85
ФИЛАТОВА О. Н., СМИРНОВА Ж. В. Ситуационно-позиционный подход в профессиональном самоопределении обучающихся инженерной сферы..... 87
ФИЛИПЕНКО О. В. Продуктивный тип обучения математике будущих инженеров..... 89
ЧЕПРУНОВА Ю. В. Инновации в обучении бизнес-автоматизации: роль платформы «1С» как ключевого инструмента..... 91
ЧУРИЛИНА Е. В., КАРМАНОВА О. В., КАБЛОВ В. Ф. Актуализация образовательной программы через призму реальных производственных задач: межвузовский обмен опытом..... 93
ШАРАПОВА Е. В. Формирование универсальных компетенций в инженерном образовании Беларуси: решения и перспективы..... 95
ШОРИНА И. В., ГЕФКЕ И. В. Физическое мышление как инструмент инновационных разработок в цифровой экономике: от математической модели к материалу..... 97
ЯНКОВСКАЯ А. В. Интеграция дополнительного образования детей и молодежи и высшей школы как фактор опережающей подготовки инженерных кадров в Союзном государстве (на примере взаимодействия Лидского РЦТДиМ и профильных технических вузов Беларуси и России)..... 99

Секция 2. Перспективные научные направления, инновационные разработки, технологии и материалы 101
АБДУЛЛИНА Г. Ю., БАШИРОВА З. А., АМИНЕВА Г. Г., ВАСЕНИНА Н. А. Оксидные наноструктуры как фактор кинетики растворения никеля в хлоридных средах..... 101
АКИМОВ А. А., СПАСКОВ В. А. Влияние неопределенности кинетических параметров на оптимальное температурное управление процессом переэтерификации..... 103
АМИНЕВА Г. Г., СИДЕЛЬНИКОВ А. В., СЯКАЕВ Р. С. Выявление стадий синтеза полианилина методом главных компонент..... 105
АНЦИФЕРОВ С. И., АШИХМИН Э. А., РОМАНЕНКО В. А., ДОМАШЕНКО М. Р. Анализ современных методик проведения экспериментов в валковых дробилках..... 107
АНЦИФЕРОВ С. И., СЫСОЕВ А. Н., ЗАПАРА У. И., НИКУЛИН В. В. Исследования технологического процесса подготовки сухой сырьевой муки с применением DEM-технологий..... 109
АНЦИФЕРОВ С. И., СЫЧЁВ Д. А., ЗАПАРА У. И., СЕВАСТЬЯНОВ И. В. Применение имитационного моделирования для организации и планирования многономенклатурного гибридного производства на основе аддитивных технологий..... 111

АНЦИФЕРОВ С. И., СЫЧЁВ Д. А., ЧЕРЕПЧЕНКО В. В., РОМАНЕНКО В. А., МЕДВЕДЕВ С. В. Многономенклатурные гибридные производства на основе аддитивных технологий WAAM и LMD..... 113

АНЦИФЕРОВ С. И., ЧЕРЕПЧЕНКО В. В., СЕВАСТЬЯНОВ И. В., СЫЧЁВ Д. А. Исследования влияния параметров на эффективность работы центробежного многоступенчатого компрессора..... 115

БЕЛЕГОВ А. Н., АСКЕРКО А. В., РАЦ Р. А. Проблемы обеспечения связи в системах беспилотных летательных аппаратов..... 117

БОЛОТОВ С. В., ЗАХАРЧЕНКОВ К. В., ЗАРОВЧАТСКАЯ Е. В., ХАТЕТОВСКАЯ М. С. Имитационные модели источника питания и проволокоподающего устройства для дуговой наплавки……..... 119

БОЛОТОВ С. В., ЮМАНОВ Д. Н., НИКИТЕНКО Е. П. Конечно-элементные модели электромагнитных и тепловых процессов контактной точечной сварки..... 121

БУЯКОВ А. С., ЛУКЬЯНЕЦ М. П., БУРЛАЧЕНКО А. Г., ШМАКОВ В. В., МИРОВОЙ Ю. А., НЕЙМАН А. А., БУЯКОВА С. П. Увеличение надежности керамических огнеупоров через создание структурных условий залечивания дефектов..... 122

ВАСИЛЬЕВ А. А., ЛАТУН М. В. Особенности конструирования сварных соединений для металлических мостов и мостовых переходов..... 123

ВЕРЕМЕЙЧИК А. И. Модернизация моделей радиационно-конвективного теплообмена при взаимодействии плазменных струй с металлическими мишенями..... 124

ВЕРЕМЕЙЧИК А. И., ЖЕЛТКОВИЧ А. Е., МОЛОШ В. В., САВЧУК С. В., ШЕЙКО А. А., МАЗУРИК П. В., КРАСОВСКИЙ С. Г., YANG J., PANG T. Нейросетевое моделирование тепловых процессов при лазерном нагреве сталей..... 126

ВИНОГРАДОВ Н. С., ГУРЬЯНОВ Д. В. Перспективные композитные и керамические материалы для средств индивидуальной бронезащиты нового поколения..... 128

ВИШНЕВСКАЯ Т. А., ПРОКОПЧУК Н. Р. Нанокомпозиты на основе полиамида 6 с частицами оксидов металлов: механические свойства..... 130

ВИШНЕВСКИЙ К. В., ШАШОК Ж. С. Влияние вулканизующей системы на усталостную выносливость резин на основе силоксанового каучука..... 132

ГАЙНУТДИНОВ Ф. Р., ГАЙНУТДИНОВА Д. Ф., ГАЛИМОВ А. И., КАМАЛОВА З. Р. Датчики водорода для будущей инфраструктуры водородной мобильности..... 134

ГАРЕЕВ И. А., АМИНЕВА Г. Г., БАШИРОВА З. А. Хемометрические алгоритмы обработки многомерных данных мультисенсорных систем..... 136

ГОЛЬБЕРГ Г. Ю., ЛУСИНЯН О. Г., МАРЧЕНКО Д. Ю., КОРЗИНОВА А. С., ЛАВРИНЕНКО А. А. Применение нуклеофильных модификаторов при флотации медно-никелевой руды..... 137

ГОРБАТЕНКО Н. Н. Анализ влияния параметров трубопроводов на динамические характеристики гидроусилителя рулевого управления грузового автомобиля..... 139

ГРОМЫКО П. Н., ТРУСОВ И. В., КОРОВКИНА А. Д., ХАТЕТОВСКАЯ М. С. Предварительный прочностной расчет зубьев зацепления мультипликатора..... 141

ДАНИЛОВ О. С., МЕЗЕНЦЕВ А. Ю., БАЛАДЖАЕВ С. М., СЛИВЕЦ Д. Л., ЛОЗОВСКИЙ Э. Р. Разработка компьютерной модели разрушения крепких сульфидных медно-никелевых руд с использованием сверхзвуковых водяных струй..... 143

ДОВГАЛЕВ А. М., СУХОЦКИЙ С. А., КЛУБАЕВ А. С. Комбинированная обработка шеек валов резанием и поверхностным пластическим деформированием..... 145

ДОРДЮК Ю. С., ЯЛОВАЯ Н. П. Практическое применение нечеткой логики в оценивании технического состояния строительных конструкций..... 146

ЕВСТЕФЕЕВА А. П., АЛЕКСАНДРОВ А. В. Перспективы внедрения и развития нейроменеджмента на предприятиях..... 148

ЗУБКО Е. И., ФОМИН Д. В. Контроль за явлением контаминации от отдельных материалов с помощью прибора «Меридиан-Амур»..... 150

ИЛЬЮШИНА Е. В., ЮШКЕВИЧ Н. М., ГРИГОРЬЕВ Д. Л., МУХА А. В. Анализ способов финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей стальных заготовок..... 152

ИЛЬЮШИНА Е. В., ЮШКЕВИЧ Н. М., ГРИГОРЬЕВ Д. Л., МУХА А. В. Разработка метода упрочняющей обработки пневмоударом внутренних цилиндрических поверхностей стальных заготовок..... 154

ИШУМБАЕВА О. Д., НИКИТИНА В. А., ФАЗДАЛОВА И. Р., ФАТКУЛЛИН Д. Р., АХМЕТШИН Б. С. Разработка пассивного экзоскелета на основе стальных профильных конструкций для ликвидации чрезвычайных ситуаций..... 155

ИШУМБАЕВА О. Д., НИКИТИНА В. А., ФАЗДАЛОВА И. Р., ФАТКУЛЛИН Д. Р., НУРУТДИНОВ А. А. Биомеханическая и эргономическая эффективность пассивных экзоскелетов при выполнении тяжелых работ..... 157

КАПИТОНОВ А. В. Методика оценки технологичности конструкций одноступенчатых планетарных редуцирующих механизмов с шариковым и роликовым зацеплением..... 159

КАПИТОНОВ А. В., КАПИТОНОВ О. А., МЕЛЬНИКОВ С. В., ШИЛОВ А. С. Модульный принцип проектирования планетарных шариковых и роликовых передач с оценкой технологичности конструкций..... 160

КАРПАЧЕВ Д. В., ТРЕТЬЯКОВ И. А., ШЕЛУДЧЕНКО Е. И., ГОЛОВКОВ А. Н. Направления совершенствования струйных противоточных мельниц..... 161

КАШАПОВА Л. А., БАШИРОВА З. А., АМИНЕВА Г. Г., ВАСЕНИНА Н. А. Роль атомарных окислителей в кинетике анодного растворения алюминия в хлоридсодержащем электролите..... 163

КИСЕЛЕВСКИЙ О. С., ВАСИЛЬКОВ В. В. Техническое состояние деталей шатунно-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания..... 165

КОРБУТ Е. Е., МАРКО О. Ю., НЕМЧЕНКО И. В. Исследование водопоглощения растворов для стяжек пола, содержащих отходы пенополиуретана..... 167

КОРБУТ Е. Е., МАРКО О. Ю., САМАРСКИХ У. С. Физические свойства (плотность) растворов для стяжек пола, содержащих отходы пенополиуретана..... 168

КОРЗИНОВА А. С., ЛАВРИНЕНКО А. А., ЛУСИНЯН О. Г., ГОЛЬБЕРГ Г. Ю. Влияние минерального состава образцов медно-никелевой руды на показатели флотации..... 170

КОРОЛЁВ А. Ю., ИВАНОВ А. И., РОЖКОВ В. А. Температурные режимы электролитно-плазменной цементации титана и их влияние на размерную точность..... 172

КОРОЛЁВ А. Ю., НИСС В. С., КУЧИНСКИЙ В. А. Структурно-морфологические характеристики покрытий на магниевом сплаве AZ31B при высокочастотном микродуговом оксидировании..... 174

КРИВОНОГОВА Е. Г., ГАЛЮЖИН Д. С., ЕВМЕНЕНКО Д. И. Оценка возможных вариантов выполнения защитного ограждения для станка 3А161..... 176

КРИВОНОГОВА Е. Г., ЧУМАЧЕНКО О. И., ШЕВЦОВ В. В. Экономическое обоснование целесообразности изготовления шестерен МФУ методом аддитивных технологий..... 178

КУДАК С. П., ФОМИН Д. В., ВОРОНКОВ А. Е. Современная реализация имитаторов солнечного излучения..... 180

ЛАРЬКИНА Т. С., ВАСИЛЕНКО А. А., АНЕЙЧИК Д. Д. Описание системы электроприводов на базе DC–DC-преобразователей для сглаживания пульсаций мощности вихревого ветрогенератора..... 182

ЛАРЬКИНА Т. С., ШЛЯХТОВ С. И., ЕРАШОВ А. В. Исследование динамических процессов в электромеханической системе с рекуперативным торможением и суперконденсатором при циклических нагрузках..... 183

ЛЕСНОВ А. Е., ЛИХАЧЕВ С. В., БОЛЬШОВА А. В. Профильный химический аудит производственной лаборатории лакокрасочного предприятия..... 184

ЛИЗОГУБ И. В., МАКАРЕВИЧ П. А., МАНН А. С. Оптимизация реологических и физико-механических свойств модифицированных бетонных смесей..... 186

ЛОЗИКОВ И. А., ДОБРОВОЛЬСКИЙ А. Д., АН ЙИН. Влияние условий обработки в механореакторе на гранулометрический состав модификатора Cu – 10 % Al..... 188
ЛУКАНСКИЙ А. Ю., СТРЕЛКОВ Н. А. Инновационные разработки в сфере разведки в Республике Беларусь..... 190
МАРКИДОНОВ А. В. Динамика дислокаций при ударно-волновом упрочнении материалов: компьютерное моделирование..... 191
МИРОНОВА М. Н., АНТОНОВА Е. Н. Стратегии получения знаний интеллектуальной системой, построенной на основе функциональной семантической сети..... 193
МОНТИК Н. С., ИГНАТЮК Д. А. Разработка интеллектуального ассистента для банка на основе локальных моделей генеративного ИИ..... 194
НАБИЕВ А. М., ЦОЙ Г. Н., РОЗАХИНОВ А. С. Приспособление для заточки разбивочных ножей..... 196
ОВЧИННИКОВ А. Е., СВИСТУН А. Ч., ВОЗНЯКОВСКИЙ А. А., ЭЙСЫМОНТ Е. И., КЕТРИК Н. Н., САВИЦКИЙ А. А. Графенсодержащие электроискровые покрытия для модифицирования поверхности алюминия и его сплавов..... 198
ОВЧИННИКОВ Е. В., ВОЗНЯКОВСКИЙ А. А., ЛИННИК Д. А., ЭЙСЫМОНТ Е. И., МИКЛАШЕВИЧ А. П. Физико-механические свойства полиэфирных порошковых покрытий, модифицированных малослойным графеном..... 200
ОВЧИННИКОВ Е. В., ФАЛЕСА В. Ю., АМИРХАНОВ Е. И., ЭЙСЫМОНТ Е. И., МУЛЯРЧИК О. С., МАЗУР Е. Н. Влияние гибридной обработки на свойства алмазоподобных покрытий..... 202
ОРАЗБЕРДИЕВА Э. М. Цифровое моделирование энергоэффективных электротехнических систем в MATLAB/Simulink..... 204
ПАРНИЦКИЙ А. М., МЕЛЬНИК Ю. А. Обоснование режимов термобарического спекания композита алмаз – кубический нитрид бора..... 206
ПИСАРЕВА И. А., НИКУЛИН С. С. Оценка коагулирующего действия соли фосфония в производстве синтетических каучуков..... 208
ПОЛЯКОВ А. В., ФОМИН Д. В., ШОЛЫГИН И. О. Методы подготовки атомарно-чистых подложек Si..... 210
ПОПРУКАЙЛО А. В., КОСТЮКОВИЧ Г. А., КИПНИС М. Е., ОВЧИННИКОВ Е. В. Демпферы крутильных и изгибных колебаний карданных передач..... 212
ПРОКОПЧУК Н. Р., ВИШНЕВСКИЙ К. В., КРОТОВА О. А., УСС Е. П. Применение природных полифенолов в качестве функциональных добавок для модификации полилактида..... 214
ПРУДНИКОВ А. П. Повышение технологичности и эксплуатационных характеристик циклоидальных редукторов за счет применения пакетного сателлита..... 216

РАБЫКО М. А., ШЕМЕНКОВ В. М., ПЛИСОВА Д. А., СИНИЦКИЙ В. А. Влияние обработки тлеющим разрядом в магнитном поле с эффектом полого катода на фазовые состояния поверхностного слоя инструментальных сталей..... 218
РАБЫКО М. А., ШЕМЕНКОВ В. М., ПЛИСОВА Д. А., СИНИЦКИЙ В. А. Результаты промышленной апробации упрочнения технологической штамповой оснастки тлеющим разрядом с эффектом полого катода..... 220
РОГОЖИН В. Д., ПОНОМАРЁВА О. А. Повышение точности оценки прогнозирования технического состояния элементов подвески колесных транспортных средств..... 221
СВИРЕПА Д. М., КУРАШОВ А. А., СВИРЕПА Н. Д., СКАРЫНО Б. Б. Отличительные особенности методов поверхностного пластического деформирования при обработке чугуна..... 223
СВИРЕПА Д. М., СВИРЕПА Н. Д. Метод магнитно-динамического раскатывания для модифицирования внутренних цилиндрических поверхностей деталей из высокопрочного чугуна..... 224
СЕРГЕЕВА А. М., ПОЛЯКОВА Т. А. Особенности «умных дорог» и перспективы их применения в Беларуси..... 225
СОЛТАНОВ Х. Моделирование двумерного температурного поля методом конечных разностей..... 226
СУДАРЕВ А. В., КУВШИННИКОВ В. С., КОВШОВ Е. Е. Инновационный подход к оценке качества цифровых радиографических изображений в формате DICONDE..... 228
ТАРАДЕЙКО И. А., СУХОЦКИЙ С. А. Комбинированная магнитная и ударно-деформационная обработка поверхности валов в условиях мелкосерийного производства..... 230
ТРУСОВ И. В., ГРОМЫКО П. Н., КОРНЕЕВ Н. С., КОРОВКИНА А. Д. Эмпирический расчет контактных напряжений пары «сателлит – ролик» мультипликатора..... 232
ТУРСУНБОЕВ Л. Э., РАХМОНОВ Х. Н. Расчет на прочность рабочего барабана шлифовальной машины..... 234
УПЫРЬ Р. Ю. Разработка цифрового двойника как виртуального полигона для движения беспилотных грузовых поездов..... 236
ФАДИН Ю. М., ОБЕРНИХИН А. А., ВЛАСЕНКО Е. И., КАРТАЛОВ Н. А. Проведение инженерного анализа в конусных дробилках среднего дробления..... 238
ФАДИН Ю. М., РАЗИНЬКОВ Н. В., БОЧАРНИКОВА А. С., ЩИПЦОВ А. В. Усовершенствование внутрикамерной классификации материала в трубной шаровой мельнице..... 240
ФАДИН Ю. М., РАЗИНЬКОВ Н. В., ЩИПЦОВ А. В., ЯКШИН И. М. Конусно-волнистая каблучковая футеровка в трубной мельнице..... 242
ФЕДОСЕНКО А. С., БЕЛЯКОВИЧ В. А., СУХОЦКИЙ С. А. Влияние температуры подогрева композиционных керамических порошков на их сыпучесть..... 244

ФЕДОСЕНКО А. С., ОЛЕНЦЕВИЧ А. С. Порошки высоколегированных сталей повышенной жаропрочности, полученные механическим легированием..... 246

ФЕТИСОВА Е. А., КОРОТЕЕВ А. О. Исследование процессов диссоциации CO_2 в высокотемпературной области дугового промежутка при сварке в трехкомпонентной защитной газовой атмосфере..... 248

ФИЛИППОВ М. Н. Сравнительная характеристика моделирования влияния классической и термоциклической обработки на остаточные напряжения сварных трубопроводов из стали Р91..... 250

ФОМИН Д. В., ВОРОНКОВ А. Е., КУДАК С. П., БУЗИКОВ Р. А. Перспективные системы гироскопической стабилизации и ориентации малых космических аппаратов..... 252

ХАБИБУЛЛИН А. И., КИСЕЛЕВИЧ Н. Б. Преимущества и недостатки модификаторов первой группы, синтезируемых методами реакционного механического легирования..... 254

ХАНИН С. И., ГАРБУЗОВ Д. Д. Возможности использования математических описаний процесса классификации материала через отверстия решет применительно к молотковой дробилке..... 255

ХАНОВ Н. В., СЕРМАВБРИН Н. В. Новые решения схем армирования сталежелезобетонных напорных водоводов ГАЭС..... 257

ХАРИТОНОВ Ю. М., ШАШЕНКО С. Ф. Тонкостенное рабочее оборудование волновых аппаратов..... 259

ХАТЕТОВСКИЙ С. Н., ГРОМЫКО П. Н., ГАЛЮЖИН М. А., ПУСКОВА В. М., КАСТРИЦА Е. С. К вопросу оценки контактных напряжений в зубчатом зацеплении..... 261

ХЕЙФЕЦ М. Л., ГРЕЦКИЙ Н. Л. Перспективы разработки и применения интеллектуальных комплексов технологического станочного оборудования..... 262

ЦОЙ Г. Н., НАБИЕВ А. М., ИГАМБЕРДИЕВ Б. С. Машина с адаптивным управлением скоростью рабочих органов..... 264

ЧЕТЧУЕВ М. В. Об изменении подхода к резервированию территории при этапном развитии железнодорожной станции..... 266

ЧУДАКОВСКИЙ П. Я., ЛУКЬЯНОВА К. Н., БЫЧКОВА М. И. Динамическая интерферометрия параметров оптических поверхностей и жидких сред..... 268

ШАБЛОВСКИЙ А. В., ЯКУБОВИЧ Д. И. Зависимость растворения кремния в жидкой металлической ванне от условий его введения при электродуговом плавлении..... 270

ШИПИЛОВА М. Д., ТЛЕУЛИЕВА И. Б., ЗГУРОВЕЦ Е. Д. Диагностическая значимость аналитического контроля вод межколонных пространств нефтегазовых скважин..... 271

ШОЛЫГИН И. О., ФОМИН Д. В., ПОЛЯКОВ А. В. Использование тонких пленок силицидов для производства компонентов микро- и наноэлектроники..... 273

ЮДИН К. А., ХОХЛОВ Д. О., НИКУЛИН В. В. Технологические аспекты комбинированного способа производства портландцементного клинкера для печей мокрого типа..... 275

ЯКУБОВИЧ Д. И., ЛИСОВАЯ И. А. Унификация метода постпечатной обработки изделий из пластика, полученных методом аддитивных технологий..... 277

ЯКШИНА А. В. Анализ конструктивных особенностей струйной противоточной мельницы для тонкого помола материалов..... 278

Секция 3. Тенденции развития современного промышленного производства, проблемы и перспективы..... 280

АЛЕКСАНДРОВА С. А., СЕВРЮКОВА А. В. Трансформация глобальных цепочек поставок и будущее логистики Беларуси: аналитический обзор..... 280

АЛЕКСАНДРОВИЧ К. К., МИШКОВА М. П. Экономическая оценка механизмов венчурного финансирования в Беларуси и анализ путей их оптимизации..... 282

АЛЕКСЕЕВА Н. А. Методические подходы к измерению эффективности системы продвижения промышленных товаров в условиях цифровой экономики..... 284

АРАЗДУРДЫЕВ Н., БАЛТАЕВА С. Глубокая переработка природного газа как направление модернизации промышленности Туркменистана..... 286

АРАЗГЕЛЬДИЕВА С., БАЛТАЕВА С. Цифровизация промышленного производства Туркменистана как фактор повышения конкурентоспособности..... 288

АРХИПОВ А. Е., ЛОПАТКО А. С., МАКСИМОВ И. И. Интеллектуальная система локального анализа промышленного видео..... 290

БЕРЕЗОВСКИЙ С. П., ИСТРАТОВА Е. Е. Анализ программ для диагностики неисправностей технического состояния промышленного оборудования..... 292

БОРОДИЧ Т. А., ТАРАСОВА А. М. Применение инновационных технологий для повышения конкурентоспособности современного предприятия..... 294

БРЫЗГАЛОВ М. А. Петрургическая технология переработки горелых пород отвалов шахт Кузбасса..... 296

БУЛГАКОВ С. Б., СЁМКИН Д. В. Пути снижения удельных энергозатрат при измельчении сверхтвердых материалов в комбинированных струйных мельницах..... 297

ВОЛЧЕК А. А., ОБРАЗЦОВ Л. В., СРЫВКИНА Л. Г. Структурная перестройка энергетики Беларуси как фактор декарбонизации..... 299

ВОРОНИНА О. А., ДОНЦОВ В. М., ТУГАРЕВ А. С. Проблемы проведения технологических испытаний при производстве микросхем..... 301

ГЛИНКИНА И. М., БАЙЛОВА Н. В., КАШИРИНА Н. А. Структура производства продуктов животноводства в России..... 303
ГОЛУШКОВА О. В., АЛЕКСЕЕВА М. Д. Реконструкция кинотеатра «Чырвоная Зорка»..... 305
ГОРОХОВА И. А. Преимущества и актуальные проблемы автоматизации логистики на водном транспорте..... 306
ГРИНЕВИЧ М. Н. Система мониторинга привлекательности видов экономической деятельности: актуальность и основные требования..... 308
ГРИНЕВИЧ М. Н. Темпоральный анализ циклической чувствительности транспортного сектора..... 309
ДУРДЫЕВА А., БАЛТАЕВА С. Диверсификация промышленного производства Туркменистана: проблемы и перспективы..... 311
ЖЕСТКОВА Е. С. Факторы технико-технологической безопасности предприятия..... 313
ИШКОВА В. М., СТЕПАНЕНКО М. А., ИСТРАТОВА Е. Е. Анализ применения виртуализации в автоматизированных системах управления технологическими процессами..... 315
КЛИМОВА Л. А., КРАСНИКОВА Е. А. Оценка и пути повышения юзабилити официального сайта ОАО «Зенит»..... 317
КЛИМОВА Л. А., КРАСНИКОВА Е. А. Оценка эффективности каналов продвижения продукции ОАО «Зенит» в B2B-сегменте..... 319
КЛУБАЕВ А. С., СТАЦЕНКО А. А. ИИ и цифровые двойники на примере кластера «Индустрия 4.0» в Белорусско-Российском университете..... 321
КОЛЬЦОВА П. И., ПИСКОВАЦКИЙ Ю. В. Определение места однофазных замыканий на землю в распределительных сетях 6...35 кВ..... 323
КУЦЕНКО С. М. Организация технологической связи и передачи данных на перегоне посредством пассивных оптических сетей доступа..... 325
ЛЕСНЫХ Е. А. Проблемы цифровизации агропромышленного комплекса Российской Федерации..... 327
ЛОЛА Е. П., НОВИКОВ В. В. Повышение уровня промышленной безопасности на основе совершенствования процедуры идентификации опасностей на ОПО..... 329
МАРЧЕНКО М. А. Перспективы развития транспортно-логистического комплекса Российской Федерации..... 331
МИШКОВА М. П., ЧИЖИК Н. И. Проблема износа производственного оборудования в промышленности и пути ее решения..... 333
НАЛИВАЙКО Г. М., РАК Е. М. Вопросы развития циркулярной экономики в Беларуси..... 335
НАРКЕВИЧ Л. В., ЖИВЕЛЮК К. И. Детерминированный факторный анализ оборачиваемости оборотных средств в системе управления предприятием..... 337
НАРКЕВИЧ Л. В., ЖУКОВА С. В. Общий аналитический блок в системе управления организацией..... 339

НАРКЕВИЧ Л. В., ПРОЛЕЙЧИК В. С. Аналитико-ориентированный подход в проектном управлении сбытом продукции организации..... 341
НЕЧАЕВА Т. Г., БОРОДИЧ Т. А. Современное промышленное производство: анализ затрат, проблемы материалоемкости и перспективы технологического обновления..... 343
НЕЧАЕВА Т. Г., ФОМЧЕНКО Д. А. Тенденции и проблемы использования основных средств в современном промышленном производстве и пути их решения..... 345
ОЛЕЙНИК А. А., ВАКУЛИЧ Н. А. Цифровизация закупочной логистики как фактор повышения эффективности цепей поставок..... 347
ОЛЕНЦЕВИЧ В. А. Корректировка параметров загрузки вагонов-цистерн с учетом сезонных и технологических ограничений..... 349
ОРЛОВСКИЙ П. С. Совершенствование риск-ориентированного подхода в системе управления промышленной и пожарной безопасностью в условиях технологического перевооружения предприятий..... 351
ПАШКЕВИЧ В. М. Обучение в технологических системах, построенных на основе концепции «Индустрия 4.0»..... 353
ПЕКАРСКАЯ Ю. Э., МИШКОВА М. П. Развитие промышленного производства на основе экологических технологий на примере ОАО «Нафтан»..... 355
ПЕКАРСКАЯ Ю. Э., МИШКОВА М. П. Современные направления повышения производительности труда на ОАО «Гомсельмаш»..... 357
ПЕКАРСКАЯ Ю. Э., МИШКОВА М. П. Тенденции развития современного машиностроения Республики Беларусь на примере ОАО «МТЗ»..... 359
ПИРИЕВА Л. Ю., ВАСИЛОВ Д. А. Анализ состояния и тенденций развития рынка автоклавных силикатных изделий в современных экономических условиях..... 361
ПОПОВ В. Б. Применение дорна при непрерывно-циклическом литье направленным затвердеванием..... 363
ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ А. П., ДЕНИСОВА А. А. О возможности улучшения технологического процесса в аддитивном производстве..... 364
ПРУДНИКОВ А. П., РЕКИШ И. А. Влияние технического уровня оснащения ремонтного производства на качество продукции..... 366
ПУЛЬТЯКОВ А. В., СУДАРЕВ И. В. Применение нейросетевых методов машинного обучения для автоматизации процессов сортировочной горки..... 368
ПЯТКОВСКИЙ С. А., ИСТРАТОВА Е. Е. Анализ тенденций развития сетей интернета вещей..... 370
РОМАНЬКОВА Т. В. Управление риском как фактор повышения безопасности цепи поставок..... 372
РЯБЦЕВА Н. А. Влияние способа обработки почвы на рентабельность агротехнологии подсолнечника..... 373
СИВАЧЕНКО Л. А. Технологическая эволюция процессов переработки сырья и материалов..... 374

СУНЬ КЭ Процессная цифровизация цепей поставок промышленных предприятий Китая..... 376
ХМЕЛЬНИЦКИЙ Е. С. Перспектива применения древесины при индустриализации строительных процессов..... 378
ЦУРКОВ Н. А., СТЕПАНОВ Н. О., ФЕДОТОВА О. В., САФАРОВ Р. Р. Импортозамещающее производство высокочистых химических реактивов..... 380
ЧЕРНАЯ Л. Г., САЗОНКО А. Е., КАЗАК Е. М. Обеспечение промышленной безопасности производственных объектов во взрывоопасных средах..... 382
ШАГЕЕВ М. Ф., ЗВЕРЕВА Э. Р., ГИЛЬМУТДИНОВА Р. И. Многокритериальное обоснование стратегии утилизации золошлаковых отходов тепловых электрических станций Арктической зоны..... 384
ШОРНИКОВА А. А., КВАШИНА О. Н. Цифровизация процессов управления запасами на предприятиях пищевой промышленности: опыт российских предприятий..... 386

УДК 378.014

БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ: 65 ЛЕТ РАЗВИТИЯ, УСПЕХОВ И ДОСТИЖЕНИЙ

М. Е. ЛУСТЕНКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В 2026 г. Белорусско-Российский университет (БРУ) отмечает 65 лет со дня основания вуза. В Могилевском машиностроительном институте, легендарной «Машинке», за эти годы подготовлено более 53 тыс. специалистов. Сегодня БРУ – это научно-образовательный центр, включающий в себя университет, Лицей имени Л. Е. Маневича, Архитектурно-строительный колледж и Институт повышения квалификации и переподготовки кадров. Функционируют магистратура, аспирантура и совет по защите докторских и кандидатских диссертаций. БРУ – единственный университет на территории Республики Беларусь, в котором обучение проводится по белорусским и российским образовательным программам.

Традиционно, еще с советских времен, планирование и подведение итогов развития осуществлялись пятилетками. С такой же периодичностью отмечаются и юбилеи вузов. Подведем некоторые итоги за прошедшие пять лет, с 2021 г. по 2026 г. За данный период были открыты 7 новых специальностей бакалавриата и 2 магистратуры. В эти годы реализовывалась стратегия, основанная на приоритете научной деятельности во взаимодействии «наука – образование» [1]. В связи с этим были проведены структурные преобразования: все кафедры стали выпускающими, внедрена система научных показателей для премирования преподавателей, ежегодно проводится конкурс университетских стартапов, оказывается поддержка существующих и стимулируется создание новых научных «точек роста». По итогам 2023 г. коллектив Белорусско-Российского университета был удостоен награды в номинации «За достижения в развитии научной и научно-технической деятельности» среди учреждений высшего образования Республики Беларусь. Доля внебюджетного финансирования научных исследований, согласно итогам 2025 г., составила более 82,5 %. Данный показатель является наивысшим среди вузов Республики Беларусь, о чем свидетельствует письмо министра образования от 29.07.2026. Университет впервые стал головной организацией в Могилевской области при реализации региональной научно-технической программы.

За прошедшие пять лет вуз участвовал в нескольких значимых международных проектах. Благодаря участию в комплексной программе развития, финансируемой из федерального бюджета Российской Федерации, он существенно укрепил материально-техническую базу и развил академическую мобильность.

По проекту международной технической помощи ООН «Содействие внедрению технологий Четвертой промышленной революции в Могилевской области Беларуси» в университете открыта лаборатория современной

механообработки материалов, оснащенная металлообрабатывающим оборудованием на сумму свыше 800 тыс. долл. США.

Благодаря поддержке Министерства образования Республики Беларусь в университете создан ресурсный центр «Перспективные сварочные технологии». Одно из ведущих направлений в вузе получило мощную поддержку в виде современных лабораторий, оснащенных уникальным научным и учебным оборудованием.

Все эти годы особое внимание уделялось гражданско-патриотическому воспитанию молодежи [2]. Создан военно-патриотический клуб «БРУствер», в 2,5 раза увеличено количество студентов, работающих в стройотрядах. В вузе создан современный музей. С историей «Машинки» первокурсников знакомят на факультативном курсе «Университетоведение».

Постановлением Совета Министров от 01.04.2024 № 230 Белорусско-Российский университет включен в перечень учреждений образования, в которых проводится обучение граждан на военных кафедрах. С сентября 2024 г. в университете воссоздана военная кафедра, а в феврале 2025 г. осуществлен первый набор студентов.

Активно развивается международное сотрудничество. БРУ является членом 13 международных консорциумов и ассоциаций, причем в 7 из них вступил в период с 2001 г. по 2026 г. За это же время число действующих международных договоров увеличилось практически в 1,5 раза – с 84 до 143. 90 из них заключены с российскими вузами и научными организациями. В 2022 г. БРУ вошел в региональный рейтинг QS для вузов развивающихся стран Европы и Средней Азии и занял 4-е место среди белорусских вузов. В октябре 2025 г. он был впервые включён в международный рейтинг «Три миссии университета».

Университет за отчетный период 3 раза становился победителем Республиканской студенческой универсиады в третьей группе вузов. За прошедшие пять лет он 4 раза признавался победителем городского соревнования среди высших учреждений г. Могилева.

За всеми достижениями университета стоит каждодневный труд преподавателей, сотрудников, студентов и выпускников, приумножающих авторитет и славу родной альма-матер. Впереди новые цели и задачи, с которыми коллектив БРУ, безусловно, справится.

С праздником, уважаемые коллеги, с юбилеем, родной университет!

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лустенков, М. Е.** Стратегия устойчивого развития и повышения качества образовательного процесса Белорусско-Российского университета в современных условиях / М. Е. Лустенков // Образование, наука и производство в XXI веке: современные тенденции развития : материалы юбилейной Междунар. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2021. – С. 9–16.

2. **Лустенков, М. Е.** Система гражданско-патриотического воспитания в Белорусско-Российском университете и ее роль в укреплении дружбы братских народов / М. Е. Лустенков, Н. В. Вологина // Вестник Российского государственного гуманитарного университета. Серия : Евразийские исследования. История. Политология. Международные отношения. – 2022. – № 1. – С. 58–66.

УДК 316.6:62

ОБРАЗ ИНЖЕНЕРА БУДУЩЕГО В ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

Г. Я. АЛЕКСЮТИНА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современная инженерная профессия меняется под влиянием цифровизации, автоматизации и быстрого обновления технологий. Эти процессы затрагивают не только содержание профессиональной деятельности, но и представления о том, каким должен быть инженер. Наряду с высоким уровнем технических знаний все большую роль играют способность к непрерывному обучению, работа в междисциплинарной среде, ответственность, адаптация к новым условиям.

Ранее [1] автор уже рассматривал психологическую подготовку инженера к работе с системами искусственного интеллекта, отмечая, что цифровая компетентность не сводится к владению техническими инструментами, а предполагает критическое мышление, ответственность и готовность действовать в условиях неопределенности. Это ставит более широкий вопрос: насколько сами студенты технического вуза представляют содержание будущей инженерной деятельности и какие качества связывают с образом современного специалиста.

Профессиональное самоопределение не завершается выбором специальности и поступлением в университет. В процессе обучения уточняются профессиональные ожидания, отношение к избранной деятельности и представления о собственных возможностях. Поэтому образ «инженера будущего» можно рассматривать как элемент профессионального самосознания, отражающий не только знания о профессии, но и систему ориентиров, с которыми студент будет соотносить собственное развитие.

Для технического университета этот вопрос особенно важен, поскольку часть студентов начинает обучение, имея лишь общее представление о будущей профессиональной деятельности. Быстрое изменение технологий дополнительно усложняет ситуацию: обучающемуся необходимо ориентироваться не только на существующие требования профессии, но и на вероятные изменения к моменту выхода на рынок труда. Исследователи инженерного образования подчеркивают, что внедрение искусственного интеллекта и цифровых технологий усиливает значение междисциплинарности, самостоятельности и способности принимать решения [2].

Для изучения этих представлений на базе кафедры «Гуманитарные дисциплины» Белорусско-Российского университета разработана анкета «Модель инженера будущего в представлениях студентов технического вуза». Ее цель состоит в выявлении того, насколько студенты понимают особенности своей

будущей профессии. Анкета включает вопросы о мотивах выбора специальности, осознанности профессионального выбора, содержании инженерной деятельности, профессиональных и надпрофессиональных качествах, а также ожиданиях в отношении роли университета.

В числе характеристик инженера будущего предлагаются для оценки техническое мышление, высокий уровень профессиональных знаний, способность к самообучению, цифровая грамотность, ответственность, коммуникабельность, умение работать в команде, гибкость и адаптивность, стрессоустойчивость, экологическое и предпринимательское мышление. Это позволяет сопоставить традиционные представления об инженерной профессии с требованиями, возникающими в условиях технологической трансформации.

Особое направление исследования связано с надпрофессиональными навыками. Современный инженер все чаще работает в проектных и междисциплинарных командах, взаимодействует с заказчиками и специалистами других областей, участвует в обсуждении последствий технических решений. Поэтому коммуникация, критическое мышление и способность принимать решения становятся частью профессиональной эффективности. В исследованиях гуманитарного контекста инженерного образования подчеркивается необходимость связывать подобные компетенции с реальными профессиональными ситуациями [3].

Практическое значение исследования состоит в возможности сопоставить представления студентов с актуальными направлениями развития инженерной деятельности. Выявление расхождений между образом будущего специалиста и качествами, которые обучающиеся стремятся развивать у себя, может стать основанием для корректировки профориентационной и образовательной работы. Важно не механическое расширение перечня компетенций, а формирование у студента осознанного представления о собственной профессиональной траектории.

Таким образом, образ инженера будущего может рассматриваться как диагностический показатель профессионального самоопределения студентов технического вуза. Его изучение позволяет определить, какие изменения инженерной профессии уже осознаются обучающимися, какие требования воспринимаются как значимые и в каких направлениях университет может поддерживать формирование профессиональной идентичности будущего специалиста.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аляксюціна, Г. Я.** Псіхалагічная падрыхтоўка інжынера да працы з AI-сістэмамі / Г. Я. Аляксюціна // Цифровая гуманитаристика в глобальном мире : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Могилев, 26–27 июля 2026 г. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2026.

2. Искусственный интеллект в инженерном образовании / Б. А. Лёвин, А. А. Пискунов, В. Ю. Поляков, А. В. Савин // Высшее образование в России. – 2022. – Т. 31, № 7. – С. 79–95.

3. **Сериков, В. В.** Гуманитарный контекст в подготовке будущих инженеров к использованию искусственного интеллекта / В. В. Сериков, И. Н. Чарикова // Ценности и смыслы. – 2024. – № 4 (92). – С. 87–101.

УДК 378.1:33:62

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

В. Р. АЛИЕВА, Н. А. АМИРОВ
Ташкентский филиал «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова»
Ташкент, Узбекистан

Современная трансформация мировой экономики сопровождается качественным изменением требований к системе высшего образования. Цифровизация производственных и управленческих процессов, развитие искусственного интеллекта, роботизация, распространение больших данных, автоматизация бизнес-процессов и формирование новых технологических рынков приводят к тому, что традиционное разграничение между экономическими и инженерными специальностями постепенно утрачивает прежнюю устойчивость [3, с. 170].

Экономист нового поколения должен владеть не только фундаментальными знаниями в области экономики, финансов, менеджмента и управления, но и понимать технологические процессы, цифровые платформы, методы анализа данных и возможности искусственного интеллекта. Аналогичным образом современный инженер всё чаще должен обладать экономическими и управленческими компетенциями, поскольку разработка технологического продукта предполагает оценку затрат, инвестиционной привлекательности, рыночных перспектив, рисков и эффективности [2, с. 154].

Таким образом, формируется новая область профессиональной подготовки, которую можно обозначить как *инженерно-экономическое образование.* Её основная особенность заключается в междисциплинарности. Инженерно-экономическое образование соединяет фундаментальные экономические знания, математическое и аналитическое мышление, информационные технологии, инженерные методы решения задач, искусственный интеллект, проектную деятельность, управление инновациями, предпринимательство, исследовательские компетенции [2, с. 157].

На протяжении длительного времени инженерное и экономическое образование развивались преимущественно как самостоятельные направления. Инженерная подготовка была ориентирована на проектирование, производство, эксплуатацию технических систем и технологические процессы. Экономическое образование концентрировалось на изучении экономических закономерностей, финансов, менеджмента, маркетинга, предпринимательства, управления человеческими ресурсами и других социально-экономических процессов [3, с. 169].

Цифровая трансформация экономики изменила характер профессиональной деятельности. Сегодня реализация практически любого крупного экономического проекта требует технологической составляющей. Создание цифрового банка, маркетплейса, логистической платформы, системы управления предприятием или государственной информационной системы предполагает одновременно экономическую, управленческую и технологическую экспертизу. В результате возникает необходимость подготовки специалистов, способных работать на пересечении нескольких профессиональных областей [1, с. 187].

Условно новую образовательную модель можно представить следующим образом: экономика + инженерия + IT + данные + искусственный интеллект + управление инновациями = инженерно-экономическая компетентность. Такой специалист должен уметь не только сформулировать экономическую проблему, но и определить возможность её технологического решения. Например, задача оптимизации расходов предприятия может решаться посредством экономического анализа, математического моделирования, обработки больших данных, машинного обучения, автоматизации бизнес-процессов, создания цифрового двойника, внедрения интеллектуальной системы поддержки принятия решений. Следовательно, границы между экономистом, аналитиком, менеджером, IT-специалистом и инженером становятся более подвижными [1, с. 188].

Искусственный интеллект как фактор изменения образовательной модели. Одним из наиболее существенных факторов трансформации образования является искусственный интеллект. ИИ изменяет не только содержание учебных дисциплин, но и саму структуру профессиональной деятельности [2, с. 155]. В экономике искусственный интеллект используется для прогнозирования, финансового анализа, оценки рисков, кредитного скоринга, маркетинговой аналитики, оптимизации логистики, анализа поведения потребителей, автоматизации документооборота, поддержки управленческих решений. Поэтому подготовка экономиста без понимания принципов функционирования ИИ постепенно становится недостаточной для ряда современных профессий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вилькен, В. В.** Инновационные образовательные технологии как фактор повышения качества подготовки инженеров-экономистов / В. В. Вилькен // Мировая экономика и бизнес-администрирование. – Мн. : 4 четверти, 2025. – С. 187–188.

2. **Кротенко, Т. Ю.** Инженерная экономика и стратегия инженерно-экономического образования / Т. Ю. Кротенко // Вестник университета. – 2023.– № 1. – С. 152–160.

3. **Лукашевич, М. Л.** Инженерно-экономическое образование: между прошлым и будущим / М. Л. Лукашевич // Проблемы современной экономики. – 2023. – № 4 (88). – С. 169–171.

УДК 378.147:53:004

СОЧЕТАНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО И ЦИФРОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

А. Г. АННАЕВА
Государственный энергетический институт Туркменистана
Мары, Туркменистан

Экспериментальная подготовка является важной составляющей инженерного образования, поскольку обеспечивает переход от теоретического описания физических явлений к их наблюдению, измерению и интерпретации. Работа с реальными установками формирует навыки обращения с оборудованием, планирования измерений, оценки погрешностей и объяснения расхождений между идеализированной моделью и фактическим процессом. Вместе с тем развитие цифровых образовательных технологий расширяет возможности экспериментального обучения за счет виртуальных лабораторий, интерактивных моделей и компьютерных средств визуализации.

Физический и цифровой эксперименты выполняют разные, но взаимодополняющие функции. В реальном эксперименте обучающийся сталкивается с ограниченной точностью приборов, влиянием внешних факторов, необходимостью настройки установки и соблюдения последовательности операций. Цифровая среда позволяет многократно повторять опыт, изменять исходные параметры, наблюдать процессы, которые трудно непосредственно зафиксировать, и предварительно проверять предполагаемый характер результата. Поэтому цифровой эксперимент целесообразно рассматривать не как замену лабораторной работе, а как средство ее подготовки, расширения и последующего анализа.

Эффективная организация занятия может включать три взаимосвязанных этапа. На подготовительном этапе обучающиеся анализируют физическую модель, формулируют ожидаемый результат и выполняют цифровой эксперимент с изменением основных параметров. На практическом этапе проводится физический опыт с реальным оборудованием, фиксируются измеряемые величины и особенности протекания процесса. На аналитическом этапе результаты двух форм эксперимента сопоставляются, выявляются причины различий, обсуждаются ограничения модели и формулируется инженерное заключение.

Такой подход может применяться при изучении механических колебаний, тепловых процессов, оптических явлений, движения тел, свойств материалов и других разделов общей и технической физики. Принципиально важно, что цифровая модель используется не для получения готового ответа, а для постановки гипотезы и прогнозирования результата. Физический эксперимент, в свою очередь, позволяет проверить этот прогноз в условиях реального измерительного

процесса. В результате обучающийся осваивает не отдельную последовательность действий, а полный цикл экспериментального исследования: постановка задачи – прогноз – наблюдение – измерение – сравнение – интерпретация – вывод.

Современные исследования подтверждают педагогическую целесообразность такого сочетания. Метаанализ 2024 г., включивший 46 исследований из 22 публикаций по инженерному образованию, показал статистически значимое положительное влияние виртуальных лабораторий на образовательные результаты (Hedges' g = 0,686). При этом авторы подчеркивают, что виртуальные лаборатории не способны полностью заменить практические занятия с реальным оборудованием и наиболее перспективным направлением является их осознанная интеграция с физическим экспериментом [1].

Для инженерной подготовки особенно значимым является формирование способности оценивать адекватность модели. Совпадение результатов физического и цифрового экспериментов подтверждает применимость принятых допущений в рассматриваемых условиях. Расхождение результатов становится самостоятельной учебной задачей: необходимо определить влияние погрешности измерений, начальных и граничных условий, идеализации модели, дискретности цифрового представления или неучтенных физических факторов. Такая работа развивает критическое мышление и умение аргументировать инженерные решения.

Интеграция двух форм эксперимента также способствует более рациональному использованию лабораторного времени. Предварительное знакомство с установкой и логикой опыта в цифровой среде позволяет сосредоточить очное занятие на измерениях, наблюдении реальных эффектов и анализе данных. В то же время практическая работа предупреждает формирование представления о цифровой модели как о точной копии реального объекта и демонстрирует границы применимости моделирования.

Таким образом, сочетание физического и цифрового экспериментов следует рассматривать как единый методический подход к экспериментальной подготовке будущих инженеров. Физический эксперимент обеспечивает практический опыт взаимодействия с реальными объектами и измерительной аппаратурой, а цифровой расширяет возможности прогнозирования, визуализации и вариативного исследования. Их последовательное объединение создает условия для осмысленной связи теории и практики, развития исследовательских навыков и формирования инженерного мышления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Li, J.** Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: a meta-analysis / J. Li, W. Liang // PLOS ONE. – 2024. – Vol. 19, № 12. – Art. e0316269.

УДК 378.147

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ МОДУЛЬ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А. Д. БАРЫШНИКОВА
Российский государственный университет нефти и газа
(Национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина
Москва, Россия

Подготовка специалистов в области информационной безопасности (ИБ) требует, чтобы теоретические знания использовались при решении профессиональных задач. В учебном плане такую связь даёт практико-ориентированный модуль. В качестве примера рассматривается монтажная практика по структурированным кабельным системам (СКС) – «монтажник СКС», включённая в программу специалитета по ИБ РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина. Анализ строится на деятельностном, контекстном и компетентностном подходах.

Рабочая программа отводит на практику 108 ч. Занятия проходят во 2 семестре. Итогом служит дифференцированный зачёт. Студенты выполняют монтаж медных и волоконно-оптических линий, настраивают сетевое оборудование, используют SNMP, Zabbix и Wireshark, проектируют СКС в BIM-среде nanoCAD. Через эти задания формируются УК-1 и ОПК-13, а оценка связана с выполнением конкретного профессионального действия.

Практика формирует вертикальную связь между дисциплинами «Основы теории и организации ЭВМ» (Б1.06) и «Администрирование сетей передачи информации» (Б1.27). Горизонтальный перенос проявляется в практических заданиях: студенты используют понятия модели OSI, Ethernet, IP-адресации и сегментации сети.

В модуле знания проверяются на практических заданиях, что снижает формальный характер их усвоения и поддерживает профессиональную мотивацию. Оценивается конкретное действие студента. Этот принцип близок логике демонстрационного экзамена [2] и «валидации действием» в среде цифрового двойника [1], а результат такой работы легче диагностировать.

Исследование организовано как квазиэксперимент: сравниваются основной поток и студенты, которые добровольно записались на курс «монтажник СКС» в 2024/2025 и 2025/2026 учебных годах. Сравнение ведётся по успеваемости и сохранности контингента (табл. 1).

Качественная успеваемость основного потока в 2024/2025 учебном году составила 87,6 % при среднем балле 4,23. Результаты групп самозаписи следует учитывать с поправкой на добровольный самоотбор и дополнительную учебную нагрузку. У обучающихся, прошедших практику «монтажник СКС», доля

отчислений со следующего курса оказалась на 7 % ниже, чем по совокупности студентов.

Табл. 1. Успеваемость по практике «монтажник СКС» (число обучающихся по оценкам)

Группа, учебный год	n	«2»	«3»	«4»	«5»	Качественная успеваемость, %
Основной поток, 2024/2025	170	16	5	73	76	87,6
Самозапись, 2024/2025	24	4	–	3	17	83,3
Самозапись, 2025/2026	73	18	–	6	49	75,3

Эксперимент не завершён: итоговые показатели основного потока 2025/2026 учебного года (150 чел.) ещё не получены, а группы самозаписи невелики и подвержены самоотбору. Поэтому значения носят предварительный, описательный характер. Дальнейшая работа предполагает расширение выборки.

Встраивание монтажной практики по СКС в структуру специалитета по информационной безопасности обеспечивает интеграцию дисциплин и переводит знание из формального в операциональное. Высокая качественная успеваемость и снижение отсева со следующего курса на 7 % подтверждают перспективность подхода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Уймин, А. Г.** Критериально-диагностический инструментарий оценки уровня сформированности компетенций в среде цифрового двойника / А. Г. Уймин, И. М. Морозов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2026. – Т. 22, № 1. – С. 194–202.

2. **Дегтярёв, С. С.** Оптимизация процесса разработки оценочных материалов для государственной итоговой аттестации обучающихся СПО по специальности 09.02.06 «Сетевое и системное администрирование» в форме демонстрационного экзамена / С. С. Дегтярёв, О. А. Терентьева, А. Г. Уймин // Russian Journal of Education and Psychology. – 2025. – Т. 16, № 3. – С. 211–236.

УДК 004.773

АНАЛИЗ СИСТЕМ ФИЛЬТРАЦИИ И БЛОКИРОВКИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

М. А. БЫЛКОВ, Е. Е. ИСТРАТОВА
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, Россия

Подключение к сети Интернет стало неотъемлемой частью современного образования, но, наряду с полезными материалами, пользователи могут столкнуться с нежелательным либо потенциально опасным содержанием. В связи с этим в образовательных организациях используются системы фильтрации контента, которые регулируют доступ к определённым веб-сайтам, группам ресурсов и сетевым службам [1]. Кроме того, ограниченная пропускная способность каналов связи в учебных заведениях делает критически важным контроль за целевым использованием трафика. Несанкционированная активность, такая как просмотр развлекательного видео или использование соцсетей, негативно сказывается на качестве обучения. В связи с этим поиск эффективных инструментов для управления сетевым трафиком и блокировки нежелательных ресурсов является приоритетной задачей для образовательных организаций [2].

Цель работы заключалась в проведении сравнительного анализа распространенных систем фильтрации сетевого трафика для выявления особенностей их применения в образовательной сети.

Согласно литературным источникам, современная система фильтрации сетевого трафика в образовательном учреждении должна решать не только задачу блокировки отдельных адресов, но и осуществлять функции поддержки «черных» и «белых» списков, блокировки вредоносных ресурсов, безопасного поиска и журналирования истории запросов [3]. Реализовать эти функции можно на уровне DNS-запросов либо на интернет-шлюзе с использованием специализированного межсетевого экрана, причем от выбранного способа зависят точность и сложность настройки и требования к оборудованию.

В настоящее время наиболее распространенными программными продуктами для фильтрации и блокировки сетевого трафика являются SkyDNS, UserGate NGFW, Ideco NGFW.

SkyDNS представляет собой облачную систему DNS-фильтрации. Запрос к доменному имени направляется на сервер сервиса, где адрес проверяется по категориям и заданным правилам. Администратор может использовать разрешающие и запрещающие списки и отдельные профили доступа. Такой подход сравнительно просто внедрить на центральном маршрутизаторе или DNS-сервере. Его ограничение связано с тем, что решение в основном принимается по доменному имени без анализа полного URL и содержимого страницы.

UserGate NGFW выполняет фильтрацию непосредственно на сетевом шлюзе. В правилах могут учитываться пользователь, IP-адрес, URL, категория сайта, тип содержимого, время обращения и заданные слова или выражения. Система работает с HTTP и HTTPS, а при необходимости может анализировать расшифрованный защищенный трафик, что позволяет задавать разные политики для учебных аудиторий, преподавателей и других групп, но требует более внимательной настройки правил и контроля журналов.

Ideco NGFW также относится к комплексным сетевым шлюзам. Его контент-фильтр проверяет ресурс по встроенным и пользовательским категориям, после чего применяет разрешающее или запрещающее действие. Для HTTPS без расшифровки доступна фильтрация по домену, а для анализа полного адреса страницы требуется расшифровка трафика. Журнал веб-трафика помогает определить, какое правило сработало, что удобно при разборе ошибочных блокировок.

Таким образом, в результате исследования было установлено, что DNS-фильтрация удобна для быстрого введения единых ограничений на большом числе компьютеров, тогда как решения класса NGFW обеспечивают более детальный контроль и разграничение правил доступа пользователей. При этом полностью полагаться только на автоматическую блокировку нельзя, т. к. базы категорий и состав интернет-ресурсов постоянно меняются. В связи с этим необходимо предусмотреть вариант, при котором настройка, проверка и корректировка доступа ко всем ресурсам образовательного учреждения осуществляются на регулярной основе. Также при выборе системы фильтрации и блокировки сетевого трафика следует учитывать размер сети, количество пользователей и квалификацию администратора. Для небольшой сети может быть достаточно централизованной DNS-фильтрации, а для крупного учебного заведения целесообразно использовать шлюз с категоризацией ресурсов, журналированием и раздельными политиками доступа. Наиболее надежный результат в этом случае обеспечит сочетание технической фильтрации с организационным контролем использования сети Интернет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бахтеев, Д. В.** Преодоление нелегальной трансграничной передачи персональных данных / Д. В. Бахтеев, А. М. Сосновикова, Е. В. Казенас // Journal of Digital Technologies and Law. – 2024. – № 4. – С. 943–971.

2. **Монгуш, М. К.** Организация безопасного доступа к сети Интернет в образовательных учреждениях / М. К. Монгуш, П. М. Тапышпан // Вестник Тувинского государственного университета. Педагогические науки. – 2016. – № 4. – С. 137–145.

3. **Емельянов, Д. Д.** Фильтрация сетевого контента в образовательных учреждениях / Д. Д. Емельянов // Педагогическое образование в России. – 2018. – № 8. – С. 75–82.

УДК 37.012.3

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

М. В. ВОРОНОВ
Московский государственный психолого-педагогический университет
Москва, Россия

Подготовка инженера ориентирована на обеспечение его готовности исполнять ряд конкретных профессиональных функций, реализация каждой из которых требует овладения им определенной совокупностью знаний. От ответа на вопрос о том, какими конкретно знаниями должен овладеть выпускник, существенно зависит эффективность организации и осуществления учебного процесса.

В настоящее время практически все выработанные знания в тех или иных объемах и формах представления сосредоточены и доступны в массивах учебных и научных текстов. Каждый из них содержит определенную совокупность предметно-ориентированных частей (фрагментов) знаний, которые представлены с различной полнотой, имеют свою структуру и стиль изложения. Можно утверждать, что для каждого конкретного направления подготовки существует, по крайней мере потенциально, возможность подобрать достаточный набор учебных и научных текстов.

Содержание и организация учебного процесса регламентированы целым рядом документов. В этих документах представлена и структура подлежащих освоению знаний (их содержание и взаимосвязи). Однако практически все ее составляющие представлены, как правило, в вербальной форме и описывают столь сложные фрагменты знаний, что допускает различное их трактование. Отсюда многочисленные трудности, стоящие на пути повышения эффективности управления учебным процессом, в том числе и бесконечность споров о том, какие и в каком объеме знания изучать. Возникает вопрос: можно ли повысить уровень обоснованности процессов организации и осуществления учебного процесса? Положительный ответ пытаются давать многие исследователи, предлагая идти в направлении ввода оперативных единиц памяти и оперировать ими как квантами знаний [1–3]. Полезность этого подхода при решении задач педагогического и психологического характера очевидна и широко реализуется. Однако для решения вопросов организации учебного процесса уровень такого рода квантификации недостаточен.

Исследования показывают, что декомпозицию фрагментов учебных знаний при сохранении их содержания нужно проводить вплоть до так называемых исходных (априорных) понятий, ибо только в таком случае могут быть обеспечены максимальная чёткость, единообразие интерпретации фрагментов знаний и, как следствие, возможность построения в достаточной мере адекватных моделей учебного процесса.

Встает задача разработки метода такой декомпозиции. На пути ее исследования целесообразно принять во внимание следующие факты. Знания по

своей сути имеют так называемую цепочную структуру: каждый данный фрагмент знаний, кроме исходных, представляет собой упорядоченную структуру иных фрагментов знаний, каждый из которых, в свою очередь, как правило, также может быть представлен в виде структуры иной совокупности фрагментов и т. д. Казалось бы, каждый фрагмент знаний может быть формализован в виде соответствующего ориентированного графа. Однако вследствие лингвистических особенностей вербальных текстов общего вида алгоритмизация этой процедуры весьма проблематична.

Вместе с тем учебные знания в области инженерных наук в известной мере относятся к регулятивным текстам. В этой связи построение графа, отражающего содержание исходного учебного текста, вершины которого соответствуют квантам знаний, практически возможно [4].

Учебный текст в основном представляет собой упорядоченную последовательность предложений, в каждом из которых вводится новый квант (кванты) знаний: дается определение вводимой сущности либо описывается ее свойство или результат конкретного действия, приводящего к тому, что некоторые объекты изменяют свое состояние. Структурно каждое такое предложение можно представить в виде тройки множеств (X, D, Y), где X – множество сущностей, которые в результате действия D формируют множество иных сущностей Y. Каждой такого рода тройке ставится в соответствие ориентированный граф, вершины которого (элементы X, D, Y) есть кванты знаний. Поскольку учебные знания представляют собой содержательные знаниевые цепочки, по мере формализации все новых и новых предложений формируется единая формальная модель, отображающая содержание рассматриваемого текста.

Такого рода преобразования весьма трудоемки, однако построение формальной модели учебного текста стало практически осуществимо после того, как был разработан машинный метод формализации так называемых регулятивных текстов [5]. Наличие же такого рода формальных моделей учебных и научных текстов данной предметной области обеспечивает возможность существенного повышения эффективности процессов организации и осуществления учебного процесса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Соболев, В. Е.** Квант знания и информация как гносеологическая проблема / В. Е. Соболев // Философская мысль. – 2016. – № 6. – С. 19–27.

2. **Юсупова, Л. Г.** Концепт как квант структурированного знания / Л. Г. Юсупова, С. А. Песина // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. – 2014. – № 15. – С. 155–159.

3. **Григорьев, С. И.** Основы современной социологии : учеб. пособие / С. И. Григорьев, Ю. Е. Растов. – Барнаул : Алтайский ун-т, 2001. – 249 с.

4. **Воронов, М. В.** Формализация регулятивных текстов / М. В. Воронов, В. И. Пименов // Информатика и автоматизация. – 2021. – № 3. – С. 562–590.

5. **Воронов, М. В.** Конструктивный метод формализации текстов-инструкций / М. В. Воронов, Е. И. Пичугина // Моделирование и анализ данных. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 63–77.

УДК 37.011.151

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ

В. И. ГЛАДКОВСКИЙ, Т. Л. КУШНЕР
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

Современная ситуация в инженерном образовании характеризуется предъявлением повышенных требований к качеству подготовки специалистов, способных решать сложные инженерные задачи в условиях высокой конкуренции и быстро меняющихся технологий [1]. В этом контексте важной задачей становится разработка и внедрение инновационных методов оценки компетенций студентов технических вузов, позволяющих объективно измерять уровень сформированности профессиональных и межличностных навыков, а также прогнозировать успешность их дальнейшей профессиональной карьеры.

Традиционные подходы, основанные на тестах и экзаменах, уже давно не соответствуют требованиям современной практики оценки. Эти методы зачастую не отражают полноту и сложность профессиональных компетенций, особенно практического характера, и часто подвержены субъективизму. В связи с этим в отечественной и зарубежной практике наблюдается смещение в сторону многоаспектных, комплексных механизмов оценки, включающих портфолио, проектную деятельность, ролевые игры, профессиограммы, рейтинговые технологии [2] и др.

Такой подход способствует более объективной оценке не только знаний, но и умения применять их на практике, взаимодействовать в команде и принимать управленческие решения. Несмотря на активное внедрение инновационных методов оценки, существует ряд нерешенных проблем. Первая проблема – непрозрачность и субъективность процесса оценки. Традиционные методы оценки зачастую не позволяют полноценно охватить компетентностные характеристики и зависят от субъективного мнения преподавателя, что снижает надежность оценивания. Вторая проблема – отсутствие единых стандартов и подходов, используемых в разных вузах, что усложняет сравнение результатов и недопустимо для формирования конкурентоспособных специалистов во всем регионе. Третья проблема – недостаточная гибкость традиционных систем оценки, которые не учитывают динамику профессионального роста студентов, их самостоятельность и адаптивность в условиях быстро меняющейся среды [3].

Для повышения объективности и эффективности оценки компетенций студентов предлагается интегрировать современные цифровые технологии и автоматизированные платформы. В частности, системы электронного портфолио, сопровождающиеся автоматической аналитикой, позволяют фиксировать прогресс и формировать динамический портрет компетентности каждого

студента. Такой подход способствует постоянному мониторингу профессионального развития и своевременному корректирующему воздействию.

Дополнительным направлением является внедрение методов оценки на основе моделей компетентностного портрета, предполагающих характеристику профессиональных, коммуникативных, управленческих и личностных качеств. Такой целостный подход обеспечивает формирование индивидуальных программ развития и мониторинга компетенций с учетом специфики инженерной деятельности.

Еще одной перспективной областью является использование многосторонних методов оценки. В их рамках применяется комплексный анализ результатов проектных заданий, групповой деятельности, отзывов наставников, коллег и участников саморефлексии. Такой комплексный подход способствует повышению достоверности и прозрачности оценки, а также формированию у студентов устойчивой мотивации к развитию профессиональных качеств.

Подводя итоги, можно заключить, что развитие методов оценки компетенций является необходимым условием повышения качества инженерного образования [3]. Сегодня востребованы интеграционные подходы, сочетающие цифровые технологии, системы многоуровневой обратной связи и комплексный анализ профессиональных характеристик. В условиях современного рынка труда создание стандартизированных, прозрачных и автоматизированных систем оценки способствует не только объективной фиксации уровня компетентности, но и стимулирует непрерывное его развитие, что является залогом подготовки конкурентоспособных специалистов, готовых к вызовам XXI в. [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федоров, М. В.** Результаты исследования по выявлению сформированности профессиональных межличностных коммуникативных компетенций у студентов / М. В. Федоров // Современные наукоемкие технологии. – 2025. – № 11. – С. 288–294.

2. **Гладковский, В. И.** Рейтинговые технологии в управлении системами педагогического процесса в высшей школе / В. И. Гладковский // Адукацыя і выхаванне. – 2000. – № 5. – С. 13–18.

3. Обеспечение качества подготовки специалистов в техническом вузе с помощью модульно-рейтинговой системы обучения и контроля / Т. Л. Кушнер, Н. Н. Ворсин, В. И. Гладковский, А. И. Пинчук // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития : материалы X Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 26 нояб. 2020 г. – Мн. : БГУИР, 2020. – С. 119–122.

4. **Гладковский, В. И.** Современные вызовы и стратегии повышения эффективности обучения физике / В. И. Гладковский // Актуальные проблемы теории и практики обучения физико-математическим и техническим дисциплинам в современном образовательном пространстве : сб. избранных ст. X Междунар. науч.-практ. конф., Курск, 3–4 апр. 2026 г. – Курск : Курский гос. ун-т, 2026. – С. 142–147.

УДК 658.3

КАДРОВЫЕ РИСКИ АВТОСЕРВИСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОСТИ

Э. П. ГОЛОВАЧ, С. В. МОНТИК, Н. С. МОНТИК, А. П. ГОЛОВАЧ
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

Развитие электромобильности сопровождается изменением конструкции автомобилей и технологий их технического обслуживания. Переход от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) к электромобилям изменяет состав обслуживаемых систем, содержание диагностических и сервисных операций, применяемое оборудование и программное обеспечение [1]. Для автосервисных предприятий эти изменения имеют кадровое значение, поскольку трансформируют содержание профессиональной деятельности и требования к квалификации работников.

В современных исследованиях к значимым кадровым рискам относят дефицит высококвалифицированных специалистов, устаревание знаний и несоответствие уровня подготовки работников требованиям работодателей [2]. Применительно к автосервисным предприятиям проблема кадровых рисков приобретает особое значение вследствие трансформации технического обслуживания автомобилей.

Цель исследования – выявить изменения требований к квалификации работников автосервисных предприятий при переходе от автомобилей с ДВС к электромобилям и определить связанные с ними кадровые риски. Методами исследования послужили анализ и обобщение научной литературы, сравнительный и системный анализ.

Проведённый анализ позволяет классифицировать изменения технического обслуживания в условиях развития электромобильности по трём направлениям: исключение части операций, связанных с ДВС; сохранение обслуживания общих систем автомобиля; появление специфических для электромобилей операций. Последние связаны с тяговой аккумуляторной батареей, электрическим приводом, силовой электроникой и высоковольтными системами [1]. Возрастает также значение электронной диагностики и программного обеспечения.

Изменение состава сервисных операций обусловливает появление новых требований к квалификации персонала автосервисного предприятия, повышая значение электротехнических, электронных, цифровых и диагностических знаний и навыков. Их недостаточность может обусловливать несоответствие квалификации работников изменившимся требованиям, а возрастание потребности в специалистах соответствующего профиля – риск их дефицита. Систематизация изменений требований к персоналу и связанных с ними кадровых рисков представлена в табл. 1.

Табл. 1. Трансформация технического обслуживания и кадровые риски автосервисных предприятий

Изменение технического обслуживания	Изменение требований к персоналу	Кадровый риск
Сохранение обслуживания общих систем при одновременном появлении новых видов работ	Необходимость сочетания традиционных и новых знаний и навыков	Риск недостаточной квалификации работников
Обслуживание систем электромобиля и расширение электронной диагностики	Потребность в специалистах, обладающих электротехническими, электронными, цифровыми и диагностическими знаниями и навыками	Риск дефицита специалистов требуемого профиля

Представленная систематизация позволяет обобщить механизм формирования рассматриваемых кадровых рисков в следующей последовательности: переход к электромобилям → изменение содержания технического обслуживания → изменение требований к персоналу → необходимость освоения новых знаний и навыков и привлечения специалистов соответствующего профиля → риск недостаточной квалификации работников и риск дефицита специалистов требуемого профиля.

Управление выявленными рисками предполагает сопоставление требуемой и фактической квалификации работников и оценку обеспеченности предприятия специалистами требуемого профиля, а также применение таких мер, как повышение квалификации и переподготовка работников, подбор специалистов требуемого профиля и распределение работ с учётом их квалификации.

Проведённое исследование показало, что переход к электромобилям становится фактором кадровых рисков автосервисных предприятий вследствие изменения требований к персоналу. В рассматриваемом контексте авторами выделены риск недостаточной квалификации работников и риск дефицита специалистов требуемого профиля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. How will vehicle automation and electrification affect the automotive maintenance, repair sector? / M. Grosso, I. C. Raileanu, J. Krause [et al.] // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. – 2021. – Vol. 12. – Art. 100495.

2. **Батоврина, Е. В.** Кадровые риски в управлении персоналом российских инновационных организаций / Е. В. Батоврина // Теория и практика общественного развития. – 2025. – № 11. – С. 42–53.

УДК 372.862

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ИНЖЕНЕРА-ПЕДАГОГА ПРОФИЛИЗАЦИИ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

А. Л. ГОЛОЗУБОВ, К. И. ХОМИЧ
Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина
Мозырь, Беларусь

Одной из основных специальных дисциплин при подготовке инженера-педагога по специальности 6-05-0719-01 «Инженерно-педагогическая деятельность» профилизации «Строительство» является «Металлические конструкции». В процессе изучения данной дисциплины должны быть сформированы основные компетенции инженера-педагога согласно образовательному стандарту высшего образования (ОСВО 6-05-0719-01–2023).

Учитывая тесную связь между отдельными темами дисциплин «Производственное обучение. Модуль «сварщик ручной сварки» и «Металлические конструкции» – сварные соединения и технология сварки, сварочные напряжения и деформации, а также специфику курсового проектирования на тему «Стальной каркас производственного здания», нам представляется логичным и обоснованным изучение отдельных вопросов с учётом их взаимосвязи и дальнейшего использования при изучении специальной дисциплины [1]. Для этого предлагается проводить изучение элементов конструкции и сварку швов в различных пространственных положениях на примерах конструкций узлов металлических ферм [2].

Наиболее информативным методом, с нашей точки зрения, является составление технологических карт на сборку-сварку узлов ферм, которые в дальнейшем могут быть использованы при проектировании стальных стропильных ферм в рамках выполнения курсового проекта по металлическим конструкциям. Это позволит студентам получить следующие навыки: понимание принципов конструирования узлов ферм; ознакомление с технической терминологией в данной области; усвоение порядка следования технологических операций; понимание принципов сборки и сварки узлов ферм в сварочных приспособлениях; знание методов борьбы со сварочными деформациями и основ контроля качества сварных соединений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ильин, М. В.** Педагогика профессионального образования / М. В. Ильин ; авт.-сост. Ю. И. Кричевский ; науч. ред. А. Х. Шкляр. – 2-е изд. – Мн. : РИПО, 2006. – 374 с.

2. Металлические конструкции : учебник : в 3 т. / под ред. В. В. Горева. – М. : Высш. шк., 1997. – Т. 1. – 527 с. : ил.

УДК 378.62

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИНЖЕНЕРНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

М. Л. ГОЛУШКОВ, О. В. ГОЛУШКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Будущий инженер должен видеть направление развития инженерной науки и уметь своевременно приспособиться к будущим вызовам, чтобы впоследствии повести за собой, способствуя развитию промышленности и индустрии.

Инженерная деятельность развивается при систематическом использовании научных знаний в производственной деятельности. Сегодня в инженерной деятельности наблюдается кризис из-за нетрадиционного проектирования и технологий, негативно изменяющейся научно-технической картины мира и постоянно снижающейся демографии, непопулярности инженерных профессий. Чтобы абитуриенты выбирали инженерное образование, необходимо развивать человеческий потенциал на всех уровнях при полной поддержке государства, начиная со средней школы.

С обучающимися – будущими инженерами – также есть ряд проблем: полученный уровень знаний не всегда удовлетворяет запросы промышленных производств, выпускники обладают низким уровнем мотивации по полученной технической профессии. Чтобы избежать негативного опыта при окончании вуза, в процессе обучения вводятся совместные образовательные программы и занятия проводятся на базе филиалов кафедр с использованием материально-технической базы предприятия, проводится летняя производственная практика с назначением куратора от производства, студентам представляется возможность работать, получать заработную плату и знакомиться с первым рабочим местом.

Для сокращения наметившихся проблем в процессе теоретического обучения развивается электронный университет, реализуются индивидуальные траектории обучения, осуществляется экспорт образовательных услуг и проводится конкурс стартапов с целью создания комплекса малых наукоемких производств на базе университета, реализуются совместные программы с компаниями-разработчиками ПО. Для обеспечения высокопроизводительным ПО в области автоматизации производства, для проведения занятий с высоким качеством применяется виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальность, развиваются цифровые двойники – виртуальные копии реальных систем для моделирования их работы. Для развития концепции «Индустрия 4.0» необходимо дать компетенции о работе с данными, понимании принципов искусственного интеллекта (ИИ), интернета вещей (IoT), больших данных (Big Data), облачных вычислений и аддитивных технологий (3D-печать).

Образование должно учитывать современные запросы и тренды от индустрии и промышленности, а молодые инженеры должны обладать компетенциями согласно последним достижениям научно-технического прогресса и инновациям в науке, технике и промышленности для перехода к следующему технологическому укладу и развитию концепции «Индустрия 5.0».

УДК 378.147:53:004.8

ОТ ПОЛУЧЕНИЯ ОТВЕТА К ИНЖЕНЕРНОМУ ДОКАЗАТЕЛЬСТВУ: ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ В ЭПОХУ ГЕНЕРАТИВНОГО ИИ

А. М. ДАВЫДОВ
Российский университет транспорта
Москва, Россия

Генеративные модели изменили дидактическую ситуацию в инженерном образовании: внешне корректное решение больше не является надежным свидетельством понимания. Большая языковая модель (LLM) способна воспроизвести формулу, пояснение и код, но не несет ответственности за допущения, физический смысл и последствия ошибки. Цель работы – обосновать модель практического занятия по физике, в которой результатом становится не ответ, а проверяемое инженерное доказательство.

Методологическую основу составляют предлагаемая автором концепция физико-математического ядра инженерной подготовки 4.0 и архитектура «модель – данные – вычисление». Нормативной основой является образовательный стандарт специализированного высшего образования, разработанный РУТ (МИИТ), в соответствии с которым у обучающихся должны быть сформированы универсальные компетенции: «Способен осмысленно подходить к решению задач, выявлять проблемы, ставить цели, вырабатывать стратегию действий» [1]. LLM используется как тьютор, ассистент и критик, но не как источник окончательной истины.

Практикум организуется по циклу «исходное решение – работа с ИИ – проверка – рефлексия». Сначала студент без ИИ формулирует модель, фиксирует допущения, выбирает метод и оценивает порядок результата. Затем LLM привлекается для поиска альтернативы, подготовки чернового кода или критики рассуждения. Обязательная верификация включает размерностный анализ, предельные случаи, независимую оценку, сопоставление с данными, анализ чувствительности и неопределенности. Итогом становятся пакет доказательств и краткая устная защита.

В 90-минутном занятии сочетаются концептуальная диагностика, индивидуальная попытка, групповая работа и выборочная защита. В тройке меняются роли «моделист – вычислитель – верификатор». Вариативные данные и ограничения вводятся в задачи по механике, колебаниям, термодинамике, электрическим цепям и оптике. Формат опирается на доказательную базу активного обучения [2] и снижает ценность копирования готового ответа.

Инженерное доказательство включает постановку задачи, критерий приемлемости, модель и допущения, расчет или код, происхождение данных, проверки, оценку погрешности, границы применимости, интерпретацию и декларацию использования ИИ. Готовый ответ без трассировки не является основанием для высокой оценки. Академическая честность понимается как

прозрачность применения инструмента и ответственность студента за вывод. Это согласуется с принципами защиты прав человека, безопасности, прозрачности и разграничения ответственности, закрепленными в Национальной стратегии развития ИИ [3].

Педагогические измерения строятся по уровням обновленной таксономии Блума. Запоминание и понимание диагностируются концептуальными вопросами; применение и анализ – самостоятельной вариативной задачей и аудитом ответа LLM; оценка – выбором проверок, выявлением ошибок и сравнением моделей; создание – разработкой способа решения, вычислительного эксперимента или схемы измерений. Раздельно фиксируются индивидуальный базовый уровень до обращения к ИИ и приращение, полученное в коллаборации.

Эффективность предлагается оценивать в дизайне «до – после» с сопоставимой группой и отсроченным заданием на перенос. Показатели: прирост концептуального понимания; успешность измененной инженерной задачи; доля найденных ошибок в ответе LLM; полнота верификации; качество устной аргументации; корректность раскрытия ИИ. Аналитическая рубрика охватывает модель и допущения, физико-математическое рассуждение, проверку и неопределенность, интерпретацию и ответственность. Надежность поддерживается двойной проверкой части работ и калибровкой оценщиков.

Предлагаемая модель сохраняет тренировочные задачи для освоения процедур, но итоговое оценивание переносит на действия, которые нельзя делегировать без потери инженерного смысла. LLM педагогически оправдана, когда расширяет поиск и обратную связь, а студент сохраняет авторство модели, выполняет проверку и отвечает за результат. Практикум становится средой формирования инженерного мышления, культуры доказательства и ответственного взаимодействия с ИИ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)). Образовательный стандарт специализированного высшего образования : утв. решением ученого совета от 29 апр. 2026 г. № 11 : введ. в действие приказом РУТ (МИИТ) от 06.05.2026 № 398/а. – М. : РУТ (МИИТ), 2026. – 10 с. – URL: https://www.miit.ru/content/%D0%9E%D0%A1%20% D0%A1%D0%BF%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5%20%D0%B2%D1%8B%D1%81%D1%88%D0%B5%D0%B5%20%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5.pdf?id_wm=1048932 (дата обращения: 21.06.2026).

2. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics / S. Freeman, S. L. Eddy, M. McDonough [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 111, № 23. – P. 8410–8415.

3. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации : Указ Президента Рос. Федерации от 10 окт. 2019 г. № 490 : в ред. от 15 февр. 2024 г. – URL: https://publication.pravo.gov.ru/document/0001201910110003 (дата обращения: 21.06.2026).

УДК 378.147.88

ИНСТРУМЕНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ У СТУДЕНТОВ

А. Д. ДОМОЖИРОВА
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутск, Россия

Культура безопасности – важнейшая часть компетенций, которыми должен обладать специалист в сфере управления процессами перевозок на железнодорожном транспорте. Она формируется у будущих специалистов, в том числе в рамках лабораторных работ. На таких занятиях студенты учатся выполнять действия по приготовлению поездных маршрутов, производству маневровой работы, организации работы станции в условиях возникновения неисправностей станционных технических средств. Прежде чем обучающиеся будут реализовывать изученные алгоритмы действий, они их записывают и обсуждают. В рамках таких разборов можно применять следующие существующие психологические модели для оценки человеческого фактора: таксономия ошибок Рауза и Свенсена; модель «Швейцарский сыр» Дж. Ризона; модель SHELL и др.

Модель SHELL позволяет изучить характер и риски при взаимодействии человека с элементами, с которыми он осуществляет производство. Рассмотрим использование данной модели при изучении работы дежурного по станции. На рис. 1 представлена схема с элементами, окружающими дежурного по станции при осуществлении организации работы станции.



Рис. 1. Модель SHELL применительно к должности дежурного по станции

Модель «Швейцарский сыр» Ризона позволит будущим специалистам определить «дыры», через которые могут пройти ошибки и вызвать нарушения движения. На рис. 2 приведен пример определения возможных рисков при организации движения поездов по телефонным средствам связи. Так, студенты могут не только изучать последовательность действий: оформление приказа в журнале диспетчерских распоряжений, записи о приеме дежурства в журнале поездных телефонограмм, записи и обмен телефонограммами, заполнение путевых записок [1], но и определять все возможные риски в каждом шаге для их будущего исключения в ходе трудовой деятельности.

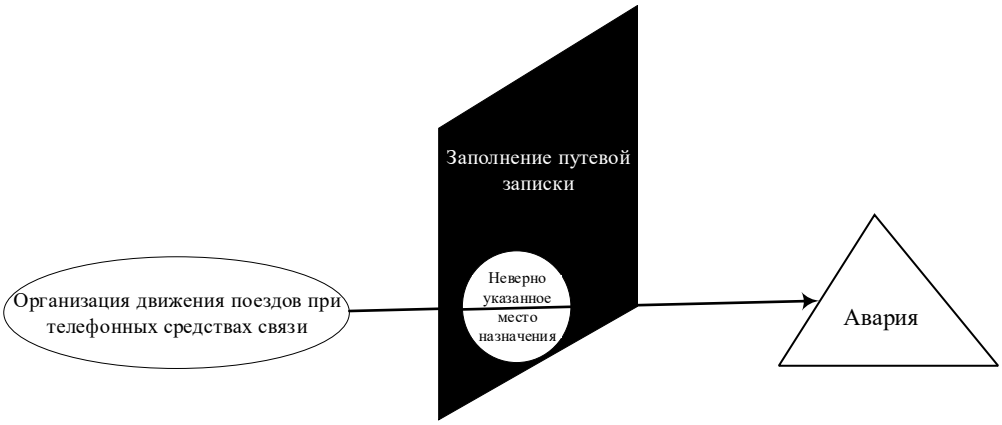


Рис. 2. Модель Дж. Ризона на примере организации движения поездов при переходе на телефонные средства связи

С помощью таксономии ошибок Рауза и Свенсона в ходе лабораторных занятий со студентами можно анализировать реальные примеры нарушений безопасности движения поездов из-за действий человека. Такой разбор включает определение ошибочных действий на следующих этапах: восприятие информации; анализ воспринятой информации; подготовка действий; производство действий. Данный подход позволит определить шаг, на котором произошла ошибка исполнителя.

Все приведенные модели могут использоваться в процессе формирования культуры безопасности у будущих специалистов организации эксплуатационной работы на железнодорожном транспорте. Каждая модель направлена на формирование своих составляющих данной компетенции. При помощи модели SHELL студенты могут лучше осознать роль человеческого фактора при взаимодействии с другими участниками и элементами системы организации движения. Модель Дж. Ризона формирует понимание важности правильного выполнения каждого охранительного действия, будь то регламент или заполнение документации. Применение таксономии ошибок внесет вклад в развитие системного мышление у обучающихся.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Доможирова, А. Д.** К вопросу моделирования проявления человеческого фактора / А. Д. Доможирова, И. А. Чубарова // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2024. – № 11. – С. 206–207.

УДК 001:1

АКТУАЛИЗАЦИЯ ИДЕЙ П. ФЕЙЕРАБЕНДА В ПРЕПОДАВАНИИ КУРСА «ФИЛОСОФИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ НАУКИ»

А. П. ДУБИНИНА, О. В. БИЛЫК
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Отличие современной методологии науки от предыдущих её этапов развития заключается в ориентации на практику и прогнозировании с целью дальнейшего преобразования действительности. Современные философы и методологи науки во главу угла своих исследований ставят гуманистические, антропологические, экологические, экофутурологические, лингво-психологические составляющие. Однако сегодня философия и методология науки ориентируются в большей степени на специфику технического и естественно-научного знания. Иногда гуманитарная (антропологическая) составляющая оказывается на заднем плане. В то же время мы не можем не отметить усиление ценностных и научно-познавательных установок в развитии методологических ориентиров науки в XXI в.

Данная позиция получила развитие в исследованиях австрийско-американского философа и методолога науки, сторонника научного плюрализма К. Фейерабенда. Согласно мнению учёного, наука не должна главенствовать над общечеловеческими ценностями и вытеснять другие формы знания (народная медицина, искусство, мифология). В XXI в. мы видим, насколько прав был П. Фейерабенд, отстаивая различные формы знания и различные методы, прежде всего ориентированные на традиционные духовно-нравственные ценности. Современная нам наука также отстаивает принципы человекосоразмерности и человекоориентированности. Здесь мы можем отметить, что именно П. Фейерабенд явился основоположником человекосоразмерной методологии и оказал большое влияние на становление социальной философии (социального конструктивизма П. Бергера и Т. Лукмана, считавших, что основной идеей методологии является практика выстраивания людьми своей социальной реальности).

Современный этап развития науки и научной методологии как нельзя лучше отражает основные идеи концепции П. Фейерабенда, заключающиеся в методологическом разнообразии. Философ, говоря о науке, делал акцент именно на разнообразие научных методологий и исследовательских практик: «Ученые и философы иногда представляют науку как единое мировоззрение, монолит (или монстра, в зависимости от предпочтений). Это не так. Наука и неполна, и довольно сильно разобщена. Она не говорит единым голосом, поэтому апелляции к абстракции «Наука» неуместны» [1].

Основные идеи П. Фейерабенда о свободе и ответственности в науке становятся чрезвычайно актуальными в первой четверти XXI в. в связи с многочисленными катаклизмами на планете, связанными с деятельностью

человека (нарушение экологического баланса, создание бактериологического и химического оружия, нарушение озонового слоя и т. д.). Также актуализируются идеи исследователя в преподавании курса «Философия и методология науки» в современной высшей школе, особенно идеи П. Фейерабенда о фальсификации и развитии научного знания как пролиферации (существование и приумножение различных научных теорий, конкурирующих между собой). Австрийско-американский философ неоднократно подчёркивал, что именно пролиферация научных теорий, как процесс развития множественных, зачастую конкурирующих между собой различных научных теорий, весьма полезен для развития науки. Рутина и однообразие теорий (особенно имеющих жёсткий методологический каркас) не способствуют прогрессу научных знаний и лишают научную теорию критичности и жизнеспособности. Кроме того, единообразие подвергает опасности свободное развитие индивида: «Плюрализм различных теорий важен не только для методологии – он является существенной частью гуманизма» [2, с. 9]. Концепты австрийско-американского философа, явившиеся основой эпистемологического плюрализма, нашли своё отражение в знаменитом философско-методологическом трактате «Против метода» (1975), где автор отрицает универсальные научные правила в познании и выдвигает единый принцип для всех учёных: «Дозволено все». Дальнейшие рассуждения философа о свободе и плюрализме в науке и мировоззрении отражены в работах «Наука в свободном обществе» (1978) и «Прощай, разум» (1987).

Главнейший постулат П. Фейерабенда состоит в радикальном неприятии методологического принуждения в науке, ибо в науке нет и не может быть единого верного правила и единой методологии. Поэтому различного рода нарушения правил, выход за рамки жёсткой методологии играют важную роль в прогрессе науки: «Такие события и достижения, как изобретение атомизма в античности, коперниканская революция, развитие современного атомизма (кинетическая теория, теория дисперсии, стереохимия, квантовая теория), постепенное построение волновой теории света, оказались возможными лишь потому, что некоторые мыслители либо сознательно решили разорвать путы очевидных методологических правил, либо произвольно нарушали их» [2, с. 153].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фейерабенд, П.** Стэнфордская энциклопедия философии / П. Фейерабенд. – URL: https://plato.stanford.edu/entries/feyerabend// (дата обращения: 13.09.2026).

2. **Фейерабенд, П.** Избранные труды по методологии науки / П. Фейерабенд. – М. : Прогресс, 1986. – 542 с.

УДК 141.319.8

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ АНТРОПОЛОГИЯ М. ШЕЛЕРА КАК СИНТЕЗ ЭКЗИСТЕНЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

З. Р. ЖУКОЦКАЯ, А. П. ДУБИНИНА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Педагогические воззрения немецкого исследователя М. Шелера рассматриваются в контексте его философской антропологии. В основе педагогической антропологии философа лежит идея о воспитании как становлении человека и формировании духовных оснований личности. Педагогическая концепция М. Шелера представляет собой синтез экзистенциальных, аналитико-социологических, культурологических установок. Однако основой педагогики немецкого исследователя является этический фундамент, где нравственная сфера представлена философом как сфера, связывающая человека с Богом, а бытие земное она связывает с бытием вечным. Но только человек у М. Шелера может возвыситься над собой и сделаться предметом познания и себя, и мира. Работы немецкого антрополога в области воспитания личности представляют актуальность в наше время, ибо обучение и воспитание трактуются им в контексте фундаментального факта человеческого бытия.

В исследованиях М. Шелера одно из центральных мест занимает идея об изменении человеческой сущности в течение всего жизненного пути. В этом плане философ рассматривал воспитание как действенный способ преобразования личности, ибо человеческая сущность должна непрерывно изменяться, совершенствоваться. Таким образом, воспитание М. Шелер обозначает как «глобальное становление человека».

Особое значение в процессе воспитания имеет познание, т. к. оно способствует формированию приоритетов человеческого мира. Человек может познавать и самого себя, и окружающую действительность. Образование представлено в исследованиях М. Шелера «как нечто идеальное, завершенное, выступающее, в первую очередь, как индивидуально самобытные форма, образ, ритмика, в границах которых и соразмерно которым происходит вся свободная духовная деятельность человека, направляющая все психофизические, автоматические проявления жизни, все поведение человека» [1]. Образование выступает прежде всего образованием души, которое соответствует индивидуальному развитию личности, а также культуре и системе знаний своего времени. Философ выделяет три основных вида знания: знание образовательное (научное), способствующее формированию личности и её развитию в будущем; знание духовное (божественное), знание о становлении мира и высших основ бытия, достигающееся лишь в человеческом знании; знание практическое,

предназначенное для человеческих целей и намерений, ради господства и достижений: «Чувство самоценности, собственного достоинства, полноты собственного бытия, к которому изначально стремится человек, «заряжает» его на ассимиляцию многообразия ценностей окружающего мира. В здоровом варианте – это чувство естественно, оно позволяет принимать чужие ценности и чужое превосходство без зависти, что делает мир для человека более наполненным и достойным любви» [2]. Так, по мнению М. Шелера, ценности, вызывающие зависть, становятся для человека доступными. Человек оказывается в плену у ценностей, которые становятся предметом оценки. Подлинные же ценности обесцениваются. Такого рода набор ценностей и формирует современный социум, основанный на конкуренции и сравнении. Человек воспитывается в утилитарном и конкурентном пространстве, теряя духовное начало, становясь постепенно одномерным человеком.

Следует отметить, что учение о личности есть важнейшая составная часть всей философской антропологии М. Шелера. Поэтому именно образованию и воспитанию философ придаёт особый смысл, ибо в стремлении к образованию лежит любовь к миру и причастность к миру. Суть образования и воспитания образования тесно связана с гуманистическими идеями, способствующими самораскрытию духовного начала в самом человеке, но сама цель образования не должна быть преднамеренной, полагает исследователь, иначе тогда образование может превратиться в самовлюблённость и потерять всякий смысл. Поэтому только человек может возвыситься над витальными ценностями и обрести в образовании духовные ценности, которые и составляют смысл и основу бытия человека.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борылько, Е. В.** Формы знания и образование: актуальность концепции М. Шелера / Е. В. Борылько. – URL: https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=648243 (дата обращения: 15.09.2026).

2. **Чугунова, И. О.** Ценности нашего века через призму философской антропологии Макса Шелера / И. О. Чугунова. – URL: https://nbpublish.com/library_get_pdf.php?id=30474 (дата обращения: 10.09.2026).

УДК 378.14:004.8

ГЕНЕРАТИВНЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК СОАВТОР ИНЖЕНЕРА: ТРАНСФОРМАЦИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОЙ МОДЕЛИ

Е. А. ЗЮЗИКОВА, Д. С. КОМАРОВА, Ю. А. АТАПИНА
Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К. А. Тимирязева
Москва, Россия

Развитие генеративного искусственного интеллекта (ИИ) меняет подход к решению интеллектуальных задач в инженерии: ИИ помогает анализировать информацию, находить решения, программировать и проектировать, что меняет требования к подготовке специалистов [1]. В то же время инженеры по-прежнему несут ответственность за результаты. Они должны самостоятельно оценивать точность и применимость решений, сгенерированных ИИ. В сфере образования это требует перехода от дискуссий о приемлемости ИИ к формированию культуры его осознанного использования. Исследования российских вузов подчеркивают необходимость развития ИИ-грамотности среди студентов и преподавателей, а также выработки рекомендаций по ответственному использованию генеративных моделей [2].

Проведённый анализ позволяет выделить четыре взаимосвязанных компонента модели компетенций будущих инженеров. Первый компонент – это формализация профессиональной задачи: специалист должен определить исходные данные, ограничения и критерии результата, а также рассмотреть задачу как средство представления инженерной проблемы искусственному интеллекту. Второй компонент – критическая проверка: сгенерированный результат необходимо проверить на наличие фактических, логических и технических ошибок [3]. Третьим компонентом является системное мышление, которое позволяет оценивать решение, предложенное ИИ, с учётом взаимосвязей между компонентами системы и последствий его применения [4]. Четвёртый компонент – ответственное использование ИИ, что включает соблюдение требований к конфиденциальности, защите интеллектуальной собственности и академической добросовестности.

Для развития этих компетенций предлагается цикл взаимодействия студентов с ИИ под руководством преподавателя: формулировка задачи; составление запроса; генерация вариантов; проверка, сравнение, доработка и обоснование решения. Это побуждает студентов не полагаться на готовые ответы, а использовать ИИ в качестве инструмента для профессионального анализа. Данный подход подкрепляется результатами исследований, в которых ИИ рассматривается как участник образовательного взаимодействия и инструмент поддержки принятия решений [5].

Данная модель применима в лабораторных и проектных курсах по информационным технологиям. Студенты выступают в роли экспертов. Они анализируют варианты, сгенерированные ИИ, устанавливают собственные критерии оценки, тестируют варианты и выбирают оптимальное решение с обоснованием. Оценивается не только результат, но и навыки, связанные с управлением взаимодействием с нейронной сетью.

Оценка уровня развития этих компетенций заслуживает особого внимания. Традиционные формы оценки, ориентированные на воспроизведение уже имеющихся знаний, являются недостаточными, поскольку не фиксируют способность студента вести продуктивный диалог с генеративной моделью. Целесообразно перенести акцент на аутентичные процедуры: защиту проектных решений с обоснованием выбранного варианта, рефлексивные отчёты о взаимодействии с ИИ и экспертную оценку результатов, полученных с помощью нейронных сетей. Это позволяет оценить не только конечный продукт, но и инженерный мыслительный процесс – формулирование гипотез, аргументированное отклонение неудачных вариантов и ответственность за принятое решение, а также способствует укреплению академической честности и обеспечению надлежащего цитирования источников при использовании ИИ.

Таким образом, ИИ не снижает ценность инженерных компетенций, а трансформирует их. Ключевые навыки выпускников включают формулировку задач, быстрое проектирование, критический анализ ответов ИИ и принятие окончательных решений. Образовательный процесс требует не запрета ИИ, а его педагогически обоснованной интеграции в содержание и методику подготовки современного специалиста.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Искусственный интеллект в инженерном образовании / Б. А. Лёвин, А. А. Пискунов, В. Ю. Поляков, А. В. Савин // Высшее образование в России. – 2022. – Т. 31, № 7. – С. 79–95.

2. **Ананин, Д. П.** «Когда честно – хорошо, для имитации – плохо»: стратегии использования генеративного искусственного интеллекта в российском вузе / Д. П. Ананин, Р. В. Комаров, И. М. Реморенко // Высшее образование в России. – 2025. – Т. 34, № 2. – С. 31–50.

3. **Никитина, А. С.** ИИ-инструменты и большие языковые модели в образовательной практике / А. С. Никитина // Вестник молодых учёных и специалистов Самарского университета. – 2025. – № 1 (26). – С. 141–148.

4. **Шейнбаум, В. С.** Инженерная деятельность и инженерное мышление в контексте экспансии искусственного интеллекта / В. С. Шейнбаум, В. С. Никольский // Высшее образование в России. – 2024. – Т. 33, № 6. – С. 9–27.

5. **Тарасов, Д. А.** Проблемы интеграции искусственного интеллекта в процесс подготовки педагогов профессионального обучения / Д. А. Тарасов // Инновации в профессиональном и профессионально-педагогическом образовании : материалы 29 Междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 20–21 мая 2024 г. – Екатеринбург : Урал. гос. пед. ун-т, 2024. – С. 300–303.

УДК 378.147:004.946

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ РАЗРАБОТКЕ ПРИКЛАДНЫХ XR-РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ДЕЛОВОЙ ИГРЫ

Д. Ф. КАЗАКОВ
АО «НИКИМТ-Атомстрой»
Москва, Россия

Современное инженерное образование уже не может ограничиваться только изучением «стандартных» инструментов разработки в отрыве от индустриальных задач. Обучающимся важно понимать весь жизненный цикл создания продукта: как определяется задача, кто выступает участниками каждого этапа цикла, как формулируются требования, готовится документация и передаётся итоговый результат. Особенно это заметно в сфере XR-технологий – VR, AR, MR. Сегодня такие решения всё чаще используются в образовании и промышленности как симуляторы, тренажёры и инструменты поддержки принятия решений. При этом в программе обучения работа над подобными продуктами сводится к выполнению типового задания от преподавателя. Обучающийся выполняет заранее заданный набор действий, но не проходит путь, близкий к реальной разработке. Для решения этой проблемы была разработана двухсеместровая модель подготовки студентов в рамках Передовой инженерной школы химического инжиниринга и машиностроения (ПИШ ХИМ) РХТУ им. Д. И. Менделеева, основанная на сочетании проектной деятельности и деловой игры.

Апробация проходила в течение двух семестров со студентами 2 курса. В работе приняли участие 19 обучающихся. Модель была встроена в две дисциплины: «Программные среды и средства разработки XR» и «Разработка и анализ требований к информационной системе». Занятия проводились 1 раз в неделю и длились 3 академических часа. Основной акцент был сделан не столько на освоении конкретного программного инструмента, сколько на развитии проектного мышления: умении видеть задачу целиком, понимать логику прикладной разработки и соотносить учебный проект с реальными производственными процессами.

В первом семестре обучающиеся осваивали базовые инструменты разработки XR-решений: Unity, Blender, Substance Painter, принципы оптимизации и применения больших языковых моделей. Основой стала работа над индивидуальными и командными проектами. Темы проектов выбраны самостоятельно, но каждый проект должен был иметь прикладную значимость для образовательных организаций или индустриальных партнёров. Классический экзамен был заменён питч-сессией, на которой происходила защита проектов в виде завершённых решений перед условным заказчиком. Студенты не просто демонстрировали, что прототип работает, а объясняли, какую задачу он решает, кто может быть его пользователем и в чём заключается практическая польза разработки. В рамках выступления обучающиеся демонстрировали основные механики, интерфейс, визуальную часть и возможные направления развития

проекта. Такой формат оказался полезен как инструмент оценки. Он показывал не только уровень технической реализации, но и способность обучающегося связать свою работу с реальной задачей, обосновать принятые решения и представить результат понятным языком. Среди проектов были интерактивная таблица Менделеева, генератор молекулярных структур, симулятор работы со счётчиком Гейгера, тренажёр по культуре безопасности, виртуальная химическая лаборатория и приложение для изучения принципов работы станка с числовым программным управлением (ЧПУ).

Во втором семестре была организована деловая игра. Проекты первого семестра «переходили» на следующий этап: студенты анализировали их с позиции индустриального заказчика, уточняли задачу и дорабатывали прототипы до уровня минимально жизнеспособного продукта. Если на первом этапе идея могла быть сформулирована достаточно обобщенно, например как «приложение для изучения химии», то теперь от обучающихся требовалась значительная детализация этапов проекта. Они должны были определить, какую задачу он решает, кто является заказчиком, владельцем и пользователем, какие функциональные и нефункциональные требования нужно учесть и по каким метрикам оценивать итоговый результат. Работа выполнялась индивидуально, но с распределением проектных ролей. Работая в парах, обучающиеся поочерёдно выступали заказчиком и подрядчиком друг для друга. Студент-заказчик анализировал идею, определял участников жизненного цикла, разрабатываемого продукта, формулировал проблему и готовил техническое задание, которое согласовывалось со стратегическим заказчиком – преподавателем. Студент-подрядчик на основе утвержденного технического задания разрабатывал рабочую документацию и дорабатывал программный продукт. Завершалась работа оценкой заказчиком результата и подписанием акта приёма-передачи. Дополнительно каждый из обучающихся выполнял роль стороннего аудитора: проверял документацию проекта случайного участника.

Этот этап продемонстрировал разницу между разработкой учебного прототипа и проектной работой, где нужно фиксировать требования, согласовывать ожидания и оценивать готовность результата. Техническое задание, рабочая документация, инструкция пользователя и акт приема-передачи использовались не как формальная отчетность, а как средство управления жизненным циклом проекта. В результате проекты первого семестра были доработаны до уровня минимально жизнеспособных продуктов.

Апробация модели в условиях ПИШ ХИМ показала, что сочетание проектной деятельности, питч-защиты и деловой игры повышает образовательный эффект. Обучающиеся получили опыт в части постановки задачи, анализа запросов потребителя, аргументации требований, работы с документацией, аудита, доработки продукта и оценки его готовности по заданным критериям. Представленная модель может использоваться как инструмент подготовки обучаемых по техническим образовательным направлениям при создании цифровых программных решений для сфер образования и промышленности.

УДК 691.113.0048

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН И КОМПЛЕКСОВ

Н. А. КОВАЛЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время в Республике Беларусь насчитывается более 4,5 млн транспортных средств, находящихся в личном и общественном пользовании. Их эксплуатация требует достаточно большого контингента инженерно-технических работников, имеющих высшее образование в области эксплуатации наземных транспортных и технологических машин и комплексов. В Белорусско-Российском университете (ранее – ММИ и МГТУ) подготовка таких специалистов велась с 1970 г. на кафедре «Автомобили и тракторы», с 1978 г. – на кафедре «Техническая эксплуатация автомобилей», а с 2023 г. – на кафедре «Транспортные и технологические машины». За это время для транспортного комплекса страны было подготовлено более 4 000 инженеров-автомобилистов.

Основными аспектами работы кафедры были создание и внедрение современных учебных планов подготовки специалистов и учебных программ по изучаемым дисциплинам, разработка современного методического обеспечения, создание и совершенствование лабораторной базы кафедры и др.

За период с 1970 г. по 2026 г. подготовка специалистов велась по девяти учебным планам, что вызывалось необходимостью подстроить учебный процесс под современные требования, предъявляемые к выпускникам автотранспортного профиля. В этой связи целесообразно рассмотреть историю изменения учебных планов, чтобы выяснить основные тенденции их развития и на этой основе спрогнозировать дальнейшие пути их совершенствования.

Структурный анализ предыдущих планов показал, что при переходе от плана к плану снижался объем социально-гуманитарных и естественных дисциплин и возрастал объем специальных дисциплин и дисциплин специализации (табл. 1). В настоящее время удельный вес социально-гуманитарных и естественных дисциплин составляет около 32 %, а первоначально – около 50 %. Как видно, соотношение объемов рассматриваемых циклов дисциплин практически стабилизировалось к 2010 г.

Анализ планов показал, что постоянно возрастала практическая направленность подготовки студентов в связи с увеличением удельного веса практических и лабораторных занятий, которые в настоящее время составляют 53 %, а первоначально – 30 % (табл. 2).

Видно, что соотношение объемов лекционных и лабораторно-практических занятий к 2020 г. также стабилизировалось.

Табл. 1. Соотношение объемов учебной нагрузки по блокам социально-гуманитарных и специальных дисциплин

Цикл дисциплин	Год					
	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Удельный вес социально-гуманитарных и естественных дисциплин, %	50	45	40	35	32	32
Удельный вес специальных дисциплин, %	50	55	60	65	68	68

Табл. 2. Процентное соотношение объемов лабораторно-практических и лекционных занятий

Вид занятий	Год					
	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Удельный вес лекционных занятий, %	70	60	57	50	48	47
Удельный вес лабораторно-практических занятий, %	30	40	43	50	52	53

Аналогичная картина характерна и для курсового проектирования. К 2020 г. количество курсовых проектов и работ стало составлять пять-шесть.

Количество учебных и производственных практик оставалось практически неизменным за весь срок подготовки специалистов и в настоящее время включает одну ознакомительную, две производственные и одну преддипломную практики.

На основании проведенного анализа можно утверждать, что в ближайшей перспективе больших изменений в структуре учебных планов не предвидится и достигнутые структурные отношения учебных планов останутся практически неизменными.

Однако транспортная отрасль Республики Беларусь интенсивно развивается. В структуре наземного колесного транспорта идет быстрое увеличение численности электромобилей. В области организации, планирования и управления процессами обслуживания и ремонта транспортных средств активно внедряются IT-технологии.

Поэтому при разработке новых учебных планов подготовки специалистов в области эксплуатации наземных транспортных и технологических машин и комплексов следует предусматривать введение новых дисциплин, связанных с устройством и эксплуатацией электромобилей. При изучении дисциплин, связанных с компьютерной техникой и программированием, необходимо вводить разделы, посвященные 1С-программированию, т. к. оно внедрено в целях организации и учета материальных, финансовых и трудовых ресурсов во многих транспортных и автосервисных организациях. При изучении практически всех остальных дисциплин, при курсовом и дипломном проектировании следует использовать возможности искусственного интеллекта.

УДК 330.342.24:339.924(470+476)

РЕЗЕРВЫ УСКОРЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

Н. В. КОЧЕТОВ
ОАО «Приборостроительный завод Оптрон»
Минск, Беларусь

Динамичное развитие мировой экономики показывает не только рост эффективности, но и неравномерность развития отдельных стран и регионов. Ещё недавно страны Запада были неоспоримыми лидерами экономического развития, однако сегодня инициативу перехватил Восток (Япония, «Восточные тигры»). Особый интерес вызывает опыт Китая.

Внимательно изучив отечественный опыт перехода к рыночным отношениям, китайские руководители разработали свою эффективную модель развития страны. Специфика модели заключается в том, что при сохранении централизованного управления страной (на основе ленинских принципов построения нового государства социальной справедливости) были запущены рыночные реформы, придавшие ускорение экономическому развитию Китайской Народной Республики.

В это же время динамика капиталистического производства Запада стала угасать из-за проявившихся диспропорций: реальное производство приходит к насыщению и снижению темпов, а инвестиции (ресурсы) направляются в спекулятивный сектор (не просто сфера услуг, а раздувание финансового сектора). В процесс вовлечены государственные и мировые институты (Центробанк ЕС, Федеральная резервная система и др.). Элита Запада «делает деньги», что негативно сказывается на реальном секторе производства, благосостоянии народонаселения из-за инфляции.

Рассматривая исторический аспект развития мировой экономики с системных позиций [1], можно видеть, что периоды экономического роста отдельных государств тесно связаны с *эволюцией социально-экономических отношений*. Каждый новый этап эволюции *дополнительно раскрывает творческие способности людей* (предпринимателей), что обеспечивает рост.

Развивается наука, появляются прорывные изобретения, которые при внедрении (благодаря предпринимателям) ускоряют развитие экономики. В свою очередь, новая техника и технологии предполагают новую организацию производства и развития социально-экономических отношений. Наблюдается синергетический процесс [2], в котором основная организующая роль отводится предпринимателям.

Образно выражаясь, можно сравнить процесс поиска и подготовки предпринимателей с процессом получения бриллианта из природного алмаза. В [3] показаны подходы к формированию корпуса способных предпринимателей в *университетском бизнес-инкубаторе*.

Есть ещё несколько обстоятельств, которые требуют проработки.

Первое, банки располагают денежными ресурсами, но не всегда есть пакет эффективных проектов для финансирования. *Предлагается* государственным органам (центральным и местным) иметь пакет социально важных проектов, который может быть выставлен потенциальным предпринимателям через университетский бизнес-инкубатор. Творческая молодёжь может отыскать проект, который в будущем может стать делом последующей жизни (*добровольный выбор с взятием определённых социальных обязательств*). Социально важные проекты далеко не всегда являются высокодоходными, но государство может взять на себя *дополнительное страхование* такого бизнеса. Здесь можно учесть, какую долю финансирования может взять на себя государство. При этом может быть объявлен тендер среди банков и лизинговых компаний. Практика поможет отрегулировать этот гибкий процесс до оптимального.

Второе, предприниматели работают за свой интерес в условиях высокого риска. Предлагается «сгладить углы». Если проект социально важный из предложенного пакета, предприниматель должен иметь определённые дополнительные механизмы защиты на случай негативных обстоятельств, возникших в процессе реализации. Важна хорошая правовая проработка вопроса такого государственного страхования бизнеса.

Реализация предлагаемых мер позволит глубже интегрировать государственные социально значимые проекты и государственный протекционизм предпринимательской деятельности, существенно снижая риски её ведения. В результате бизнес становится более социальным и, как следствие, ожидается дополнительное ускорение экономического роста Союзного государства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кочетов, Н. В.** Проблемы изучения мира через макросистемы: история, классификация и некоторые тенденции их развития / Н. В. Кочетов // Экономический бюллетень Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь. – 2026. – № 7. – С. 58–63.

2. **Кочетов, Н. В.** Многостороннее международное сотрудничество – лучший способ внедрять инновации, используя опыт знаменитых университетов / Н. В. Кочетов, С. А. Радченко // Экономика Беларуси: рост, инновации, безопасность : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21 мая 2026 г. – Мн. : БГЭУ, 2026. – С. 33.

3. **Кочетов, Н. В.** Многостороннее сотрудничество науки, вузов, бизнеса и администрации – путь экономического роста региона / Н. В. Кочетов, О. Л. Миранович, Ю. В. Сырамалот // Передовые технологии и инновации в образовании и науке для улучшения качества жизни и стимулирования устойчивого экономического роста : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летию БГТУ, Минск, 3–5 дек. 2025 г. : в 3 т. – Мн. : БГТУ, 2025. – Т. 1. – С. 14–17.

УДК 37.014.3

ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ В РОССИИ В 2026 ГОДУ: СИСТЕМНЫЕ ВЫЗОВЫ И НОРМАТИВНЫЕ НОВАЦИИ

С. А. КУДИНА
Военная ордена Жукова академия войск национальной гвардии Российской Федерации
Санкт-Петербург, Россия

Система образования России в 2026 г. переживает наиболее масштабную трансформацию за последние два десятилетия: отказ от Болонской системы, переход на новую модель высшего образования, сокращение платных мест в вузах [5], внедрение обязательных модулей по искусственному интеллекту [6], разработка Стратегии развития образования до 2036 года.

Цель работы – систематизировать ключевые вызовы и определить векторы трансформации в контексте задач технологического суверенитета.

Исходной точкой анализа выступает накопленный к 2026 г. разрыв между предложением труда и запросами экономики. По оценкам профильных форумов, 85 % работодателей не удовлетворены практической подготовкой выпускников, а каждый третий выпускник работает не по специальности. Глава Минобрнауки В. Фальков констатировал «избыток людей с высшим образованием» при дефиците квалифицированных специалистов в реальном секторе. Из примерно 4,5 млн студентов около 1,3...1,5 млн обучаются по направлениям экономики, управления и менеджмента, тогда как рынок труда испытывает острый дефицит в технических кадрах. Осознание этих диспропорций определило характер нормативных новаций 2026 г. [3].

В 2026 г. государство сократило около 47 тыс. платных мест в вузах (13 % от их объёма): 30,5 тыс. – заочная форма; 16,5 тыс. – очная. Основной удар пришёлся на «Юриспруденцию» (13,9 тыс., или 17,9 %), «Менеджмент и экономику», «Рекламу и связи с общественностью». Стоимость платного обучения выросла в среднем на 10,7 % [4]. Одновременно приняты федеральные законы от 08.03.2026 № 45-ФЗ [1] и от 20.02.2026 № 34-ФЗ [2]. Государственная политика направлена на структурную перестройку системы подготовки кадров.

С 1 сентября 2026 г. пилотный проект по отказу от Болонской системы расширен до 17 вузов. Новая модель предусматривает базовое высшее образование (4–6 лет) и специализированное (1–2 года). Аспирантура выделена в отдельный вид профессионального образования. Минобрнауки предложило внедрить два обязательных модуля по искусственному интеллекту: базовый (для всех студентов) и профессиональный (с учётом специфики специальности) [6]. Переход планируется завершить в течение трёх лет.

Проведённый анализ позволяет сформулировать следующие выводы. Во-первых, система образования России находится в стадии активной трансформации, обусловленной как внутренними структурными диспропорциями, так и

внешними вызовами технологического суверенитета. Во-вторых, государственная политика 2026 г. характеризуется переходом от экстенсивного роста к интенсивной оптимизации: сокращение платных мест, унификация специальностей, внедрение новых образовательных моделей. В-третьих, демографические прогнозы свидетельствуют о том, что к 2035 г. численность обучающихся снизится: дошкольное образование – на 10 %...11 %; школьное – на 13,9 %; среднее профессиональное – на 10 %; высшее – на 14 %...15 % по сравнению с уровнем 2025 г. [7]. Это требует опережающих управленческих решений. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: оценка эффективности новой модели высшего образования; анализ влияния сокращения платных мест на доступность образования; разработка механизмов закрепления выпускников в приоритетных отраслях экономики; интеграция ИИ в образовательный процесс без потери фундаментальности подготовки.

Система образования России в 2026 г. находится в точке бифуркации. Достигнутые количественные показатели (рост финансирования, расширение пилотного проекта, увеличение бюджетных мест по приоритетным направлениям) создают необходимую базу, однако для превращения количественного роста в качественный результат требуется системная работа по сокращению разрыва между образованием и рынком труда, масштабированию успешных практик и адаптации программ к вызовам нового технологического уклада.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. О внесении изменений в статьи 56 и 82 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» : Федер. закон от 8 марта 2026 г. № 45-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2026. – № 10. – Ст. 1064.

2. О внесении изменений в статьи 29 и 39 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» : Федер. закон от 20 февр. 2026 г. № 34-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2026. – № 8. – Ст. 769.

3. Как меняется экономика высшего образования // Эксперт. – URL: https://expert.ru/obshchestvo/vuzy-schitayut-dengi (дата обращения: 13.09.2026).

4. Как государство регулирует платные места в вузах // Коммерсантъ. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/8689605 (дата обращения: 13.09.2026).

5. Реформа юридического образования: решит ли унификация и сокращение числа платных мест проблемы с кадрами // Pravo.ru. – URL: https://pravo.ru/story/264830 (дата обращения: 13.09.2026).

6. Минобрнауки предложило внедрить в новую модель высшего образования два модуля по ИИ // Интерфакс. – URL: https://www.interfax.ru/russia/1098980 (дата обращения: 13.09.2026).

7. **Шабунова, А. А.** Тренды реформирования российского образования в прогностических оценках демографических показателей / А. А. Шабунова, Е. И. Медведева, С. В. Крошилин // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2026. – Т. 19, № 3. – С. 144–164.

УДК 372.851

ПРИКЛАДНАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ ШКОЛЬНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ

С. Ю. ЛАНИНА
Благовещенский государственный педагогический университет
Благовещенск, Россия

Любая страна, Россия и Беларусь не являются исключением, на современном этапе развития стремится к технологическому суверенитету, для достижения которого необходимо решить такую стратегическую задачу, как подготовка высококвалифицированных инженерных кадров. Однако анализ статей, посвященных этому вопросу, и опыт педагогической работы на первых курсах со студентами инженерных специальностей и направлений подготовки говорит о том, что высшая школа сталкивается со следующей проблемой: первокурсники, часто обладая достаточно высоким уровнем абстрактных математических знаний, не всегда умеют применять эти знания для решения реальных производственных, конструкторских, технологических задач.

Прикладная направленность школьного математического образования подразумевает под собой не просто решение конкретных текстовых задач «на движение» или «работу», а ориентирована на формирование особого стиля мышления, при котором математический аппарат воспринимается учеником как рабочий инструмент инженера, позволяющий моделировать физические процессы, рассчитывать прочность конструкций, а также оптимизировать ресурсы [1].

Оторванность от контекста будущей профессии, достаточно высокий уровень абстракции являются ключевыми проблемами традиционного школьного курса математики, т. к. школьник не понимает и не видит, какой технический, конструкторский объект или физическое явление скрывается за ним [2]. Прикладная направленность школьного математического образования позволит существенно сократить этот разрыв через математическое моделирование [3].

Выделяют три основных этапа математического моделирования: осуществление перевода конкретной инженерной, физической задачи на математический язык; решение полученной математической задачи (уравнения, системы, геометрического расчета) известными методами; обратный перевод полученного математического ответа в практический контекст первоначально поставленной задачи.

Рассмотрим ряд примеров, позволяющих конкретные абстрактные темы из школьных учебников математики (алгебра, геометрия) встроить в контекст инженерной задачи.

1. Производная + стереометрия. «Из листа железа прямоугольной формы с заданными параметрами (длина, ширина) необходимо изготовить открытый бак, вырезав по углам квадраты и загнув края, так, чтобы его объем был максимальным. Определить, каковы должны быть стороны вырезаемых квадратов». Данную задачу можно отнести к промышленному дизайну. Она направлена на то, чтобы достичь максимально полезного объема резервуара (бака) и оптимизировать расход материала.

2. Тригонометрия + стереометрия. «Расчет стропильной системы двускатной крыши здания заданной ширины с учетом снеговой нагрузки». Для решения этой задачи школьникам необходимо будет рассчитать углы наклона стропил, длину деревянных балок так, чтобы минимизировать прогиб под воздействием внешних сил.

3. Физика + стереометрия. «Дана деталь сложной формы (комбинация цилиндра, усеченного конуса и шарового сегмента). Зная плотность материала, из которого она изготовлена, необходимо рассчитать общую массу детали для логистических целей». Предложенная задача позволяет школьникам увидеть в сложных трехмерных объектах комбинацию простых геометрических тел.

Можно подобрать достаточно большой объем подобных задач, позволяющих преобразовать «сухую» и абстрактную математику в «живую» науку.

Прикладная направленность школьного математического образования может выступать тем «мостом», который позволит школьникам увидеть и почувствовать связь между школьными знаниями и высокотехнологичным производством. Раскрытие и понимание инженерного, физического смысла математических величин будет способствовать повышению учебной мотивации школьников, а также в перспективе поможет в будущем сократить период адаптации первокурсников к процессу обучения в технических вузах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Амангельдыева, Г. Т.** Формирование и развитие элементов инженерного мышления средствами математики / Г. Т. Амангельдыева // Моя профессиональная карьера. – 2024. – Т. 1, № 65. – С. 125–127.

2. **Баракова, Е. А.** Обучение математике в инженерных классах современной школы / Е. А. Баракова // Образ действия. – 2024. – № S2. – С. 17–22.

3. **Ланина, С. Ю.** Возможности цифрового инструмента Geogebra для формирования и развития у школьников компонентов инженерного мышления при обучении математике / С. Ю. Ланина, О. Н. Пушкина // Известия Тульского государственного университета. Педагогика. – 2026. – № 1. – С. 78–85.

УДК 69.009

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ВЫСШЕГО ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

О. М. ЛОБИКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Совершенствование системы инженерно-строительного образования одинаково актуально для вузов России и Беларуси. Общее историческое, культурное и экономическое прошлое Беларуси и России является главным фактором, который обуславливает тесные связи между странами и определяет примерно одинаковые запросы на повышение качества инженерно-строительного образования и схожие проблемы в данной области.

Россия существенно превосходит Беларусь по абсолютному числу выпускников инженеров-строителей вследствие масштабов населения и экономики, однако при пересчете на душу населения обе страны демонстрируют схожую долю подготовки технических кадров. При этом строительные отрасли обеих стран сталкиваются с жестким кадровым дефицитом на фоне рекордных объемов строительства. Анализ объемов подготовки инженеров-строителей представлен в табл. 1.

Табл. 1. Анализ объемов подготовки инженеров-строителей

Показатель	Российская Федерация	Республика Беларусь
Выпуск специалистов высшего образования (вузы), чел. в год	31 000...34 000	2 500...3 000
Доля трудоустройства по специальности, %	82	95...100
Доля специалистов, ушедших из профессии в первые годы, %	25...30	0...5
Спрос на одного выпускника	Стабильный дефицит	4–5 официальных заявок на одного выпускника

Необходимость решения таких ключевых проблем, как трудности нахождения баланса между фундаментальной научной подготовкой и быстро меняющимися запросами производства, а также потребность в междисциплинарных знаниях (технических, управленческих и IT-навыков) у выпускников вузов строительного профиля и растущие требования к качеству их подготовки приводят к следующим тенденциям развития высшего инженерно-строительного образования.

1. Цифровизация учебного процесса на строительных специальностях и внедрение BIM-технологий. В учебных планах строительных специальностей

появились дисциплины по информационному моделированию зданий. В специальных дисциплинах, в курсовом и дипломном проектировании использование современных программных комплексов стало обыденным явлением. Данная тенденция позволяет удовлетворить потребность отрасли в квалифицированных специалистах, имеющих востребованные навыки. Меньшее практическое применение в настоящее время находят технологии виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности для трехмерного проектирования и симуляции процессов. При этом перспективы применения данных технологий выглядят впечатляюще. Виртуальные тренажеры позволяют воссоздать опасные или дорогостоящие строительные ситуации, в условиях стройплощадки обеспечивая наглядность и безопасность и получая мгновенную обратную связь от преподавателя или системы.

2. Практикоориентированность в образовательном процессе. Происходит переход в вузах к обучению на реальных производственных задачах и создание филиалов выпускающих кафедр на базовых предприятиях строительной отрасли. Предприятия строительной отрасли принимают участие в формировании учебных программ и заказов на кадры. Студенты-целевики в рамках учебного процесса решают в курсовом проектировании реальные производственные задачи по заданию будущего работодателя. Также прохождение производственной практики по месту будущего трудоустройства позволяет студентам на этапе обучения в вузе интегрироваться в команду предприятия.

3. Применение энергоэффективных технологий и зеленое строительство. Увеличивается потребность в качественных проектах энергоэффективных, экологически чистых зданий с минимальным углеродным следом. Данный тренд приводит к необходимости изучения новых строительных материалов, технологий, стандартов.

4. Гибкость и непрерывное обучение. Развиваются гибридные форматы, позволяющие совмещать учебу с практической деятельностью на производстве. Широко применяется система подготовки, позволяющая выпускникам колледжей ССО, обучающимся по интегрированным учебным планам, поступать на сокращенный срок обучения в вузы.

5. Интеграция систем образования. Сближение образовательных стандартов Беларуси и России, развитие программ сетевых вузов и академической мобильности.

6. Ранняя профориентация. Открытие профильных инженерных классов с дальнейшей целевой подготовкой кадров для обучения по техническому профилю.

Полная реализация перечисленных тенденций позволит обеспечить подготовку высококвалифицированных специалистов инженерно-строительного профиля, будет соответствовать современным требованиям при обеспечении тесной связи образования с наукой и производственной сферой.

УДК 004.032.26

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К АВТОМАТИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ

И. И. МАКОВЕЦКИЙ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Автоматизация решения задачи составления расписания занятий в учреждении образования является актуальной [1]. Подходы, изложенные в классической теории расписаний [2], не позволяют решать задачу за обозримое время, что особенно важно в случае большого количества входных данных.

В данной работе предложен подход к автоматизации решения задачи составления расписания с помощью обучения нейронной сети.

Расписание занятий – это конечное множество векторов

$$S = \{s_1, ..., s_N\},$$

где каждый вектор $s_i \left(i = \overline{1, N}\right)$ является вектором вида

$$l_i = \left(d_k, t_m, g_p, f_j, r_s, day_q, pair_z\right).$$

Здесь $\{d_k\}$ – множество дисциплин $\left(k = \overline{1, K}\right)$; $\{t_m\}$ – множество преподавателей $\left(m = \overline{1, M}\right)$; $\{g_p\}$ – множество групп $\left(p = \overline{1, P}\right)$; $\{f_j\}$ – множество форм проведения занятий $\left(j = \overline{1, J}\right)$; $\{r_s\}$ – множество аудиторий $\left(s = \overline{1, S}\right)$; $\{day_q\}$ – множество рабочих дней недели $\left(q = \overline{1, 6}\right)$; $\{pair_z\}$ – множество временных ячеек расписания занятий (пары) $\left(z = \overline{1, Z}\right)$. Обозначим $w = \left\{\left(day_q, pair_z\right)\right\}$ – множество слотов расписания, $|w| = 6Z$.

Множество занятий $\{l_i\} = \left\{\left(d_k, t_m, g_p, f_j\right)\right\} \left(i = \overline{1, N}\right)$ предопределяется учебными планами, распределением учебной нагрузки на кафедрах, а решение задачи о составлении расписания состоит в предсказании для каждого l_i соответствующего s_i -набора $\left(r_s, w_n\right)$. При этом необходимо учитывать определенные требования, такие как цикличность расписания, отсутствие пропусков между занятиями (так называемые «форточки»), ограничение по количеству занятий у группы в один день, а также не допускать накладок и т. д.

Пространство действий, доступных при построении расписания, имеет вид

$$a = (r, w) \in \mathcal{A} = \{r_s\} \times \{w_n\}.$$

Информацию о назначениях будем хранить в матрице назначений

$$X = \{0,1\}^{N \times S \times 6 \times Z},$$

где $X_{i,r,w} = 1$, если занятие *i* установлено в аудиторию *r* в слот *w*.

Обозначим capacity(r) – вместимость аудитории r; size(g) – количество студентов группы g; kind(r) – тип аудитории r; allow(f) – тип аудитории, разрешенной для вида занятий f.

Математическая модель ограничений имеет вид

$$\sum_{r,w} X_{i,r,w} = 1 \ \ \forall i; \tag{1}$$

$$\sum_{i:t_i=t} \sum_{r} X_{i,r,w} \le 1 \ \ \forall t, w; \tag{2}$$

$$\sum_{i:g_i=g} \sum_{r} X_{i,r,w} \le 1 \ \forall g, s; \tag{3}$$

$$\sum_{i} X_{i,r,w} \le 1 \ \ \forall r, w; \tag{4}$$

$$X_{i,r,w} = 0, \text{ если } \text{capacity}(r) < \text{size}(g_i); \tag{5}$$

$$X_{i,r,w} = 0, \text{ если } \text{kind}(r) \notin \text{allow}(f_i). \tag{6}$$

При ограничениях (1)–(6) используем функцию потерь вида

$$\mathcal{L} = \sum_{k} \lambda_k \mathcal{L}_k,$$

где

$$\mathcal{L}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i} \left(\sum_{r,w} X_{i,r,w} - 1 \right)^2;$$

$$\mathcal{L}_2 = \sum_{t,w} \text{ReLU} \left(\sum_{i:t_i=t} \sum_{r} X_{i,r,w} - 1 \right)^2;$$

$$\mathcal{L}_3 = \sum_{g,w} \text{ReLU} \left(\sum_{i:g_i=g} \sum_{r} X_{i,r,w} - 1 \right)^2;$$

$$\mathcal{L}_4 = \sum_{r,w} \text{ReLU} \left(\sum_{i} X_{i,r,w} - 1 \right)^2;$$

$$\mathcal{L}_5 = \sum_{i,r,w} 1 \left[\text{capacity}(r) < \text{size}(g_i) \right] \cdot X_{i,r,w};$$

$$\mathcal{L}_6 = \sum_{i,r,w} 1 \left[\text{kind}(r) \notin \text{allow}(f_i) \right] \cdot X_{i,r,w}.$$

Архитектура искусственной нейронной сети базируется на Transformer Encoder с self-attention. Входные данные имеют вид обучаемых эмбеддингов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аль-Габри, В. М. Н.** Обзор литературных источников по теме «Автоматизация составления расписания занятий и экзаменов в высших учебных заведениях» / В. М. Н. Аль-Габри // Вестник Донского государственного технического университета. – 2017. – Т. 17, № 1 (88). – С. 132–143.

2. **Коффман, Э. Г.** Теория расписаний и вычислительные машины / Э. Г. Коффман. – М. : Наука, 1984. – 333 с.

УДК 378.147.88

ИНТЕГРАЦИЯ ИИ В СРЕДУ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ: ВЕКТОРЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ И ПРОФСТАНДАРТОВ

Е. В. МАЛОВЕЦКАЯ
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутск, Россия

Действующие профессиональные стандарты формировались до массового распространения генеративного ИИ. Трудовые функции и квалификационные требования, зафиксированные в них, в сегодняшних реалиях не учитывают, что значительная часть рутинных операций (анализ и обработка данных, формирование отчётов, поиск информации) теперь выполняется при помощи ИИ-контента. Поскольку образовательные стандарты синхронизируются с профессиональными, то, как следствие, устаревшие профессиональные стандарты автоматически блокируют обновление федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС).

Появились новые виды деятельности, которых в профессиональных стандартах просто нет: верификация ИИ-сгенерированных результатов, промпт-инжиниринг, аудит ИИ-контента на предмет предвзятости и фактических ошибок, управление рисками при работе с ИИ-системами. Для транспортной отрасли это особенно критично, поскольку специалист-транспортник должен уметь проверять ИИ-прогнозы на экономическую и физическую состоятельность, а не просто использовать их «как есть».

Профстандарты фиксируют зону ответственности работника, но не определяют, где граница между решением, которое принял человек, и решением, подготовленным ИИ. Для инженерных и транспортных направлений это прежде всего вопрос безопасности. Кто в последующем будет отвечать за ошибки маршрутизации, просчеты в пропускной способности или прогнозе грузопотока – специалист, использовавший ИИ, или разработчик системы? Стандарты должны содержать явное разграничение.

В профессиональные стандарты целесообразно ввести квалификационное требование, отражающее способность критически оценивать результаты работы ИИ-систем, выявлять «галлюцинации», понимать ограничения, применяемые в моделях, и обоснованно выбирать, в каких задачах использование ИИ допустимо, а в каких нет. Это не «навык работы с компьютером», а новая аналитическая компетенция, сопоставимая по значимости с владением профильными методами.

Для транспортных профессиональных стандартов (17.026 «Специалист по организации движения поездов железнодорожного транспорта», 17.032 «Специалист диспетчерского аппарата подразделения по обслуживанию сооружений

и устройств инфраструктуры железнодорожного транспорта») актуальны конкретные ограничения: запрет на принятие оперативных решений на основе ИИ-рекомендаций без верификации; требование к прозрачности используемых алгоритмов; обязательное документирование факта применения ИИ при подготовке управленческих решений. Аналогичные нормы нужны и в сопутствующих профессиональных стандартах для логистики, аналитики данных, проектирования объектов инфраструктуры.

Срок пересмотра профессиональных стандартов, составляющий сегодня от 5 до 7 лет, необходимо пересматривать и сокращать. Текущий цикл обновления профстандартов не соответствует темпам развития ИИ-технологий. Целесообразно внедрить механизм ежегодного мониторинга соответствия профстандартов фактическим технологическим и оперативным изменениям и запросам с последующим внесением изменений, но без полного пересмотра документа.

Искусственный интеллект в образовательном процессе перестаёт быть экспериментальной практикой и становится системой. Высшие учебные заведения РФ все чаще используют ИИ в учебном процессе для генерации заданий, адаптивного обучения, систематизации данных, модерации дискуссий с автоматизированной обратной связью. Действующие федеральные государственные стандарты не содержат прямых норм по работе с ИИ-контентом, что приводит к неопределенности в правовой и методической областях.

Для возможности системного управления ИИ в образовательной среде действующие стандарты необходимо дополнить и ввести новые элементы, отражающие ИИ-компоненты. В рабочие программы дисциплин и практик следует включить блок «Использование ИИ-инструментов», который будет описывать допустимые сценарии использования (генерация черновиков, подбор примеров, визуализация данных), запрещённые сценарии (написание итоговых работ без участия студента) и отражать требования прозрачности (указание, какие части работы подготовлены с помощью ИИ).

Для разрабатываемых учебных планов и рабочих программ характерны компетентностный подход и баланс унификации с гибкостью, а механизмы системной интеграции ИИ-контента отсутствуют. Изменение образовательных стандартов должно идти по пути отраслевой дифференциации и пилотирования лучших практик. Для инженерных и технических направлений особенно важно сохранять акцент на проверке полученных результатов, развитии критического мышления и ответственности за принимаемые решения. Именно эти компетенции будут востребованы в условиях широкого распространения ИИ-технологий.

УДК 331.5:378

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОДДЕРЖКА СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Е. А. МАРКЕЛОВ, А. В. ЮКЛАСОВА
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва
Самара, Россия

В условиях санкционного давления обеспечение технологического суверенитета Российской Федерации является одним из приоритетных направлений государственной политики. На данный момент реализуется комплекс мер поддержки студентов инженерных специальностей, стимулирующих приток абитуриентов и повышение престижа инженерного образования. Однако применяемые государством инструменты не всегда эффективны, что требует комплексного анализа и выявления основных проблем их реализации.

Важность развития технологической отрасли подтверждается Указом Президента Российской Федерации «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [1]. Документ определяет подготовку инженерных и научных кадров как одну из ключевых задач. Кроме того, он указывает на необходимость развития инженерной сферы и передовых инженерных школ.

Для обеспечения приоритета инженерных кадров государство использует различные инструменты поддержки. В качестве финансовой поддержки используются стипендиальные программы [2]. Для студентов инженерных направлений действует несколько стипендиальных программ: стипендия Президента (присуждается студентам 3–6 курсов, имеющим не менее 75 % оценок «отлично» и достижения: публикации в научном журнале, патенты, участие в НИОКР или победы в профильной олимпиаде); стипендия Правительства (не менее 50 % «отлично» и научные достижения: публикации, гранты, призовые места); стипендия имени С. П. Королёва (оценки «отлично» и «хорошо», а также достижения в области инженерного дела); стипендия имени К. А. Валиева (не менее 50 % «отлично», наличие публикаций, грантов или побед в конкурсах).

Также к финансовым поддержкам относятся и грантовые программы [3]. Так, реализуется программа «УМНИК» в размере 500 тыс. р. Она ориентирована на поддержку проектов молодых инноваторов. Ее главная цель – поддержать коммерчески ориентированные научно-исследовательские проекты. «Студенческий стартап» – грантовая программа, направленная на поддержку в разме-

ре 1 млн р. для разработки технологических продуктов. Проект должен соответствовать одному из семи приоритетных направлений, включая цифровые технологии, интеллектуальные производственные технологии и др.

Институциональная поддержка включает в себя целевое обучение и создание специализированных программ обучения. В 2026 г. Правительство РФ установило квоту приема на целевое обучение в размере 83 тыс. бюджетных мест, из них около 20 тыс. выделено для инженерных и технических направлений [4]. Кроме того, развивается федеральный проект «Передовые инженерные школы». Это образовательные центры, которые создаются на базе ведущих вузов при участии высокотехнологичных компаний. На данный момент в 23 регионах страны действует 50 таких школ [5]. Среди ключевых партнеров проекта являются такие компании, как «Ростех», «Роскосмос», «ВК» и др.

Несмотря на данные меры, сохраняются системные проблемы: низкая информированность студентов, сложные и разрозненные критерии отбора, а также необходимость получать отдельные пакеты документов для каждой программы. Для решения этих проблем возможно создание единого федерального реестра всех мер поддержки, унифицирование требований к участникам конкурсов и упрощение процедуры подачи заявок.

Таким образом, система государственной поддержки студентов инженерных специальностей в России представляет собой комплекс финансовых и институциональных инструментов, но при этом сохраняются и проблемы, снижающие их эффективность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации : Указ Президента Рос. Федерации от 28 февр. 2024 г. № 145. – URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358 (дата обращения: 31.05.2026).

2. Стипендиат России. – URL: https://стипендиатроссии.рф/vse_stp (дата обращения: 01.06.2026).

3. Фонд содействия инновациям. – URL: https://fasie.ru (дата обращения: 02.06.2026).

4. Правительство утвердило квоту приема на целевое обучение в вузах на 2026 год. – URL: http://government.ru/news/58538/ (дата обращения: 02.06.2026).

5. Инженеры 2030. – URL: https://engineers2030.ru (дата обращения: 02.06.2026).

УДК 378.1

МЕТОДЫ МОТИВАЦИИ СТУДЕНТОВ К АКТИВИЗАЦИИ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

М. В. МОЛОХОВИЧ
Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

Среди множества факторов, оказывающих существенное влияние на качество подготовки современных специалистов, особая роль принадлежит той жизненной позиции, которую занимают сами студенты в образовательном процессе. Ведь именно степень их участия в учебной, научной, проектной, исследовательской и иной работе, их вовлеченность в процесс обучения, их заинтересованность в конечных результатах освоения тех или иных областей научного знания и определяют уровень квалификации и профессиональной компетентности выпускников высших учебных заведений, их способность к дальнейшему совершенствованию, саморазвитию и профессиональному росту. Однако, несмотря на всю свою значимость, на практике активная позиция по отношению к образовательной деятельности присуща далеко не всем студентам, а порой и вовсе является крайне пассивной, приближающейся к грани безразличия, что не может не сказаться отрицательно на результатах подготовки таких обучаемых. В итоге перед руководством учреждений образования в целом и перед преподавателями в частности остро встает потребность непрерывного поиска наиболее подходящих способов активизации познавательной деятельности студентов с учетом уровня их интеллектуального развития, психологических особенностей, интересов и потребностей. Это, в свою очередь, представляется весьма сложным и трудоемким процессом в условиях работы с обширным, разнородным и постоянно меняющимся контингентом обучаемых, обуславливающим необходимость выработки универсальных подходов к решению данной проблемы, одним из которых и является повышение мотивации студентов к образовательной деятельности.

Обобщение существующих на сегодняшний день наработок по данному вопросу показало, что в различных учебных ситуациях эффективным может быть применение разных методов мотивации студентов, способных не только активизировать их познавательную деятельность, но и существенно повысить результативность обучения. К таким методам можно отнести экономические, психологические, социальные, организационные и контрольно-оценивающие методы мотивации. Каждая из указанных групп методов играет определенную роль в формировании и развитии познавательного интереса студентов, составляющего стержневую основу осуществляемой ими образовательной деятельности и выступающего важнейшим условием их активного участия в процессе обучения, и требует более детального рассмотрения.

Как показало проведенное исследование, сегодня экономические методы мотивации студентов к активизации их познавательной деятельности являются одними из наиболее недооцененных методов, применяемых в практике

организации образовательной деятельности. И если всем иным методам мотивации педагоги и ученые уделяют достаточно пристальное внимание, то экономические стимулы, побуждающие обучаемых к повышению интенсивности своего труда, порой упускаются из вида. Вместе с тем их применение может быть весьма действенным и эффективным, причем в отношении студентов, обучающихся как на бюджетной, так и на платной основе. Повышение стипендии для первых и снижение стоимости оплаты для других за существенное улучшение показателей учебной деятельности, активное участие в научных и иных мероприятиях, выплата вознаграждений и вручение ценных подарков и призов за значимые достижения в образовательной деятельности – все это может быть важным мотивом, способным заставить их активизировать учебную работу.

Психологические методы мотивации играют ключевую роль в обеспечении высокого уровня вовлеченности обучаемых в образовательный процесс и повышении качества их подготовки. Они воздействуют на внутренние потребности молодых людей, побуждая их действовать более смело и открыто, браться за решение сложных задач, доказывать себе и другим свою состоятельность в том или ином вопросе. Ведь поощрение успехов, публичная похвала, благоприятная психологическая атмосфера повышают веру в свои силы, вселяют уверенность и желание добиваться все более и более значимых результатов. Однако должный эффект данные методы способны дать лишь при их правильном применении, что во многом зависит от личности преподавателя, уровня его квалификации, профессионального мастерства и способности чувствовать студенческую аудиторию, с которой он работает.

Смысл использования социальных методов мотивации состоит в умелом создании у обучаемых ощущения принадлежности к коллективу, заботы и поддержки, а также в формировании у них чувства признания и собственной значимости, предоставлении возможностей для принятия самостоятельных решений, самовыражения и реализации собственных идей. Они одновременно формируют атмосферу сотрудничества и здоровой конкуренции, заставляя студентов стремиться к постоянному развитию и повышать свою активность.

Ценность организационных методов мотивации заключается в их способности упорядочить образовательную деятельность, придать нужную очередность и последовательность всем выполняемым действиям, четко расставить приоритеты и высвободить дополнительное время для творческой работы. Все это придаст учебному процессу большую привлекательность в глазах студентов, значительно упростив понимание и ускорив выполнение предлагаемых заданий. Правильная организация образовательной деятельности позволит обучаемым лучше справляться с поставленными задачами, способствуя тем самым росту их заинтересованности в учебной деятельности.

И, наконец, контрольно-оценивающие методы мотивации направлены на стимулирование активности студентов через проверку и оценку уровня их знаний. Ведь регулярный контроль деятельности и ее оценка не дает им расслабляться и мотивирует к постоянной подготовке к учебным занятиям, а обсуждение итоговых результатов дает понимание ценности своего труда.

УДК 378.1:33:62

СОВРЕМЕННОЕ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ: ОПЫТ ТАШКЕНТСКОГО ФИЛИАЛА РЭУ ИМЕНИ Г. В. ПЛЕХАНОВА

Р. Р. НАЗАРОВ, С. У. АЛИЕВ
Ташкентский филиал «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова»
Ташкент, Узбекистан

В Узбекистане модернизация экономики сопровождается масштабной цифровой трансформацией, развитием промышленности, финансового сектора, информационных технологий и инфраструктуры. В этих условиях особый интерес представляет опыт Ташкентского филиала РЭУ имени Г. В. Плеханова, который последовательно развивает образовательную инфраструктуру на стыке экономики, цифровых технологий, инноваций и инженерного образования. Филиал функционирует с 1995 г. За время своей работы он сформировал собственную образовательную и научную инфраструктуру. За 30 лет (1995–2025 гг.) его выпуск составил 4667 чел., включая 3650 выпускников бакалавриата и 1017 магистратуры. Сегодня структура филиала включает *факультет экономики и бизнеса* и *факультет цифровой экономики и финансов.* Если традиционно основной профиль филиала был связан с экономическим образованием, то современный этап характеризуется существенным расширением образовательной повестки.

Особое место занимают цифровая экономика, информационные системы, искусственный интеллект, инновационный менеджмент, анализ данных, цифровой бизнес, финансовые технологии, инженерные компетенции. Работа филиала ориентирована на сочетание фундаментального академического образования с практической подготовкой и погружением студентов в профдеятельность. Так, формируется переход от традиционной модели «экономический университет – экономические профессии» к более сложной модели: *экономика – цифровизация – инновации – инженерия – искусственный интеллект.*

Одним из важных элементов новой образовательной модели и формирования нового типа специалиста стало развитие направления «Инноватика». В Ташкентском филиале реализуется профиль «Цифровые инновации в управлении». Особенность данной программы заключается в том, что студент одновременно осваивает несколько профессиональных областей.

Экономический блок – экономика инноваций, финансовое обеспечение инноваций, венчурное финансирование, бизнес-планирование, оценка эффективности. *Технологический блок* – искусственный интеллект, Big Data, облачные технологии, цифровые платформы, интеллектуальные системы. *Управленческий блок* – управление проектами, стратегическое управление, управление командами, инновационная стратегия, цифровая трансформация. Такое сочетание

позволяет сформировать специалиста, способного выступать посредником между технологической и экономической составляющими инновационного проекта. Ташкентский филиал РЭУ развивает соответствующую инфраструктуру. В нем создана лаборатория «Искусственный интеллект и инновации», а также развивается направление информационных систем и технологий с профилем «Системы и технологии искусственного интеллекта».

Важным продолжением этой работы стала Передовая инженерная школа (ПИШ) ИИ в экономике, создание которой является одним из наиболее значимых направлений трансформации образовательной модели филиала. Её концепция предполагает соединение следующих компонентов: *образование – наука – инженерия – искусственный интеллект – экономика – индустрия.* Школа ориентирована на подготовку специалистов, способных применять технологии искусственного интеллекта в экономике, управлении и бизнесе. В образовательную и исследовательскую инфраструктуру включены специализированные лаборатории и проектные пространства.

Особое значение имеет практико-ориентированная модель подготовки. Студент должен пройти путь: *теория – постановка проблемы – работа с данными – разработка модели – тестирование – экономическая оценка – внедрение.* Именно этот цикл отличает современное инженерно-экономическое образование от традиционного освоения дисциплин. ПИШ ИИ в данном случае выступает не только как образовательная площадка, но и как механизм формирования регионального центра компетенций в области искусственного интеллекта для экономики.

Индустриальное партнёрство также является важным элементом современной образовательной модели. Одним из главных принципов современной инженерной подготовки становится непосредственное участие работодателей в образовательном процессе. Ташкентский филиал развивает сотрудничество с компаниями и организациями различных отраслей. В образовательной инфраструктуре представлены, в частности, *Huawei ICT Academy*, специализированные аудитории цифрового банкинга, лаборатории искусственного интеллекта и инноваций, а также пространства, создаваемые совместно с индустриальными партнёрами. Такое сотрудничество позволяет учитывать реальные потребности работодателей, обновлять содержание образовательных программ, организовывать практику и стажировки, формировать проектные команды, развивать прикладные исследования; повышать востребованность выпускников. Особое значение имеет участие технологических компаний в подготовке кадров. Например, Huawei ICT Academy позволяет студентам получать компетенции в области информационной безопасности, облачных технологий, сетевых решений и искусственного интеллекта, а также проходить обучение и сертификацию.

Таким образом, университетская аудитория постепенно перестаёт быть изолированным образовательным пространством и превращается в часть инновационной экосистемы.

УДК 37.013.21

ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ «ВУЗ – ТРАНСПОРТНАЯ КОМПАНИЯ» НА ОСНОВЕ ДУАЛЬНОГО ПОДХОДА

В. А. ОЛЕНЦЕВИЧ
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутск, Россия

В научном исследовании автор, опираясь на подходы коллег и специалистов в сфере особенностей дуального образования как среды для успешного формирования профессиональных компетенций обучающихся и реализации освоенных компетенций на производстве, рассмотрела эффективность дуального образования применимо к образовательному процессу транспортных вузов [1, 2]. Сегодня для России данный тип образования характерен только для системы среднего профессионального образования [3, 4].

Для транспортных вузов дуальное образование необходимо рассматривать как сбалансированную образовательную модель, сочетающую обучение в учебном заведении и получение практических навыков на базе транспортных компаний: по видам транспорта, сферам их деятельности – эксплуатация, складской комплекс, экспедирование, логистика и пр. Это позволит выпускнику:

– повысить шансы на скорейшее, качественное трудоустройство;

– трудоустроится по профилю полученного образования;

– быстро адаптироваться на рабочем месте;

– создать базу для дальнейшего профессионального роста;

– получить знания под реальные цели и задачи производства с учетом современных подходов, потребностей, возможных рисков для производственной деятельности;

– сформировать в процессе обучения высокого уровня умения/навыки под текущие производственные циклы и операции с учетом местных условий хозяйствования;

– овладеть способностью к постоянной интеграции нового знания в реальную практику;

– сформировать модель будущего успешного карьерного роста.

Применимо к учебному процессу в транспортных вузах дуальный подход не должен выступать как увеличение количества часов практический подготовки (далее – ПП) в учебных планах, а должен формировать комплексную модель, в основе которой должен быть заложен ряд взаимосвязанных принципов, прописанных в договорных отношениях между вузом и транспортными компаниями. Такая модель, безусловно, предусматривает полное переформатирование учебного процесса вуза, увеличение доли ПП в общем объеме часов, полный контроль и ответственность за исполнение ПП, стратегическое партнерство «вуз – транспортная компания». Результат реализации проекта для образовательного процесса – повышение показателей эффективности транспортных вузов и качественное изменение их роли в обществе [4–6].

Важно, что применение дуальной системы в высшем транспортном образовании не должно основываться на традиционной составляющей – «место прохождения производственной практики», когда параллельно существуют процесс обучения в вузе и транспортная компания. Это должны быть цикличный процесс взаимодействия, комплексное отношение и непрерывная взаимосвязь в течение всего периода обучения.

Вышеприведенное доказывает, что внедрение дуальной системы образования в высшей школе, с учетом транспортной составляющей, – это достаточно перспективный комплексный инновационный проект, требующий пересмотра традиционных ролевых моделей, а на ряде этапов полной перестройки профессиональных подходов управленческого и преподавательского составов.

Обучающийся в образовательной модели «вуз – транспортная компания» выступает в качестве субъекта высокоорганизованных компонентов:

– академический (или учебный) компонент – несущий фундаментальные знания, методы и методологию организации транспортных и сопутствующих им процессов;

– профессиональный (или производственный) компонент – апробация полученных в вузе знаний непосредственно в транспортной компании, практическое их применение с последующим преобразованием знаний в навыки.

Проведенные исследования дуального подхода применяемо к системе высшего образования транспортных вузов подтверждают свой статус ключевой инновации, способной поставлять высокопродуктивный человеческий капитал российским и зарубежным транспортным компаниям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Динец, Д. А.** Формирование риск-ориентированного мышления при реализации образовательных программ / Д. А. Динец // Современные проблемы профессионального образования: опыт и пути решения : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – 2019. – С. 130–135.

2. **Оленцевич, В. А.** Вопросы формирования надпрофессиональных навыков у обучающихся / В. А. Оленцевич // Культура. Наука. Образование. – 2025. – № 2 (75). – С. 146–151.

3. **Кумахова, Д. Б.** Модель взаимодействия «отрасль – предприятие – вуз» в системе дуального образования / Д. Б. Кумахова // Проблемы гуманитарных наук и образования в современном мире : материалы XI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Сибай, 2026. – С. 95–99.

4. **Рыжова, Н. В.** Перспективы внедрения дуальной системы профессионального обучения как фактора повышения профессиональной подготовки рабочих кадров / Н. В. Рыжова // Образование и воспитание. – 2023. – № 3.1 (44.1). – С. 22–24.

5. **Харитонова, Н. Д.** Дуальная система образования в высшей школе: эффективность внедрения / Н. Д. Харитонова // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2017. – № 3.

6. **Оленцевич, В. А.** Повышение результативности обучающихся путем применения новых подходов к организации работы преподавателя / В. А. Оленцевич // Культура. Наука. Образование. – 2024. – № 1 (70). – С. 88–92.

УДК 378.14

ДИСТАНЦИОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНСТИТУТЕ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

В. М. ПУСКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В современных условиях развития экономики и технологий непрерывное профессиональное развитие становится ключевым фактором конкурентоспособности как отдельного специалиста, так и государства в целом. В Республике Беларусь система дополнительного образования взрослых определена Кодексом об образовании как вид дополнительного образования, направленный на профессиональное развитие личности слушателя, удовлетворение познавательных потребностей и формирование компетенций, необходимых для осуществления профессиональной деятельности [1].

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью соблюдения требований законодательства в области охраны труда при одновременном внедрении современных цифровых технологий в образовательный процесс. Согласно статье 17 Закона Республики Беларусь «Об охране труда», работодатель обязан осуществлять обучение, стажировку, инструктаж и проверку знаний работающих по вопросам охраны труда. Это включает в себя обязательное повышение квалификации руководителей и специалистов. Снижение производственного травматизма и профессиональных заболеваний напрямую зависит от качества подготовки кадров в данной сфере.

В данной работе выполнен анализ эффективности внедрения дистанционных образовательных технологий в программу повышения квалификации по охране труда на базе ИПК Белорусско-Российского университета, а также выявлены проблемные аспекты онлайн-формата обучения.

Теоретико-методологическую основу исследования составили принципы андрагогики Малкольма Ноулза [2], подчёркивающие самоориентированность, практическую направленность и опору на жизненный опыт взрослых обучающихся, а также концепция когнитивной нагрузки Джона Свеллера [3], объясняющая ограничения рабочей памяти при параллельной обработке учебной и профессиональной информации. В контексте цифровой педагогики особый интерес представляет модель мультимедийного обучения Ричарда Майера [4], обосновывающая, что эффективное усвоение материала в онлайн-среде требует строгой дозировки визуальных и аудиальных каналов восприятия. Применение указанных подходов позволяет не только адаптировать содержание программы «Охрана труда и законодательство о труде» под цифровую среду, но и выстроить систему объективной оценки качества дистанционного взаимодействия.

С 2025 г. на базе ИПК Белорусско-Российского университета реализуется курс повышения квалификации по программе «Охрана труда и законодательство

о труде». Программа предназначена для руководителей и специалистов организаций. Обучение проводится как в оффлайн-формате (в аудиториях университета), так и в онлайн-формате. Использование онлайн-технологий продиктовано необходимостью обеспечения доступности образования для специалистов разных регионов Беларуси без отрыва от производства.

Технической платформой для проведения занятий выбран сервис видеоконференцсвязи Google Meet. Данный выбор обусловлен следующими преимуществами:

– доступность – возможность подключения с любого устройства (компьютер, планшет, смартфон) при наличии доступа к интернету;

– наглядность – преподаватель имеет возможность демонстрировать экран, запускать презентации, видеоролики и схемы, что критически важно для визуализации материалов по охране труда (например, разбор схем электробезопасности или видеоинструкций);

– интерактивность – формат видеосвязи наиболее приближен к живому общению, позволяет поддерживать визуальный контакт и отвечать на вопросы слушателей в реальном времени [5].

Но есть и недостатки. При прослушивании лекций онлайн слушатели могут отвлечься и упустить важную информацию. Также в процесс обучения могут вмешаться технические и программные сбои.

Таким образом, система дополнительного образования взрослых в Республике Беларусь продолжает развиваться, адаптируясь к цифровым реалиям. Деятельность ИПК Белорусско-Российского университета по реализации программы «Охрана труда и законодательство о труде» демонстрирует успешный пример интеграции традиционных требований законодательства и современных информационных технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кодекс Республики Беларусь об образовании : 13 янв. 2011 г. № 243-З : в ред. от 9 дек. 2025 г. № 110-З. – Мн. : Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2026.

2. **Knowles, M. S.** The Adult Learner: The Definitive Classic in Adult Education and Human Resource Development / M. S. Knowles, E. E. Holton III, R. A. Swanson. – 6th edition. – London, New York, etc.: ELSEVIER Butterworth Heinemann, 2005. – 378 p.

3. **Sweller, J.** Cognitive Load Theory / J. Sweller, P. Ayres, S. Kalyuga. – New York : Springer, 2011. – 312 p.

4. **Mayer, R. E.** Multimedia Learning / R. E. Mayer. – 2nd ed. – Cambridge : Cambridge University Press, 2009. – 306 p.

5. **Пронина, Н. А.** Дистанционные образовательные технологии в вузе: риски и перспективы / Н. А. Пронина // Перспективы развития высшей школы : материалы XVII Междунар. науч.-метод. конф. – Гродно : ГГАУ, 2024. – С. 41–44.

УДК 378.147

ДЕЛОВАЯ ИГРА КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ НАВЫКОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ У СТУДЕНТОВ IT-НАПРАВЛЕНИЙ

Д. С. РОМАНОВА
Сибирский федеральный университет
Красноярск, Россия

Сегодня высшее образование предполагает не только получение студентами профессиональных знаний, но и формирование компетенций, необходимых для дальнейшей профессиональной деятельности. Для технических специальностей особенно важны навыки командной работы, принятия и аргументации решений, взаимодействия с коллегами.

Одним из методов, позволяющих развивать подобные навыки в процессе обучения, является деловая игра [1]. А. А. Вербицкий рассматривает учебную деловую игру как знаковую модель профессиональной деятельности, позволяющую приблизить содержание обучения к будущей профессиональной деятельности [2].

Особенностью предлагаемой деловой игры является изменение одного из условий задачи после принятия первоначального решения. Это позволяет проверить, сможет ли студент пересмотреть своё решение и адаптировать его к новой ситуации.

В работе рассматривается деловая игра для студентов старших курсов направления подготовки, связанного с информационными технологиями. В рамках игры моделируется работа команды, занимающейся разработкой информационной системы. Команды получают от преподавателя общее задание или самостоятельно формулируют тему проекта, которая в обязательном порядке согласуется с преподавателем, выступающим в роли заказчика. Ключевым требованием является разработка клиент-серверного приложения. В качестве примера может рассматриваться совместный планировщик задач, в котором серверная часть хранит общий список задач с указанием приоритетов, сроков выполнения и статусов, а клиентская часть обеспечивает подключение к системе, добавление и редактирование задач в режиме реального времени, синхронизацию обновлений между участниками, голосование за приоритеты и назначение ответственных.

Деловая игра состоит из шести этапов. На первом этапе происходит формирование команд студентов. Преподаватель играет роль заказчика и даёт команде требования к информационной системе. Студенты распределяют роли: аналитик, разработчик и тестировщик. После этого участники игры анализируют требования заказчика и определяют основные задачи проекта с учётом своей роли.

Далее каждая команда приступает к работе. Аналитик составляет план действий и готовит презентацию проекта, разработчики пишут код, а тестиров-

щик проверяет работоспособность системы как вручную, так и с помощью написания автоматизированных тестов.

На следующем этапе происходит изменение условий задачи. Когда большая часть работы уже выполнена, преподаватель внезапно вводит новое условие, которое меняет всю ситуацию. Например, срок разработки сокращается с трёх месяцев до одного. После получения новых данных студенты пересматривают свой план и решают, что нужно изменить с учётом новых требований. Например, при разработке электронного журнала заказчик (преподаватель) может потребовать отображения данных в режиме реального времени.

На последнем этапе происходит защита выполненных задач. На лекции каждая команда презентует финальное решение, объясняет внесённые изменения и отвечает на вопросы преподавателя.

После презентаций преподаватель оценивает проведенную каждым студентом работу. Работа студентов оценивается преподавателем по 100-балльной системе. При оценке учитывается, насколько обоснованно решение, как команда адаптировалась к новым условиям, как студенты аргументировали свои идеи и как работали вместе. Оценка складывается из четырёх контрольных точек: анализ задачи; первоначальное решение; реакция на изменение условий; итоговая защита. Баллы распределены в табл. 1.

Табл. 1. Критерии оценивания

Критерий	Балл
Анализ исходной задачи и требований	15
Обоснованность первоначального решения	20
Корректировка решения после внесения изменений	30
Работа в рамках своей роли в команде	15
Аргументация итогового решения	10
Командное взаимодействие	10

Как показано в таблице, наивысший балл начисляется за доработку решения с учётом новых условий от преподавателя. Этот критерий проверяет, насколько гибко студенты мыслят и как быстро находят выход из изменившейся ситуации.

Благодаря этому деловая игра становится хорошей имитацией реальной работы в IT-команде.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Журавская, Е. А.** Внедрение игровых технологий для обучения студентов вуза / Е. А. Журавская // Миссия конфессий. – 2024. – Т. 13, № 74. – Ч. 1. – С. 192–197.

2. **Вербицкий, А. А.** Психолого-педагогические особенности деловой игры как формы знаково-контекстного обучения / А. А. Вербицкий // Игровое моделирование: методология и практика. – Новосибирск : Наука, 1987. – С. 78–99.

УДК 004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ»

С. А. РЫНКЕВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современные интеллектуальные системы управления автомобилем опираются на методы искусственного интеллекта (ИИ): машинное обучение, компьютерное зрение, обработку сигналов и интеллектуальные модели прогнозирования. Поэтому применение ИИ в образовательном процессе по дисциплине «Интеллектуальные системы управления автомобилем» позволяет студентам не только теоретически понять принципы работы таких систем, но и получить практические навыки проектирования, тестирования и анализа алгоритмов.

Одним из ключевых направлений является использование ИИ *для распознавания дорожной обстановки.* В учебных задачах студенты могут работать с моделями компьютерного зрения, которые обучаются распознавать разметку, полосы движения, дорожные знаки, пешеходов и другие объекты. Это помогает связать теорию датчиков и восприятия с реальными сценариями автономного движения, а также понять ограничения алгоритмов (шум, неполная видимость, сложные погодные условия).

Второе важное направление – *обучение моделей управления и прогнозирования.* Интеллектуальные системы управления автомобилем решают задачи планирования траектории, удержания полосы, адаптивного круиз-контроля и управления скоростью. ИИ может использоваться для прогнозирования поведения участников дорожного движения и расчёта траектории в зависимости от динамики окружающей среды. В учебных проектах это реализуется через методы регрессии, классификации, а также через обучение технологий управления на симуляционных данных.

ИИ применяется для *оценки технического состояния автомобиля и диагностики.* В автомобилях используются различные датчики (скорости, ускорения, угловой скорости рулевого колеса, положения педалей акселератора и тормоза, давления рабочей жидкости в масляных магистралях и др.), а также данные телеметрии. На базе сигналов датчиков можно обучать модели, которые оценивают скрытые переменные (например, коэффициент сцепления) и выявляют отклонения, которые могут указывать на неисправности. Это формирует у студентов понимание того, что интеллектуальное управление невозможно без корректной оценки параметров подвижного объекта и окружающей среды.

В итоге применение ИИ при изучении дисциплины «Интеллектуальные системы управления автомобилем» позволяет сделать обучение более практико-ориентированным, связать теорию с практикой, а также сформировать у будущих специалистов компетенции, необходимые для разработки и внедрения современных интеллектуальных автомобильных систем управления.

УДК 374.7

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ ВЗРОСЛЫХ

К. С. САМАРЦЕВ, С. Б. САМАРЦЕВ, С. О. КАМИНСКАЯ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В контексте дополнительного образования взрослых (ДОВ) искусственный интеллект (ИИ) открывает возможности, способные удовлетворить уникальные потребности обучающихся, обладающих жизненным опытом, разным уровнем цифровой грамотности и конкретными карьерными целями, что делает как прямое, так и косвенное участие ИИ одновременно и многообещающим, и сложным. Примерами эффективной реализации ИИ являются: наставники по развитию индивидуальных знаний и навыков, например, в изучении языка, математики или в других областях; чат-боты, поддерживающие принятие решений путем выбора образовательной траектории либо помогающие оценивать собственные предпочтения и способности в обучении; рекомендательные программные средства, улучшающие профилизацию и выбор предложений обучения; автоматический перевод учебных материалов; разработка виртуальной реальности и функций обучения, включая моделирование рабочей среды, инструментов, технологий и даже межличностного взаимодействия.

В перспективе потенциал ИИ в ДОВ видится в следующем.

1. Персонализированный опыт обучения. Системы ИИ могут анализировать данные обучающихся, адаптируя содержание, методы и темп подготовки к индивидуальным предпочтениям и потребностям. При совмещении учёбы с работой, семьёй и другими обязанностями такая гибкость бесценна. Платформы адаптивного обучения через обратную связь в реальном времени и индивидуальные программы коучинга подбирают соответствующий темп учебы. Например, работающий взрослый, изучающий английский как второй язык, получает целевые упражнения по развитию словарного запаса с учетом сферы деятельности или повседневного взаимодействия.

2. Повышенная доступность и гибкость. Интеллектуальные системы обучения и виртуальные помощники могут поддерживать обучение круглосуточно, устраняя временные и локальные барьеры. Для взрослых это важно ввиду неспособности придерживаться традиционного расписания занятий в классе. Технологии ИИ предлагают людям с ограниченными возможностями услуги преобразования речи в текст, предиктивного ввода текста или персонализированные интерфейсы, способствуя инклюзивному образованию.

3. Повышение вовлеченности и мотивации. Игровые платформы и симуляции на основе ИИ повышают интерес взрослых, которым в противном случае бывает сложно мотивировать себя. В частности, специалисты в технических областях через виртуальные лаборатории с ИИ оттачивают навыки в безопасной среде, отслеживая через реакцию системы достигнутый прогресс, что умножает мотивацию и упорство.

4. Развитие компетенций, ориентированных на карьеру. Для повышения квалификации или переподготовки в ответ на изменения рынка труда ИИ помогает персоналу выявить недостающие компетенции и рекомендовать целевой контент

или программы обучения. Аналитика рынка труда при этом предлагает востребованные траектории развития, согласуя образование с результатами трудоустройства.

5. Административная эффективность и поддержка педагогов. ИИ снижает административную нагрузку на педагогов, автоматизируя оценку знаний, отслеживая прогресс обучающихся и адаптируя учебную программу дисциплин или курсов. При этом педагоги больше уделяют внимания наставничеству и индивидуальной поддержке, выявляя тенденции приостановки учебы или возникающие трудности среди обучающихся, предлагая превентивные меры вмешательства, которые предотвращают отсев.

Вместе с тем ИИ в ДОВ требует преодоления следующих проблем.

1. Конфиденциальность данных и этические вопросы. Зависимость ИИ от персональных данных поднимает серьёзные вопросы, в частности, как собирается, хранится и используется эта информация, особенно если она связана с уязвимыми группами населения. Отсутствие прозрачности затрудняет полное доверие к таким системам.

2. Пробелы в цифровой грамотности. Несмотря на интуитивно понятные интерфейсы, эффективное использование инструментов ИИ требует базового уровня цифровой грамотности. Взрослые, особенно пожилые люди или представители малообеспеченных сообществ, могут испытывать трудности с эффективным использованием таких систем. Этот цифровой разрыв усугубляет существующее неравенство в доступе к качественному образованию.

3. Чрезмерная зависимость от технологий. Межличностное взаимодействие является важнейшим компонентом ДОВ. Обучающиеся получают значительную пользу от общения со сверстниками, наставничества и совместного решения проблем, которые ИИ в нынешнем виде полностью не воспроизводит. Замена преподавателей или сокращение их роли, как правило, негативно сказывается на результатах учебного процесса и удовлетворенности взрослых.

4. Ценовые и инфраструктурные барьеры. Внедрение ИИ в ДОВ – дорогостоящая процедура. Расходы образовательных учреждений на приобретение инструментов ИИ, поддержание инфраструктуры и обучение преподавателей могут быть непомерно высокими. Без постоянных инвестиций существует риск создания неравного доступа, когда только хорошо финансируемые учреждения или частные поставщики услуг смогут предложить такое обучение.

5. Контекстуальные и культурные ограничения. Системы ИИ обычно базируются на основе информации о конкретных группах населения, ограниченных культурным и контекстным разнообразием. Для разных социальных групп взрослых контент или взаимодействие может представляться неактуальными или предвзятыми. Например, ИИ, обученный преимущественно западному английскому языку, зачастую не распознает или не учитывает незападные идиоматические выражения, что приводит к разочарованию или отчуждению обучающихся.

6. Сопротивление изменениям. Учреждения ДОВ и сами взрослые могут противиться внедрению ИИ, опасаясь потери работы, недоверия к технологиям или уверовав в превосходстве традиционных методов. Это сопротивление должно компенсироваться компетентным обучением, поддержкой и разъяснением преимуществ и ограничений инструментов ИИ.

УДК 37.022

О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗВИТИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Ю. В. СИДОРЕНКО
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия

В процессе своей работы преподаватель вуза ориентируется на определенные технологии, модели подачи учебного материала для обучающихся [1–5]. Особенности инженерных, в частности строительно-материаловедческих, дисциплин связаны с формированием у обучающихся представлений о взаимосвязи состава, структуры и свойств современных строительных материалов и изделий, об их номенклатуре, технологиях изготовления, области применения и т. д. Также постепенно нарабатываются навыки работы со стандартами ГОСТами, техническими условиями, справочниками и другой нормативной литературой, где представлены конкретные данные о строительной продукции. Основная схема изучения любого материала – особенности состава (химического, фазового, минералогического, гранулометрического и др.) и строения (на различных иерархических уровнях), которые существенным образом влияют на качественные характеристики (свойства). Объем рассматриваемых групп материалов и их свойств должен выбираться исходя из требований ФГОС и профиля рабочей специальности. Оценка технических свойств и сравнение материалов между собой возможны по показателям и параметрам, которые определяются при испытаниях материалов в лабораторных условиях. Поэтому теоретическое изучение свойств и методов их определения должно быть подкреплено практическими и лабораторными занятиями с использованием действующих стандартов. Во время занятий желательно применять элементы интерактивных методов обучения (моделирование основ будущей профессиональной деятельности). Методика контроля и оценки знаний и умений учащихся осуществляется по принципу объективности.

Преподавателю необходимо создать на занятии (особенно лекционном) условия для заинтересованности студентов в самостоятельной деятельности и получении новых знаний, развивая познавательную активность. Среди основных методов развития познавательной активности: метод проблемного обучения; исследовательский и проектный методы; метод кейсов (case-study); игровые методы; интерактивные дискуссии. Методика интерактивной формы самостоятельной работы состоит в переходе от пассивного изучения к активному взаимодействию учащихся с материалом, преподавателем и друг с другом, направлена на развитие критического мышления и самостоятельного поиска решений [1–5]. Для мониторинга динамики повышения активности преподаватели могут вести карты включенности, где фиксируется каждый инициативный ответ студента или участие в дискуссии. Для углубленного анализа результатов

можно использовать методики самооценки, рефлексивные эссе студентов по итогам сложных тем, а также анализ портфолио с лучшими результатами лабораторных испытаний. Так, например, для оценки повышения познавательной активности на лабораторной работе можно использовать критериальную матрицу, состоящую из поведенческих, качественных и количественных показателей. Оценка проводится через сравнение показателей «До» и «После» внедрения методики.

Выделяются три основных блока оценки:

1) поведенческий уровень (наблюдение), когда оценивается вовлеченность и инициативность обучающегося во время занятия: количество задаваемых вопросов – переход от репродуктивных (вопросов по инструкции) к проблемным; характер работы – от пассивного выполнения действий (работа по алгоритму) к самостоятельному поиску решений; время включения в работу;

2) качественный уровень (результат деятельности), когда оцениваются глубина погружения в материал (обучающийся проводит анализ погрешностей и делает собственные выводы, объясняющие физический или химический процесс) и повышение сложности отчета (предлагается альтернативный метод исследования и т. д.);

3) количественный уровень (метрики): количество успешно выполненных дополнительных (творческих или усложненных) заданий по выбору и др.

Отмечается, что задания проблемного характера развивают у обучающихся навыки творческого подхода к решению задач, которые способствуют интеллектуальному и личностному развитию [2, 3]. Самостоятельный поиск информации помогает студентам четко формулировать исследовательские вопросы, углублять знания по тематическим и сущностным характеристикам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Русинова, С. А.** Педагогическая диагностика и контроль обученности в вузе как система / С. А. Русинова // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. – 2008. – № 84. – С. 246–252.

2. **Кулжанбекова, Г. К.** Активизация самостоятельной работы студентов в условиях цифровизации образования / Г. К. Кулжанбекова, У. Б. Адилбаева // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 12. – С. 176–181.

3. **Буров, И. П.** Методика проведения лекции-визуализации по информатике / И. П. Буров // Вестник Марийского государственного университета. – 2009. – № 3. – С. 56–58.

4. **Сидоренко, Ю. В.** Интерактивные технологии обучения в техническом вузе / Ю. В. Сидоренко // Перспективы развития высшей школы : материалы XIX Междунар. науч.-метод. конф. – Гродно : ГГАУ, 2026. – С. 429–431.

5. **Сидоренко, Ю. В.** К вопросу о методических особенностях технологий обучения и оценки знаний в техническом вузе / Ю. В. Сидоренко // Проблемы современного образования в техническом вузе : материалы IX Междунар. науч.-метод. конф., Гомель, 23–24 окт. 2025 г. – Гомель : Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, 2025. – С. 80–82.

УДК 378.14

МОДЕРНИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ОСНОВЫ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА» В ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ КОЛЛЕДЖЕ

М. П. СТЕПАНОВА, Л. И. НАЗАРОВА
Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К. А. Тимирязева
Москва, Россия

В настоящее время цифровые технологии стремительно развиваются и всё более широко применяются во всех сферах жизни общества. Современное промышленное производство также активно внедряет цифровые инновации и элементы искусственного интеллекта в рабочий процесс. Вслед за этим меняются требования к подготовке выпускников технического профиля: помимо профессиональных компетенций, работодателей интересует умение специалистов работать с цифровыми платформами, интерпретировать данные автоматизированных измерений и использовать аналитические инструменты оценки качества. Выпускник технической специальности уже не может ограничиваться владением приборами и знанием технологии производства, поэтому содержание основных дисциплин, которые формируют его профессиональные компетенции, нуждается в модернизации.

Дисциплина «Основы бережливого производства» изучается студентами политехнического колледжа, обучающимися по техническим специальностям и рабочим профессиям. В её содержание включено изучение таких основных инструментов, как картирование потока создания ценности, система 5S, кайдзен, всеобщее обслуживание оборудования TPM (Total Productive Maintenance) [1]. Однако анализ рабочей программы дисциплины показывает, что цифровая составляющая в ней представлена в недостаточной мере, что порождает разрыв между теоретической подготовкой и реальными условиями современного производства.

Цель работы – обосновать необходимость модернизации содержания дисциплины «Основы бережливого производства» для студентов политехнического колледжа и сформировать перечень новых тем, которые предлагается включить в рабочую программу.

Согласно ГОСТу, закрепляющему основные термины бережливого производства и их определения, его концепция заключается в производстве продукции и оказании услуг в минимальные сроки с минимальными затратами с требуемым потребителем качеством [2]. При этом необходимо постоянно увеличивать уровень удовлетворённости потребителей, акционеров и других заинтересованных сторон, повышать результативность и эффективность бизнес-процессов, упрощать организационную структуру, улучшать процессы менеджмента, а также быстро и гибко реагировать на изменения внешней среды.

В результате анализа рабочей программы дисциплины «Основы бережливого производства» по рабочей профессии 15.01.36 «Дефектоскопист» выявлено, что в программе встречаются формулировки, не соответствующие актуальным

изменениям в промышленности. Так, в теме 1.2 рассматриваются принципы картирования потока, но не упоминаются цифровые платформы, используемые для построения карт на современных предприятиях. В теме 2.1 анализируются области применения инструментов бережливого производства, однако их взаимодействие с системами автоматизированного сбора данных не раскрывается. Понятие искусственного интеллекта в программе отсутствует.

Для специалистов технического профиля интеграция бережливых и цифровых компетенций имеет особое значение. Их деятельность непосредственно влияет на показатели качества и производительности. Своевременное выявление ошибок и неточностей позволяет предотвращать брак и связанные с ним потери, а автоматизация обработки результатов измерений сокращает время принятия решений. Таким образом, цифровые инструменты не заменяют бережливые методы, а усиливают их эффективность. Как справедливо отмечает Н. С. Крамаренко, бережливое производство составляет основу цифровизации, а цифровые компетенции формируются в тесной взаимосвязи с компетенциями бережливости [3].

На основании проведённого анализа учебно-программной документации предлагается включить в содержание дисциплины четыре новых раздела:

1) «Цифровые платформы для картирования потока создания ценности»;

2) «Автоматизация сбора данных о качестве»;

3) «Применение искусственного интеллекта для анализа дефектов»;

4) «Виртуальные фабрики процессов».

Обновления требует и практический блок дисциплины, в котором задания построены вокруг группового проекта. Их целесообразно дополнить цифровыми элементами, а картирование потока проводить на реальных данных производственного участка, в результате чего обучающиеся смогут выявлять фактические потери и определять способы их устранения.

Такая модернизация помогает глубже понять суть профессиональной деятельности, где специалист технического профиля выступает не только исполнителем отдельных операций, но и влияет на эффективность производственных процессов в целом. Проведённое исследование подтверждает необходимость изменения рабочей программы дисциплины «Основы бережливого производства» в условиях цифровой трансформации производства. Дальнейшая работа предполагает разработку учебно-методического обеспечения указанных разделов и его апробацию в образовательном процессе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Травина, Е. А.** Эффективные методики обучения бережливому производству в СПО / Е. А. Травина // Концепт. – 2022. – № 5. – С. 45–52.

2. Бережливое производство. Основные положения и словарь : ГОСТ Р 56020–2014. – М. : Стандартинформ, 2014. – 32 с.

3. **Крамаренко, Н. С.** Совместимость Индустрии 4.0 с моделью управления «бережливое производство» и модернизация концепции в эпоху цифровизации / Н. С. Крамаренко // Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. – 2023. – № 2. – С. 78–86.

УДК 378.147

ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ КУЛЬТУРЫ В СТУДЕНЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ СРЕДЕ: РОЛЬ ПАРКА ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗВИТИИ УНИВЕРСИТЕТСКОГО СТАРТАП-ДВИЖЕНИЯ В БЕЛАРУСИ

Г. М. ТОКАРЬ, М. Д. МАЦУГАНОВА
Витебский государственный технологический университет
Витебск, Беларусь

Современная экономика, находящаяся в фазе цифровой трансформации, предъявляет новые требования к системе высшего образования. Традиционная модель подготовки инженеров, ориентированная на формирование узкопрофессиональных технических навыков, уступает место интегративной парадигме, предполагающей освоение компетенций проектного управления, маркетинга и коммерциализации разработок. Формирование предпринимательской культуры у студентов – стратегический приоритет инновационных экономик. В Беларуси эту функцию системно реализует Парк высоких технологий.

Предпринимательская культура в контексте инженерного образования определяется как совокупность ценностных установок, поведенческих паттернов и когнитивных стратегий, ориентирующих специалиста на выявление рыночных возможностей и создание новых продуктов. Формирование этой культуры невозможно без изменения образовательной среды: переход от репродуктивных методов обучения к проектным и исследовательским формам работы.

С момента своего создания Парк высоких технологий (далее – ПВТ) выступал преимущественно как инструмент поддержки зрелых ИТ-компаний. Однако в последние годы его функции существенно расширились: Парк начал системную работу по выращиванию новых проектов из университетской среды [1]. Для этого была выстроена институциональная архитектура, включающая три уровня:

1) нормативно-правовой: заключение соглашений с вузами, разработка дорожных карт с Министерством образования, закрепление статуса университетов-партнёров;

2) организационный: создание в вузах стартап-центров и филиалов общественного объединения «Стартап Спейс», что позволяет объединить формальные административные структуры и неформальное студенческое сообщество;

3) финансовый: учреждение грантов для преподавателей и стипендий для студентов, имеющих практические разработки с потенциалом монетизации.

Анализ деятельности ПВТ позволяет выделить три этапа в развитии университетского стартап-движения: идентификация талантливых студентов и их вовлечение в предпринимательскую среду через стартап-центры; обучение и акселерация проектов через образовательные программы и менторскую поддержку; интеграция подготовленных команд в экосистему ПВТ в качестве резидентов. На практике это означает, что ПВТ формирует своего рода «институциональный лифт», снижающий барьеры входа для молодых инженерных команд.

Создание сети из 12 университетов-партнёров, охватывающих все регионы страны, закладывает основу для формирования единого инновационного пространства [2]. Учреждение стипендий «ИТ-бонус ПВТ» и грантов для преподавателей создаёт материальную мотивацию для вовлечения студентов в технологическое предпринимательство. Ключевым результатом такой политики становится не только количественный рост стартапов, но и качественная трансформация сознания будущих инженеров.

ПВТ формирует целостную среду, в которой студенты инженерных специальностей выступают не просто объектами образовательной политики, а ключевыми агентами инновационного развития. Переход от фрагментарных акселерационных форматов к комплексной стратегии, охватывающей все этапы становления технологического предпринимателя, создаёт условия для устойчивого воспроизводства предпринимательской культуры в инженерной среде.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мирончик, В. В.** Концепция экосистемы молодежного предпринимательства / В. В. Мирончик // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2025. – № 3 (53). – С. 130–142. – URL: https://vestnik.vstu.by/files/7517/6648/3599/9_53.pdf (дата обращения: 30.08.2026).

2. Стартап Спейс становится системой: как ПВТ масштабирует молодежное предпринимательство на всю страну. – URL: https://digitalbelarus.by/article/startap-speys-stanovitsya-sistemoy-kak-pvt-masshtabiruet-molodezhnoe-predprinima (дата обращения: 30.08.2026).

УДК 378.1

СОЗДАНИЕ СОВМЕСТНЫХ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КЛАСТЕРОВ В СОЮЗНОМ ГОСУДАРСТВЕ

Е. С. УСОВ, Н. В. ЧЕРНОГАЛОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современный этап интеграции Беларуси и России требует принципиально новых подходов к организации эффективного взаимодействия между профильными техническими вузами и реальным сектором экономики двух стран. В условиях внешнего санкционного давления ключевое значение приобретает достижение подлинного технологического суверенитета и независимости. Одним из наиболее эффективных практических механизмов решения данной стратегической задачи выступает формирование совместных научно-производственных кластеров, ориентированных на создание сквозных и устойчивых межгосударственных технологических цепочек.

В соответствии с классической кластерной теорией [1] и концепцией инновационных экосистем [2], научно-производственный кластер представляет собой сложную структуру, интегрирующую потенциал технических университетов, академических институтов и промышленных предприятий на единой платформе. Применительно к современному инженерному образованию такой подход коренным образом трансформирует систему подготовки кадров.

Интеграция образовательного процесса с прикладными исследованиями предполагает активное формирование техническими вузами опережающего научно-технического задела по критически важным направлениям. Это включает в себя создание совместных исследовательских лабораторий и интенсивное использование уникального материально-технического оборудования в рамках центров коллективного пользования. В результате проводимые вузовские исследования получают прямой канал для последующей коммерциализации, трансфера и оперативного внедрения на ведущих промышленных предприятиях Союзного государства.

Практическая реализация распределенных кластеров требует преодоления ряда барьеров нормативно-правового характера, связанных с различиями национальных законодательств в сфере защиты интеллектуальной собственности, стандартизации и сертификации продукции. Необходима глубокая унификация регламентов Союзного государства для обеспечения беспрепятственного трансферта разработанных технологий. Финансовое обеспечение должно базироваться на многоканальной основе, включая ассигнования из

союзного бюджета и механизмы государственно-частного партнерства через систему налоговых преференций для предприятий.

Цифровая трансформация позволяет организовывать эффективную работу совместных проектных команд в защищенных облачных платформах и средах виртуального проектирования. Совместное использование сквозных цифровых двойников сложных изделий значительно ускоряет вывод новой техники на союзный рынок. В рамках кластерной модели совместно с индустриальными партнерами вузы оперативно модернизируют образовательные программы под специфику конкретного производства, внедряют гибкие траектории и современные сетевые программы, что обеспечивает академическую мобильность и обмен передовым опытом. В Республике Беларусь надежной нормативной основой данных интеграционных процессов является утвержденная государственная стратегия развития кластерных структур [3].

Успешными примерами такого взаимодействия выступают межгосударственный проект «Союзный станок» (кооперация ОАО «Институт БЕЛОРГСТАНКИНПРОМ» и партнеров из Российской Федерации) и инновационно-промышленный кластер «Микро-, опто- и СВЧ-электроника» (объединяющий холдинги «Интеграл», «Планар» и институты НАН Беларуси). Для Белорусско-Российского университета (БРУ) базовым элементом данной модели является развитие научно-производственных связей с крупными региональными узлами, включая ОАО «МАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ» (в частности, завод «Могилёвтрансмаш»). Это позволяет студентам БРУ проходить сквозную практику и выполнять дипломное проектирование под реальные импортозамещающие задачи предприятия.

Формирование общих кластеров оперативно снижает острый кадровый дефицит и обеспечивает заводы квалифицированными молодыми специалистами с актуальными цифровыми компетенциями. Интеграция передовой науки и реального сектора создает надежный фундамент для долгосрочного развития Союзного государства, гарантируя его национальную и технологическую безопасность в глобальном пространстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Портер, М. Е.** Конкуренция : пер. с англ. / М. Е. Портер. – М. : Вильямс, 2005. – 608 с.

2. **Ицковиц, Г.** Тройная спираль. Университеты – предприятия – государство / Г. Ицковиц. – Томск : ТУСУР, 2010. – 238 с.

3. Концепция формирования и развития инновационно-промышленных кластеров в Республике Беларусь : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 16 янв. 2014 г. № 27.

УДК 378.1:004.418

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

А. М. ФЕДОРЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Объектом исследований явился процесс взаимодействия между обучающимся и деканатом, обучающимся и преподавателем, преподавателем и деканатом, деканатом и внешними факторами.

Объектом технических решений принят аппаратно-программный комплекс, включающий в себя следующие информационные системы: «АСУ «Деканат», «Автоматизированная система регистрации работ», «АСУ «Учебный процесс».

Комплекс программного обеспечения был разработан с использованием принципа модульного построения информационной системы. Первичной автоматизации подверглись информационные процессы, обеспечивающие максимальное сокращение трудоемкости по их ручному сопровождению. В настоящее время разработаны и успешно эксплуатируются следующие модули системы: «АСУ «Деканат», «Автоматизированная система регистрации работ», «АСУ «Учебный процесс», терминал выдачи справки об обучении.

Рассмотрим информационные потоки и взаимосвязи «АСУ «Деканат». Данная информационная система обрабатывает совокупность информационных потоков между деканатом ИФЗО и обучающимися факультета и является CRM-системой, отражающей взаимодействие между клиентом и предприятием.

Действие информационных потоков в системе:

– информация о результатах вступительной кампании и личных данных зачисленных абитуриентов из базы данных приемной комиссии поступает в модуль импорта, который вычленяет нужную информацию, нормализует данные и распределяет их по внутренним таблицам системы;

– сведения о заявлениях студентов на отчисление, восстановление и перевод.

На основании информации о текущей численности обучающихся система по запросу сотрудников деканата формирует более десятка типовых отчетов, например отчет 1НК, отчет по текущему контингенту обучающихся, отчет по запросам внешних организаций и т. п. Модуль формирования справок-вызовов создает и выводит на печать справки-вызова с указанием сроков сессий, печатает почтовые адреса в соответствии с требованиями РУП «Белпочта». Также автоматически формируется и выводится на печать журнал учета справок-вызовов.

Рассмотрим информационные связи, возникающие в АСУ «Учебный процесс»:

– источником первоначальной информации для системы является массив учебных планов. На основании действующих учебных планов и контингента обучающихся, получаемых из АСУ «Деканат», а также с учетом закрепления дисциплин по кафедрам формируются графики учебного процесса на текущий учебный год [1]. Формируются индивидуальные учебные графики, которые впоследствии передаются обучающемуся, а также на кафедры университета. В случае необходимости кафедры вносят предложения по совершенствованию образовательного процесса;

– вторичный поток информации в виде массив графиков передается в модуль, формирующий сведения для составления расписания. Сведения включают в себя информацию о перечне изучаемых дисциплин по учебным группам с указанием аудиторных часов, форм контроля по видам занятий, которая далее группируется по кафедрам университета;

– заполненные сведения кафедрами к составлению расписания, графики учебного процесса, контингент обучающихся, база центра менеджмента качества используются модулем подготовки расписаний для автоматизированного составления расписания занятий на факультете. На основе расписания занятий ИФЗО формируется индивидуальное расписание занятий для преподавателей. Также формируется база данных занятости аудиторий и преподавателей для последующего их бронирования.

Модуль учета текущей успеваемости формирует экзаменационные ведомости, используя в качестве исходной информации следующие сведения: контингент обучающихся; макет экзаменационных ведомостей; сведения о виде, времени проведения текущей аттестации обучающихся и ФИО экзаменатора, трудоемкости учебной дисциплины. Действие информационной системы регистрации работ «АСРР» рассмотрено в [2].

Модульный принцип построения информационной системы позволяет повысить её надежность, предоставляет возможность непрерывно совершенствовать, выполнять задачи цифровизации поэтапно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рогожин, В. Д.** Особенности организации учебного процесса на заочном факультете ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» / В. Д. Рогожин, А. М. Федоренко, Т. Л. Курлович // Проблемы организации подготовки специалистов в заочной форме получения образования : материалы Респ. науч.-метод. конф., Могилев, 22 дек. 2011 г. – Могилев : МГУ им. А. А. Кулешова, 2012. – С. 15–17.

2. **Рогожин, В. Д.** Особенности организации контроля самостоятельной работы студентов заочной формы обучения / В. Д. Рогожин, А. М. Федоренко, Т. Л. Курлович // Проблемы организации подготовки специалистов в заочной форме получения образования : материалы Респ. науч.-метод. конф., Могилев, 22 дек. 2011 г. – Могилев : МГУ им. А. А. Кулешова, 2012. – С. 20–22.

УДК 377, 378

СИТУАЦИОННО-ПОЗИЦИОННЫЙ ПОДХОД В ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ САМООПРЕДЕЛЕНИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ИНЖЕНЕРНОЙ СФЕРЫ

О. Н. ФИЛАТОВА, Ж. В. СМИРНОВА
Нижегородский государственный педагогический университет
имени Козьмы Минина
Нижний Новгород, Россия

В последнее время можно проследить тенденцию снижения у выпускников школ выбора будущей профессии в инженерной сфере, а у выпускников СПО – выбора инженерной специальности, полученной во время учебы.

Специфика инженерно-технологической сферы определенно связана с моделированием, проектированием, конструированием, эксплуатацией и обслуживанием технических устройств и сооружений. К основным видам деятельности можно отнести: изобретение и создание новых технических решений; создание и внедрение новых материалов, технологий; ремонт и поддержание в рабочем состоянии действующих систем, улучшение их качества и увеличение сроков эксплуатации; обеспечение надежности, эффективности и безопасности технических объектов.

Инженерно-технологическая деятельность базируется на научных знаниях в области естественно-научных дисциплин, таких как физика, математика, химия, биология; эффективном использовании ресурсов, таких как сырье, время, энергия; соблюдении определенных алгоритмов и экологических особенностей регионов.

Следует выделить определенные свойства и принципы, имеющие:

– практико-ориентированный характер, который направлен на постоянное создание новых идей, решений, конкретных задач по изменению и совершенствованию;

– системный и междисциплинарный характер, который подразумевает взаимосвязь элементов разных областей науки для решения полезных, жизненных задач.

Коллектив Мининского университета предлагает решение проблемы профессионального самоопределения обучающихся в инженерно-технологической сфере через ситуационно-позиционный подход, где профессиональное самоопределение – это не набор конкретных мероприятий, а развивающееся пространство, где множество ситуаций сами создают условия для формирования позиции обучающегося, а позиция задает вектор развития следующей ситуации.

Ситуационно-позиционный подход объединяет в себе два измерения: ситуационное, которое протекает в конкретных жизненных ситуациях, где обучающийся сталкивается с конкретными реальными неопределенными, меняющимися задачами, и позиционное, где происходит становление собственной

позиции по отношению к ситуациям на рынке труда, миру профессий, своих возможностей в будущей профессиональной сфере.

Далее перечислим ключевые принципы выбранного подхода.

1. Неопределенность и проблематичность ситуаций. Ситуации должны быть направлены на решение конкретной производственной или жизненной задачи, но с несколькими решениями.

2. Многопозиционность. Обучающиеся должны примерить разные роли и позиции проектировщика, заказчика, исполнителя, эксперта, эколога, логиста, инспектора охраны труда т. д.

3. Преемственность и нарастание сложностей. От простых кейсов и ситуаций к сложным проектам от академических и индустриальных партнеров, от внешней мотивации к внутренней.

4. Интеграция учебного процесса. Профориентационные ситуации должны встраиваться во все учебные предметы, вписываться в учебный процесс, а не существовать отдельным проектом.

5. Рефлексия. Важный элемент формирования позиции. В идеальном случае рефлексия нужна после каждой ситуации. Помогает анализировать, какие навыки понадобились, чего не хватило, что сработало и т. д.

В рамках развивающегося пространства необходимо выделить три уровня.

1. Институциональный уровень: стратегия развития, инновационные программы, многообразие сотрудничества с академическими и производственными партнерами, практики, профпробы, реальные проекты, наставничество, мастер-классы.

2. Групповой уровень: дискуссии, дебаты, имитация профессиональных ролей в классе, группе, кружке, командная работа, выбор партнеров для будущих проектов и ситуаций.

3. Индивидуальный уровень: построение индивидуальных маршрутов развития, портфолио, чек-листы, рефлексивные дневники, самоопределение выбранной специальности или профессии.

Практическими инструментами педагогов в ситуационно-позиционном подходе выступают: банки ситуаций (кейсы, сценарии занятий, мастер-классы, профпробы, семинары) с фиксацией целей и ожидаемым результатом; карты позиций (ценности, установки, компетенции) для фиксации и сравнения позиций; рефлексивные отчеты (что узнал о профессии, что узнал о своих возможностях, что узнал о себе), позволяющие создать новую позицию; наставничество и сотрудничество с академическими и производственными партнерами, что дает возможность создавать аутентичные и инновационные ситуации, делиться опытом и транслировать лучшие практики.

Материалы подготовлены в рамках государственного задания Министерства просвещения Российской Федерации от 21.02.2026 № 073-03-2026-034/2 на выполнение в 2026 г. научно-исследовательской работы по теме «*Технология профессионального самоопределения выпускников общего и среднего профессионального образования в инженерно-технологической сфере*».

УДК 378.147:51

ПРОДУКТИВНЫЙ ТИП ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ

О. В. ФИЛИПЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Для успешной и продуктивной работы инженеру сегодня необходимы не только фундаментальные теоретические знания и опыт практической деятельности в выбранной профессии, но и умения быстро ориентироваться в сложившейся профессиональной проблеме, анализировать ее условия, делать выводы и взвешенно принимать решения.

Исходя из анализа образовательных стандартов подготовки будущих инженеров приходим к выводу, что содержание математического образования является обязательной частью содержания профессионального образования студентов. Важным аспектом успешной профессиональной деятельности будущего инженера является то, какой тип обучения используется преподавателями в учебном процессе студентов. В традиционной лекционно-семинарской системе обучения преобладает репродуктивный тип обучения. От студента требуется повторять действия по образцу. Таким образом сложно формировать умения анализировать, делать выводы, взвешенно принимать решения. Поскольку математическое образование является фундаментом профессионального образования будущего инженера, то в современной системе высшего образования актуально применение продуктивного типа обучения на занятиях по математике.

Продуктивное обучение делает акцент на создании новых для студента знаний через исследование, моделирование, решение профессионально значимых задач. Преимуществами такого обучения является формирование инженерного мышления. При решении профессионально ориентированных задач студент анализирует проблему, переводит ее на язык математики, выбирает математический аппарат для решения, а затем полученный результат интерпретирует в профессиональную плоскость. Все это позволяет сократить разрыв между математической теорией и профессиональной практикой. Студент на занятиях по математике видит, как знания становятся профессионально значимыми.

Немаловажным преимуществом использования продуктивного типа обучения математике является развитие у студентов гибких навыков Soft Skills. При выполнении заданий продуктивного характера в парах или группах студенты коммуницируют между собой, они учатся слышать предложения другого человека по решению профессиональной проблемы, отстаивать свою точку зрения, приводя доводы и аргументы. Моделируя решение профессионально ориентированной задачи, студенты проверяют его на адекватность. Тем самым у них формируется критическое мышление.

Главным достоинством продуктивного типа обучения математике является формирование у студентов прочных и фундаментальных знаний по предмету.

Решение профессионально ориентированных задач требует от студентов анализа имеющихся знаний и постоянного их совершенствования.

Для реализации на занятиях по математике продуктивного типа обучения необходимо использовать *продуктивные методы обучения.* В исследовании Л. И. Майсени дается следующее определение: «это методы, повышающие мотивацию обучаемых и стимулирующие их познавательную деятельность» [1, с. 167]. В педагогике отмечается, что деятельность студентов при использовании продуктивных методов обучения носит продуктивный, творческий, поисковый характер [2, с. 287]. В организации дидактического процесса обучения А. А. Вербицкий делает акцент на переход «к развивающим, проблемным, исследовательским, поисковым, обеспечивающим порождение познавательных мотивов, интереса к будущей профессиональной деятельности условиям для творчества в обучении» [3, с. 43–44].

В практике обучения математике при подготовке инженеров по направлению «Мехатроника и робототехника» нами разрабатываются и используются задания для реализации продуктивного типа обучения. Они носят профессионально направленный характер. Их содержание связано с будущей профессиональной деятельностью студентов. Исследовательские задания дают возможность студентам реализовать свой творческий потенциал. Для их выполнения обучающиеся объединяются в пары или небольшие группы. Студенты коммуницируют, делегируют полномочия среди участников команды, назначают ответственных за выполнение определенного блока заданий. Решение задач проблемного характера способствует формированию у обучающихся умений анализировать поставленную профессиональную проблему, актуализировать имеющиеся знания, осознавать их недостаток и вовремя пополнять. Задания эвристического характера способствуют формированию у студентов смекалки, скорости мыслительной реакции. Проектное обучение дает возможность обучающимся применить имеющиеся знания на практике, реализовать свои способности в моделировании проблемной профессиональной ситуации.

Реализация на занятиях по математике продуктивного типа обучения способствует формированию у студентов логического мышления, памяти, умения применить полученные ранее знания на практике, реализовать свои творческие способности, пополнить багаж профессионально значимыми знаниями и умениями, осознать значимость математики в будущей профессии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Майсеня, Л. И.** Развитие математического образования студентов технических университетов / Л. И. Майсеня. – Мн. : БГУИР, 2017. – 283 с.

2. Педагогика : учебник / Л. П. Крившенко, М. Е. Вайндорф-Сысоева, Т. Л. Юзсфавичус [и др.] ; под ред. Л. П. Крившенко. – М. : Проспект, 2004. – 429 с.

3. **Вербицкий, А. А.** Активное обучение в высшей школе: контекстный подход : метод. пособие / А. А. Вербицкий. – М. : Высш. шк., 1991. – 207 с.

УДК 378.147.88:004

ИННОВАЦИИ В ОБУЧЕНИИ БИЗНЕС-АВТОМАТИЗАЦИИ: РОЛЬ ПЛАТФОРМЫ «1С» КАК КЛЮЧЕВОГО ИНСТРУМЕНТА

Ю. В. ЧЕПРУНОВА
Алтайский государственный педагогический университет
Барнаул, Россия

Цифровая трансформация актуализирует проблему кадрового обеспечения сферы бизнес-автоматизации. Наблюдается дисбаланс между спросом на специалистов по внедрению IT-решений и уровнем практической подготовки выпускников вузов. Традиционная образовательная парадигма, ориентированная на теоретическое освоение дисциплин, не формирует навыков управления полным жизненным циклом IT-решения [1–3].

Платформа «1С:Предприятие» обладает высоким дидактическим потенциалом для модернизации обучения, однако в большинстве программ используется фрагментарно – для изучения программирования и учёта без формирования проектных компетенций.

Инновационная методика практико-ориентированного обучения бизнес-автоматизации на платформе «1С:Предприятие», основанная на сквозном проектном подходе, продемонстрировала свою эффективность. На примере кейса по автоматизации закупок показано формирование системных профессиональных компетенций. Апробация методики в рамках выпускных квалификационных работ подтвердила готовность выпускников к решению задач в условиях цифровой экономики.

Цель исследования – разработать и апробировать методику практико-ориентированного обучения на базе сквозного проектного подхода с применением «1С:Предприятие», обеспечивающую формирование комплексных навыков анализа, проектирования и автоматизации бизнес-процессов.

Разработана дидактическая система сквозного проектного обучения, где «1С» выступает как технологический инструмент и среда апробации решений. Методологическая основа – нотация IDEF0 для структурированного описания бизнес-процессов.

Результаты.

1. Модульная структура курса (пять модулей, задания интегрируются в ВКР):

– основы бизнес-анализа – методология IDEF0, функциональное моделирование;

– проектирование в «1С» – архитектура решений, ТЗ и документация;

– разработка и конфигурирование – создание конфигураций, программирование;

– внедрение и сопровождение – планирование, опытная эксплуатация, обучение пользователей;

– управление проектами – основы проектного менеджмента, коммуникации, презентации.

2. Фазы учебного проекта (полный цикл разработки):

– аналитическая – анализ процессов, ТЗ (критерии: полнота, корректность требований);

– проектная – архитектура, TO-BE-процессы, прототипы (критерии: оптимальность, проработанность);

– реализация – конфигурация в «1С», тестирование (критерии: качество кода, полнота);

– внедрение и тестирование – план перехода, испытания (критерии: успешность, достижение показателей);

– защита проекта – презентация, анализ эффективности (критерии: глубина, убедительность).

3. Апробация на кейсе автоматизации закупок (предприятие «Радуга»): создана модель бизнес-процессов в IDEF0; сформированы аналитические навыки, компетенции в проектировании ИС, умение оценивать IT-решения, навыки командной работы и управления проектами.

Разработанная методика позволяет преодолеть разрыв между академической подготовкой и требованиями рынка, сформировать системные компетенции в бизнес-автоматизации, обеспечить готовность выпускников к участию или руководству проектами. Разработанная структурная модель формирования проектных компетенций на базе «1С:Предприятие» подтверждена апробацией в образовательном процессе и результатами подготовки специалистов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аббакумов, А. А.** Применение технологий «1С» для повышения эффективности деятельности организаций образования / А. А. Аббакумов, Е. В. Суслова // Теория и практика современной науки. – 2017. – № 1 (19). – С. 24–27.

2. **Чепрунова, Ю. В.** Формирование профессиональных компетенций студентов при реализации проектов автоматизации на платформе «1С» / Ю. В. Чепрунова // Человеческий капитал. – 2025. – № 11 (203). – С. 251–260.

3. **Khan, A. Z.** The Rise of Citizen Developers in Higher Education : Integrating Low-Code/No-Code Tools into the IS Curriculum / A. Z. Khan, L. Oliva // Journal of Information Systems Education (JISE). – 2024. – Vol. 35, № 2. – P. 178–192.

УДК 378.1

АКТУАЛИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ РЕАЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ: МЕЖВУЗОВСКИЙ ОБМЕН ОПЫТОМ

Е. В. ЧУРИЛИНА[1], О. В. КАРМАНОВА[1], В. Ф. КАБЛОВ[2]
[1]Воронежский государственный университет инженерных технологий
Воронеж, Россия
[2]Волжский политехнический институт (филиал Волгоградского государственного технического университета)
Волжский, Россия

Анализ соответствия действующей образовательной программы направления 18.03.01 «Химическая технология» запросам рынка труда Воронежской области выявил критический дисбаланс: выпускники направления не закрывают реальные вакансии предприятий Воронежской области без доучивания сроком от 6 до 12 месяцев при трудоустройстве. Несмотря на то, что образовательная программа формирует фундаментальную базу знаний, соответствующую требованиям ФГОС ВО, выявлено существенное несоответствие практических компетенций из-за отсутствия опыта работы на реальном оборудовании профильных предприятий региона.

Проведение актуализации образовательной программы обусловлено необходимостью синхронизации содержания учебных планов с приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации, Стратегией развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2035 года, а также задачами достижения технологического суверенитета в области создания перспективных полимеров и малотоннажной химии. Актуализируемая образовательная программа по профилю «Химическая технология перспективных материалов» основывается на новых подходах к взаимодействию университета с индустриальными партнерами в интересах регионального развития, делая особый акцент на практикоориентированность обучения, индивидуальные образовательные траектории с усиленным овладением обучающимися информационно-коммуникационными технологиями и синхронизацию подготовки инженерных кадров новой формации с потребностями каждого конкретного предприятия Воронежской области. Без партнёрства с работодателями система высшего образования отрывается от реальности, что ведёт к дисбалансу на рынке труда. Одним из значимых направлений партнёрства выступает совместное моделирование образовательных программ и компетенций выпускников [1]. Совместное моделирование позволяет разработать профиль выпускника не просто из ФГОС, а из реальных задач, технологий и профессиональных стандартов конкретного рынка. Встроенный механизм обратной связи от бизнеса позволяет корректировать программы не раз в несколько лет, а по мере появления запроса на новые компетенции.

Важным механизмом реализации высшего образования, обеспечивающего способность субъектов следовать современным тенденциям, также является

академическая мобильность преподавателей университетов. Мобильность способствует возникновению новых научных направлений, развитию междисциплинарных проектов, а также благотворно влияет на креативность и широту мышления научно-педагогических работников [2].

В рамках реализации академической мобильности, предусмотренной федеральным проектом «Опережающая подготовка и переподготовка квалифицированных кадров по направлению новых материалов и химии» национального проекта «Новые материалы и химия», во ВГУИТ приглашен профессор кафедры «Химическая технология полимеров и промышленная экология» Волжского политехнического института (филиал ВолгГТУ) В. Ф. Каблов.

Программа академической мобильности приглашенного преподавателя, рассчитанная на 12 рабочих дней, включала не только чтение лекций по разделам «Применение информационных и цифровых технологий в разработке и исследовании эластомерных материалов» в рамках актуализируемой дисциплины «Методы компьютерного инжиниринга в химической технологии» и «Безопасность жизнедеятельности при проектировании технологических процессов и производств» в рамках дисциплины «Промышленная безопасность», но и участие в круглом столе «Перспективы и вызовы: актуализация образовательных программ для направлений подготовки «Био- и химическая технологии» с привлечением индустриальных партнеров, посещение открытых занятий молодых преподавателей, участвующих в разработке и преподавании актуализируемых дисциплин, проведение мастер-классов, знакомство с инфраструктурой вуза для рассмотрения возможностей разработки совместных образовательных программ и научных проектов, а также консультации и экспертизу образовательной программы.

Приглашенный преподаватель выступил не только как лектор, но и как методолог и научный партнер. Для Воронежского государственного университета инженерных технологий программа стала инструментом быстрой модернизации образовательного процесса, усиления научного потенциала и приведения компетенций выпускников в соответствие с реальными требованиями индустриального партнера. Для приглашенного эксперта визит послужил площадкой для масштабирования собственных научных результатов и установления связей с профильным промышленным предприятием.

Работа выполнена в рамках реализации федерального проекта «Опережающая подготовка и переподготовка квалифицированных кадров по направлению новых материалов и химии» национального проекта «Новые материалы и химия» (*договор № ХИМ-2026-060*).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Апенько, С. Н.** Партнёрство вузов и предприятий по моделированию образовательных программ и компетенций выпускников: результаты эмпирического исследования / С. Н. Апенько, А. С. Лохмачев // Прогрессивная экономика. – 2026. – № 4. – С. 416–430.

2. **Старовойтова, И. Е.** Академическая мобильность как вектор интернационализации образования: сравнительный анализ опыта России и Китая / И. Е. Старовойтова // Образование и право. – 2026. – № 3. – С. 481–486.

УДК 37.014

ФОРМИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ БЕЛАРУСИ: РЕШЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Е. В. ШАРАПОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Инженерная деятельность на современном этапе приобретает важное значение. Утверждённая в мае 2025 г. Концепция развития инженерного образования в Республике Беларусь на период до 2035 года (далее – Концепция) определяет качественную подготовку высококвалифицированных инженерных кадров как ключевой фактор для государства «в целях обеспечения технологической безопасности и расширения инновационной деятельности» [1]. Вместе с тем современный инженер – это не только носитель профессиональных знаний, но и специалист, обладающий универсальными компетенциями, которые дают возможность эффективно взаимодействовать в команде, адаптироваться к быстро изменяющимся условиям, критически мыслить и принимать решения. Поэтому созрела необходимость в переосмыслении подходов к формированию универсальных компетенций в системе инженерного образования Беларуси.

В Концепции анализируются ключевые проблемы развития инженерного образования, среди которых – невысокая привлекательность инженерной профессии в обществе, недостаточная эффективность взаимодействия учреждений образования с организациями – заказчиками кадров при формировании профессиональных компетенций выпускников и др. Возможным вариантом преодоления этих проблем является смещение акцентов в образовании будущего специалиста с узкопредметной подготовки на формирование универсальных компетенций: устойчивого личностного развития, мышления, эмоциональной регуляции, коммуникации, кооперации, гражданственности. Исследования как отечественных, так и зарубежных, в том числе российских, учёных показывают, что для инженерных специальностей важны коммуникативные навыки, способность к сотрудничеству и командной / проектной работе, критическое мышление, инициативность, обучаемость, креативность, организованность и ответственность, самостоятельность, организаторские способности и адаптивность [2, с. 172–173].

В системе высшего образования Беларуси формирование универсальных компетенций интегрируется в систему инженерного образования через развитие практико-ориентированного обучения, в основе которого лежат актуализация универсальных компетенций, межпредметная интеграция, профессиональная мотивация и т. д. Развитие реализуется по нескольким основным направлениям.

Во-первых, создание центров компетенций в университетах при поддержке промышленных предприятий (открыты в БНТУ, БГУИР, БрГТУ, ПГУ и др.). В Белорусско-Российском университете (БРУ) в начале 2026 г. был подписан приказ о создании Центра компетенций «Инновационные сварочные технологии», основной задачей которого является подготовка инженерных кадров для

сварочного производства и смежных отраслей в соответствии с задачами инновационного социально-экономического развития Республики Беларусь.

Во-вторых, организация учебных мастерских непосредственно на производстве и активное вовлечение практикующих инженеров и конструкторов в преподавание. Студенты БРУ проходят практику на предприятиях, на которые пойдут работать после окончания университета, что поможет сократить период адаптации молодых специалистов. Необходимо отметить, что список базовых организаций университета внушителен: ОАО «Могилевский металлургический завод», ОАО «Могилевлифтмаш», ОАО «Зенит», ОАО «БЕЛАЗ», ОАО «МАЗ» и др.

В-третьих, создание инженерных классов на III ступени общего среднего образования и деятельность Национального детского технопарка. С 1 сентября 2023 г. в Беларуси началась подготовка обучающихся в классах инженерной направленности. В Белорусско-Российском университете в 2023/2024 учебном году начали свой путь в инженерию 230 десятиклассников, а уже 6 февраля 2025 г. состоялось торжественное открытие Центра творчества и техники «Инженер будущего», в котором стали заниматься учащиеся старших классов со всего региона. Таким образом, выстраивается цепочка «школа – вуз – предприятие», закладываются основы технологического мышления, развиваются коммуникативные навыки и способность к самоорганизации. Подобные классы на этапе ранней профориентации через проектно-исследовательскую деятельность решают задачи стимулирования интереса к инженерной специальности. В 2025 г. был первый выпуск инженерных классов. Из 2,4 тыс. выпускников инженерных классов 77 % выбрали инженерные специальности. Министр образования А. Иванец отметил, что «это самый высокий процент из всех профильных классов». По предварительным результатам вступительной кампании 2026 г., каждый четвёртый поступивший – это будущий инженер, каждый десятый – педагог, медик или работник АПК.

Перспективными направлениями сегодня остаются разработка методики оценки сформированности универсальных компетенций с учетом цифровизации, укрепление сотрудничества вузов, а также средних специальных и профессионально-технических учреждений образования вузов с реальным сектором экономики для обеспечения технологического суверенитета страны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция развития инженерного образования в Республике Беларусь на период до 2035 года: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 15 мая 2025 г. № 264 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500264 (дата обращения: 13.09.2026).

2. **Шарко, И. А.** Роль гибких навыков в профессиональном развитии будущего инженера / И. А. Шарко // Проблемы и основные направления развития высшего технического образования : материалы XXVI Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 20–21 марта 2025 г. – Мн. : БГТУ, 2025. – С. 172–175.

УДК 530.1

ФИЗИЧЕСКОЕ МЫШЛЕНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ: ОТ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ К МАТЕРИАЛУ

И. В. ШОРИНА[1], И. В. ГЕФКЕ[2]
[1]Алтайский государственный педагогический университет
[2]Алтайский государственный аграрный университет
Барнаул, Россия

Прикладная математика традиционно ассоциируется с абстрактными вычислениями, численными методами и кибербезопасностью [1]. Однако анализ запросов ведущих технологических корпораций и исследовательских центров (в частности, в области аддитивных технологий и фотоники) показывает, что остро востребованы специалисты, способные не просто решить систему дифференциальных уравнений, но и интерпретировать решение с точки зрения устойчивости системы или фазового перехода [2]. Преподавание физики в педагогическом вузе, ориентированном на фундаментальность, дает уникальную возможность сформировать у будущих математиков физическую интуицию, которая становится драйвером инноваций.

Данное исследование направлено на пересмотр структуры физического модуля путем замены дескриптивного подхода на методы алгоритмического моделирования. Такой подход создает необходимый методологический фундамент для разработки «умных» материалов и реализации перспективных энергосберегающих решений.

В рамках дисциплины «Общая физика» внедряется блок задач, основанных на реальных экспериментах. Студенты-математики, изучая раздел «Твердое тело», выходят за рамки стандартной модели Дебая. При изучении дисциплины фокусируемся на трех ключевых направлениях, связывающих фундаментальную науку с инновационными разработками.

1. Моделирование дислокаций и прочности композитов. Применяя уравнения Ламе, обучающиеся создают численные модели деформации полимеров. Данная компетенция является востребованной в сфере аддитивного производства.

2. Фотонные кристаллы и метаматериалы. В разделе «Оптика» акцент делается на дисперсионные соотношения. Для математика – это задача на собственные значения, но для инноватики – это возможность предсказать коэффициент преломления материала, который не встречается в природе. Студенты выполняют вычислительные лабораторные работы, где изменение параметра решетки (материал) приводит к сдвигу запрещенной зоны (технология).

3. Термоэлектрические генераторы (эффект Зеебека). В основе этого процесса лежит глубокая связь между кинетической теорией газов и эффективностью материалов, где ключевую роль играет математическое описание

взаимодействия частиц, так называемый интеграл столкновений.

Главной методологической находкой является переход от демонстрационного эксперимента к вычислительному.

Педагогический вуз обладает мощным ресурсом, представленным математическим аппаратом и навыками программирования студентов. Поэтому на данном этапе проводим переформатирование лабораторного практикума:

– традиционный подход: измерить напряжение на резисторе;

– инновационный подход: по имеющимся вольт-амперным характеристикам построить фазовый портрет системы и определить коэффициент температурной чувствительности материала, сравнив его с теоретической моделью Френкеля – Пула.

Это позволяет студентам направления «Прикладная математика» почувствовать себя исследователями. Они учатся работать с паспортами материалов, критически оценивать допустимые погрешности и экстраполировать свойства на новые условия, что и является основой инновационных разработок.

Для апробации концепции в новом учебном году в рамках курсового проектирования запускается пилотный проект «Цифровой двойник материала». Студенты получают задание от (условного) завода-изготовителя: описать поведение композитного материала при резком перепаде температур в арктическом климате.

Задача студента:

1) составить краевую задачу теплопроводности (математика);
2) найти численное решение (информатика);
3) главный шаг (физика) – сравнить решение с экспериментом и обосновать, какой параметр (теплоемкость или коэффициент теплового расширения) нужно изменить в рецептуре материала, чтобы избежать разрушения. Этот шаг требует именно физического понимания, а не только вычислений.

Таким образом, предлагается переосмыслить статус физики в образовании. Она должна стать площадкой для выращивания научно-инженерного мышления. В эпоху междисциплинарных инноваций ключевой компетенцией преподавателя физики становится трансформация прикладных технологических задач в строгий математический формализм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аюпов, В. В.** Прикладная математика : учеб. пособие / В. В. Аюпов, А. В. Аюпов. – Пермь : Прокростъ, 2017. – 147 с.

2. Аналитический материал Группы «Деловой профиль». Аддитивные технологии в России и в мире: современное состояние, тренды, перспективы развития и сравнительный анализ. – URL: https://delprof.ru/press-center/open-analytics/additivnye-tekhnologii-v-rossii-i-v-mire/?ysclid=mtz1kms07709024064 (дата обращения: 13.09.2026).

УДК 621.9

ИНТЕГРАЦИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЕТЕЙ И МОЛОДЕЖИ И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ КАК ФАКТОР ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В СОЮЗНОМ ГОСУДАРСТВЕ (НА ПРИМЕРЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛИДСКОГО РЦТДИМ И ПРОФИЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ БЕЛАРУСИ И РОССИИ)

А. В. ЯНКОВСКАЯ
Лидский районный центр творчества детей и молодежи
Лида, Беларусь

В докладе теоретически обоснована и практически представлена модель сетевого взаимодействия Лидского РЦТДиМ и профильных технических вузов Беларуси и России. Особое внимание уделено проектированию сквозных образовательных траекторий в области Python-программирования и робототехники. Раскрываются научно-методические условия опережающей подготовки инженерных кадров, направленные на формирование базовых профессиональных компетенций учащихся и их ценностную ориентацию на обеспечение технологического суверенитета Союзного государства.

Цель исследования. Обоснование и научно-методическое проектирование модели сетевого взаимодействия учреждения дополнительного образования детей и молодежи и технических вузов Союзного государства, обеспечивающей создание сквозных образовательных траекторий в области ИТ и прикладной робототехники.

Задачи исследования. Задачи исследования заключаются в следующем:

– изучить теоретико-методологические подходы и нормативно-правовую базу Республики Беларусь и Российской Федерации в области интеграции довузовского технического творчества и высшего инженерного образования [1];

– разработать сквозное научно-методическое обеспечение (интегрированные учебные программы, модули по Python-программированию и робототехнике), сопряженное с требованиями профильных технических университетов к базовым компетенциям абитуриентов [2];

– внедрить в образовательный процесс Лидского РЦТДиМ вариативные образовательные траектории и систему мониторинга готовности учащихся к продолжению инженерно-технологического образования в вузах Союзного государства [3];

– сформировать у учащихся гражданственность, устойчивую патриотическую позицию и ценностную ориентацию на профессиональную самореализацию в наукоемких отраслях производства, обеспечивающих технологический суверенитет и экономическую безопасность Беларуси и России [2].

Объект исследования. Процесс допрофессиональной подготовки и ранней профессиональной ориентации учащихся в системе дополнительного образования детей и молодежи технического профиля.

Предмет исследования. Педагогические условия и организационно-методические механизмы сетевого взаимодействия Лидского РЦТДиМ и технических университетов Беларуси и России при проектировании преемственных образовательных траекторий в области информационных технологий и робототехники.

Научная гипотеза исследования. Эффективность опережающей подготовки будущих инженерных кадров в условиях взаимодействия Лидского РЦТДиМ и профильных учреждений высшего образования Республики Беларусь и Российской Федерации существенно повысится, если:

– спроектирована и реализуется теоретическая модель непрерывного технического обучения, обеспечивающая преемственность между программами дополнительного образования (обучение программированию на языке Python, элементы робототехники) и требованиями высшей школы [2];

– разработано сопряженное учебно-методическое обеспечение на базе регионального УМК, направленное на формирование инвариантных компонентов профессиональной компетентности будущих специалистов;

– практико-ориентированная деятельность учащихся базируется на методе проектов, отражающем научно-производственные задачи реального сектора экономики [2];

– процесс профессионального самоопределения подростков строится на основе формирования ценностного отношения к достижению технологического суверенитета и обеспечению экономической безопасности государств-участников Союзного государства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кодекс Республики Беларусь об образовании : 13 янв. 2011 г. № 243-З : принят Палатой представителей 2 дек. 2010 г. : одобр. Советом Респ. 22 дек. 2010 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 5 дек. 2024 г. № 46-З // ЭТАЛОН-ONLINE / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Мн., 2026. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk1100243 (дата обращения: 15.09.2026).

2. О Концепции развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30 нояб. 2021 г. № 683 : в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 5 дек. 2024 г. № 906 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – 2024. – 5/54261. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100683 (дата обращения: 15.09.2026).

3. О Концепции государственной кадровой политики Республики Беларусь : Указ Президента Респ. Беларусь от 3 янв. 2024 г. № 1 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – 2024. – 1/21166. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32400001 (дата обращения: 15.09.2026).

УДК 544.6

ОКСИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ КАК ФАКТОР КИНЕТИКИ РАСТВОРЕНИЯ НИКЕЛЯ В ХЛОРИДНЫХ СРЕДАХ

Г. Ю. АБДУЛЛИНА, З. А. БАШИРОВА,
Г. Г. АМИНЕВА, Н. А. ВАСЕНИНА
Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

Введение. Никель широко применяется в промышленности благодаря коррозионной стойкости [1]. Однако его поведение в агрессивных хлоридсодержащих средах остается предметом дискуссий [2]. В отличие от алюминия, чья оксидная пленка разрушается ионами Cl^- [1], никель формирует устойчивый оксид (NiO). Это приводит к уникальному явлению: при анодном растворении никелевой проволоки пленка сохраняется после полного растворения металла, образуя полую оксидную трубку [3].

Цель работы – исследовать влияние оксидной трубки на кинетику растворения никеля и формирование остаточного тока.

В работе также исследовано влияние стабильной оксидной пленки на кинетику анодного растворения никеля в хлоридсодержащих средах. Установлено, что формирование оксидной трубки (NiO) принципиально меняет механизм перехода металла в ионное состояние, обеспечивая возможность наблюдения полного цикла перехода от макро- к наноразмерному состоянию в рамках одного эксперимента. Полученные данные открывают новые перспективы для создания наноструктурированных материалов и управления коррозионными процессами.

Методы исследования. Экспериментальная часть работы выполнена с использованием современного потенциостатического метода анализа [2]. Исследования проводились на никелевой проволоке в растворе 0,9 % NaCl (физиологический раствор), что моделирует реальные условия эксплуатации в хлоридсодержащих средах. Режим эксперимента задавался потенциостатическим ($E \approx 15$ В), что обеспечивало высокую скорость протекания процесса.

Для анализа кинетики процесса применялся метод хроноамперометрии. Анализ хроноамперограмм позволил выделить стадии процесса и оценить вклад оксидной фазы в ионный транспорт. Такой подход соответствует современным тенденциям развития научных направлений, связанных с прецизионным контролем электрохимических реакций.

Результаты и их обсуждение. В ходе проведенных экспериментов было установлено, что наличие стабильной оксидной пленки принципиально меняет кинетику процесса растворения никеля. Этот факт имеет важное значение для понимания механизмов деградации материалов.

Во-первых, растворение металла происходит исключительно с внутренней поверхности формирующейся трубки. Это накладывает существенные ограни-

чения на эффективную площадь контакта металла с электролитом. По мере растворения никеля площадь контакта уменьшается, что приводит к ускоренному переходу системы в наноразмерное состояние. Данный эффект может быть использован для целенаправленного получения наноструктурных объектов с контролируемыми геометрическими параметрами.

Во-вторых, после полного растворения металлической основы оксидная трубка сохраняет ионную проводимость. Это обеспечивает протекание остаточного тока, длительность которого составляет значительную часть общего времени эксперимента. Данное наблюдение является ключевым отличием никеля от алюминия. Для алюминия в хлоридной среде оксидная пленка разрушается, и процесс растворения прекращается. В случае с никелем стабильность оксидной фазы играет определяющую роль в механизме перехода к наноразмерному состоянию.

Сравнительный анализ кинетики растворения никеля и алюминия демонстрирует, что именно стабильность оксидной фазы является тем фактором, который позволяет наблюдать полный цикл перехода от макроскопического образца к наноразмерной структуре в рамках одного эксперимента [3]. Это открывает новые возможности для инновационных разработок в области создания сенсоров и катализаторов.

Выводы. Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что оксидная трубка NiO является ключевым структурным элементом, определяющим кинетику анодного растворения никеля. Стабильность оксида в хлоридной среде и его ионная проводимость обеспечивают возможность наблюдения полного цикла перехода от макро- к наноразмерному состоянию в одном эксперименте.

Полученные результаты имеют важное значение для развития перспективных научных направлений, связанных с материаловедением и технологиями обработки поверхности. Понимание механизмов формирования оксидных трубок позволяет прогнозировать поведение никельсодержащих материалов в агрессивных средах и разрабатывать новые инновационные материалы с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Pourbaix, M.** Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions / M. Pourbaix. – 2 th ed. – NACE International, 1974.

2. **Bard, A. J.** Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications / A. J. Bard, L. R. Faulkner. – 2 th ed. – Wiley, 2001.

3. **Nigmatullin, R. R.** Mesoscopic theory of percolation currents / R. R. Nigmatullin, H. C. Budnikov, A. V. Sidelnikov // Chaos, Solitons and Fractals. – 2018. – № 106. – P. 171–183.

УДК 519.876.5

ВЛИЯНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОПТИМАЛЬНОЕ ТЕМПЕРАТУРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИИ

А. А. АКИМОВ, В. А. СПАСКОВ
МИРЭА – Российский технологический университет
Москва, Россия

Процесс получения биодизеля переэтерификацией растительных масел характеризуется существенной зависимостью скорости химических превращений от температуры. В математических моделях эта зависимость обычно описывается уравнением Аррениуса. Значения его параметров определяются по экспериментальным данным и могут изменяться в зависимости от состава сырья и условий проведения процесса. Поэтому кинетическая неопределённость способна влиять не только на прогнозируемый выход целевого продукта, но и на рациональный закон управления [1].

В работе исследуется влияние параметров уравнения Аррениуса на структуру оптимального температурного профиля периодического процесса переэтерификации. Для каждого рассматриваемого варианта задача оптимального управления решается повторно. Рассматривается зависимость

$$\theta \to T^*(t),$$

где θ – вектор кинетических параметров; $T^*(t)$ – найденное температурное управление.

Математическая модель включает три последовательные обратимые стадии превращения триглицеридов (*TG*) в диглицериды (*DG*), моноглицериды (*MG*) и глицерин (*GL*) с образованием метиловых эфиров (*E*). Температурная зависимость шести констант скоростей задаётся выражением

$$k_i(T) = A_i \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right), \; i = 1, \ldots, 6,$$

где A_i – предэкспоненциальный множитель; E_i – энергия активации; R – универсальная газовая постоянная.

Продолжительность процесса принимается равной 100 мин. Температурный профиль задаётся кусочно-линейной функцией с узлами через 20 мин. Начальная температура составляет 320,6 К, допустимый диапазон температуры – от 315 до 335,01 К. В качестве показателя результата используется нормированный выход метиловых эфиров [2]:

$$Y = \frac{C_E(t_f)}{3C_{TG,0}}.$$

При поиске управления учитываются выход продукта и нормированная температурная нагрузка; используется малое штрафное слагаемое, ограничивающее резкие изменения наклона температурного профиля. Поиск значений узловых температур выполняется методом роя частиц.

Для оценки влияния кинетической неопределённости рассмотрен параметр прямой реакции второй стадии k_3. В номинальном варианте принимаются $A_3 = 5{,}88 \cdot 10^{12}$ л/(моль·мин) и $E_3 = 19{,}86$ ккал/моль. Отдельно исследуются изменения A_3 на ±10 % и E_3 на ±3 %. Для каждого варианта оптимизация температурного профиля выполняется заново при неизменных технологических ограничениях. Изменение структуры управления оценивается величиной

$$D_T = \sqrt{\frac{1}{5}\Sigma_{j=1}^{5}\left(T_j^* - T_{j,0}^*\right)^2}.$$

Табл. 1. Влияние кинетических параметров на температурное управление

Вариант	Узловая температура при t = 20; 40; 60; 80; 100 мин, К	Y, %	D_T, К
Номинальный	319,81; 320,98; 325,60; 332,79; 335,01	84,58	0
A_3 − 10 %	319,93; 321,21; 326,00; 333,22; 335,01	83,82	0,26
A_3 + 10 %	319,72; 320,78; 325,26; 332,41; 335,01	85,25	0,23
E_3 − 3 %	319,46; 319,73; 322,50; 328,62; 335,01	90,15	2,19
E_3 + 3 %	321,79; 324,45; 329,76; 335,01; 335,01	77,39	2,52

Полученные результаты показывают различный характер влияния параметров A_3 и E_3. Изменение предэкспоненциального множителя на ±10 % приводит преимущественно к изменению выхода продукта. Среднеквадратичное изменение узловых температур не превышает 0,26 К, поэтому структура температурного профиля практически сохраняется.

Для энергии активации наблюдается иная картина. Изменение E_3 на ±3 % приводит к D_T от 2,19 до 2,52 К, а максимальное изменение отдельных узловых температур превышает 4 К. При уменьшении E_3 повышение температуры смещается к более поздней части процесса. При увеличении E_3 более высокая температура становится целесообразной уже на промежуточных интервалах. Одновременно нормированный выход изменяется от 77,39 % до 90,15 %.

Таким образом, неопределённость кинетических параметров может приводить не только к изменению количественного результата процесса, но и к перестройке рационального закона управления. Для рассматриваемой стадии температурный профиль более чувствителен к изменению энергии активации, чем к изменению предэкспоненциального множителя. Полученный результат показывает целесообразность учитывать неопределённость кинетических параметров непосредственно при синтезе температурного управления, а не только при последующей оценке качества уже найденного режима.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 25-21-00741, https://rscf.ru/project/25-21-00741.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Benavides, P. T.** Studying various optimal control problems in biodiesel production in a batch reactor under uncertainty / P. T. Benavides, U. Diwekar // Fuel. – 2013. – Vol. 103. – P. 585–592.

2. **Noureddini, H**. Kinetics of transesterification of soybean oil / H. Noureddini, D. Zhu // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1997. – Vol. 74, № 11. – P. 1457–1463.

УДК 544.653

ВЫЯВЛЕНИЕ СТАДИЙ СИНТЕЗА ПОЛИАНИЛИНА МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

Г. Г. АМИНЕВА, А. В. СИДЕЛЬНИКОВ, Р. С. СЯКАЕВ
Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

Введение. Проводящие полимеры, в частности полианилин (ПАНИ), находят широкое применение в создании новых материалов для сенсорики, энергетики и катализа [3]. Электрохимический синтез позволяет получать ПАНИ с заданными свойствами, контролируя толщину и морфологию плёнки непосредственно в процессе [3]. Однако при использовании иммобилизованной фазы, когда мономер находится в пористой структуре электрода, процесс лимитируется локальной доступностью реагента, что приводит к размытию классических аналитических сигналов. В этих условиях возникает необходимость в хемометрических методах извлечения значимой информации из многомерных данных [1, 2]. Метод главных компонент (PCA) – эффективный инструмент снижения размерности, позволяющий выявлять скрытые корреляции в массивах вольтамперометрических сигналов [1].

Цель работы – выявление скрытых стадий электрохимического синтеза ПАНИ из иммобилизованной фазы с использованием PCA для оценки влияния внешних факторов на кинетику процесса.

В работе исследована кинетика электрополимеризации анилина из иммобилизованной фазы на угольно-пастовом электроде методами PCA и темпорального анализа. Показано, что при ограниченной диффузии мономера классические вольтамперограммы не содержат выраженных пиков, однако PCA позволяет выделить скрытые компоненты, коррелирующие с кинетикой. Первые три главные компоненты описывают 94,2 % дисперсии. Установлена температурная зависимость (E_a = 32,4 кДж/моль), эффект добавки NaF, выявлены критические потенциалы стадий нуклеации и роста. Показан стохастический характер процесса. Подход применим для автоматизированного контроля синтеза проводящих полимеров.

Методы исследования. Электрополимеризацию проводили на угольно-пастовом электроде с иммобилизованным анилином в потенциодинамическом режиме (0...1,3 В, 20 мВ/с, трёхэлектродная ячейка, фоновый электролит 0,5 М H_2SO_4). Зарегистрирован временной ряд из 400 последовательных вольтамперограмм (ВАГ). Изучено влияние температуры (10 °С...40 °С) и добавки NaF (0,1 М) на кинетику. Для обработки данных применён PCA: каждая ВАГ рассматривалась как вектор признаков. Оценена доля объяснённой дисперсии, построены проекции в пространстве главных компонент, проведён

анализ нагрузок для выявления потенциалов, наиболее чувствительных к изменению состава системы.

Результаты и обсуждение. Первые три главные компоненты описывают 94,2 % общей дисперсии. PC1 (68,5 %) отражает общий рост тока, связанный с накоплением полимерной фазы; PC2 (18,7 %) и PC3 (7,0 %) содержат информацию о тонких изменениях формы ВАГ, связанных с морфологией полимера и кинетикой переноса заряда.

Температура оказывает значительное влияние на скорость эволюции системы: при повышении с 10 °C до 40 °C скорость изменения PC1 возрастает в 2,5 раза, что соответствует энергии активации 32,4 кДж/моль – характерно для поверхностно-контролируемых реакций [3]. Добавка NaF уменьшает разброс данных в пространстве главных компонент и повышает воспроизводимость за счёт экранирования заряда в двойном электрическом слое и снижения ёмкостных токов [2].

Анализ нагрузок выявил критические потенциалы (0,45...0,55 В и 0,85...0,95 В), соответствующие стадиям нуклеации и роста полимерной цепи. Процесс носит стохастический характер, что проявляется в флуктуациях в области 1,0...1,2 В, связанных с переключением между активным и пассивным состоянием поверхности электрода [3].

Выводы. PCA позволяет эффективно анализировать вольтамперометрические данные при синтезе ПАНИ в условиях ограниченной диффузии мономера, выделяя скрытые стадии и оценивая влияние внешних факторов. Процесс протекает в кинетическом режиме (E_a = 32,4 кДж/моль); добавка NaF улучшает качество данных. Разработанный подход применим для систем автоматизированного контроля качества синтеза проводящих полимеров и оптимизации их свойств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Jolliffe, I. T.** Principal Component Analysis / I. T. Jolliffe. – 2 th ed. – Springer, 2002.

2. Nonspecific sensor arrays («electronic tongue») for chemical analysis of liquids / Yu. Vlasov, A. Legin, A. Rudnitskaya [et al.] // Pure and Applied Chemistry. – 2005. – № 77 (11). – P. 1965–1983.

3. **Ivanov, V. F.** Redox heterogeneity in polyaniline films / V. F. Ivanov, O. L. Gribkova, S. V. Novikov // Synthetic Metals. – 2005. – № 152 (1–3). – P. 153–156.

УДК 621.926.3

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДИК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ВАЛКОВЫХ ДРОБИЛКАХ

С. И. АНЦИФЕРОВ, Э. А. АШИХМИН,
В. А. РОМАНЕНКО, М. Р. ДОМАШЕНКО
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Ежегодно ужесточаются нормативы по энергоэффективности, безотказности и качеству продуктов переработки минерального сырья. Это обусловлено необходимостью уменьшать себестоимость производства и поддерживать стабильное функционирование дробильно-сортировочных узлов.

Практика экспериментального изучения валковых измельчителей за несколько десятилетий заметно изменилась. Ранее опыты проводили преимущественно на заводских агрегатах при узкой номенклатуре измерений: оценивали только коэффициент измельчения и удельное энергопотребление. В настоящее время применяются лабораторные и опытно-промышленные стенды, методы планирования многофакторного эксперимента (DOE), синхронное протоколирование нескольких силовых и технологических каналов, а также цифровая обработка результатов [1].

При постановке исследований валковых дробилок необходимо учитывать множество взаимосвязанных параметров: межвалковый зазор, линейную скорость валков по образующей, массовый расход питания, влажностные и прочностные свойства сырья, профиль контактной поверхности [2]. Каждый опыт подлежит регистрации, упорядочению и сопоставлению с расчётными значениями. Автоматизация сбора и обработки информации существенно облегчила выполнение этих операций.

На рис. 1 изображена схема дробильно-сортировочного предприятия производительностью 36 м^3/ч. Загружаемое сырьё размером 340 мм измельчается до классов 5...10 и 10...15 мм. Затем измельченный материал в щёковой дробилке классифицируется на грохоте. Более крупный класс перемещается в валковую дробилку на повторное дробление.

Основной принцип методики – рациональный подбор лабораторной установки, на которой можно проводить опыты с малыми пробами и во время испытаний изменять режимы. DEM-моделирование позволяет описывать кинематику частиц в межвалковом пространстве, рассчитывать усилия контакта и предсказывать коэффициент измельчения [3]. В зоне дробления расположена камера высокоскоростной съемки для визуальной проверки равномерного питания и характера разрушения.

В итоге современная методика экспериментального исследования валковых дробилок представляет собой системную методологию, объединяющую планирование опытов, лабораторные и пилотные стенды, параллельную запись технологических и силовых параметров, численное моделирование, ситовый анализ продукта дробления и анализ изнашивания рабочих элементов. Клю-

чевое достоинство такого подхода – повышение достоверности получаемых данных, сокращение объёма промышленных испытаний и обоснованный выбор режимов и конструктивных решений для валковых дробилок на стадии экспериментальных исследований.

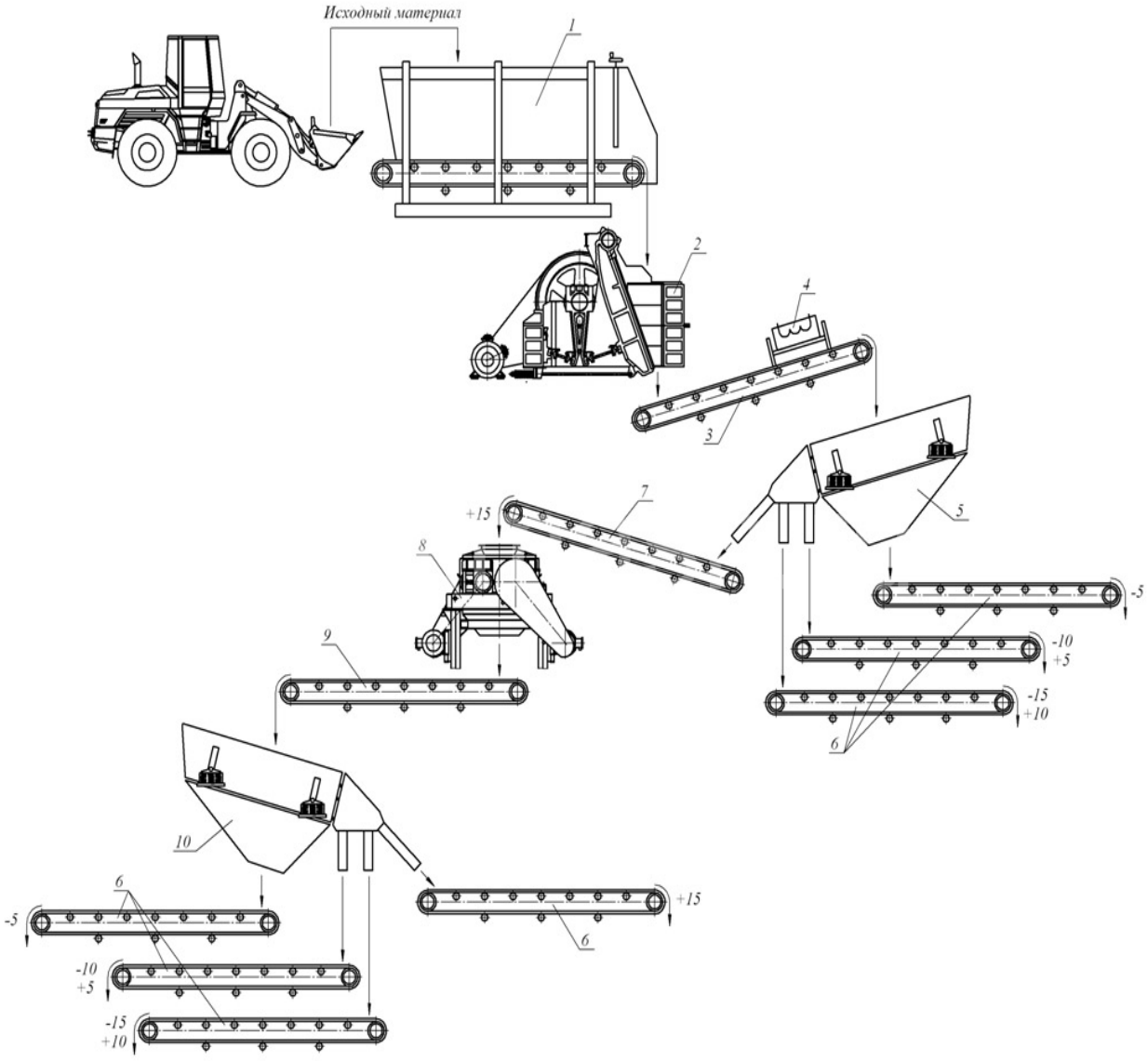


Рис. 1. Технологическая схема дробильно-сортировочного комплекса с валковыми дробилками

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Душин, С. Е.** Моделирование систем и комплексов : учеб. пособие / С. Е. Душин, А. В. Красов, Ю. В. Литвинов. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2010. – 177 с.

2. **Барабанов, П. Е.** Методы планирования и обработки результатов эксперимента в машиностроении : учеб. пособие / П. Е. Барабанов. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018.

3. **Богданов, В. С.** Технологические комплексы и механическое оборудование предприятий строительной индустрии : учебник / С. Б. Булгаков, А. С. Ильин. – СПб. : Проспект науки, 2010. – 622 с.

УДК 666.9:519

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ СУХОЙ СЫРЬЕВОЙ МУКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ DEM-ТЕХНОЛОГИЙ

С. И. АНЦИФЕРОВ, А. Н. СЫСОЕВ, У. И. ЗАПАРА, В. В. НИКУЛИН
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

В современных условиях развития пищевой промышленности особое внимание уделяется качеству и эффективности производственных процессов, и одним из ключевых этапов в производстве муки выступает подготовка сухого сырья, требующая точного контроля и оптимизации всех технологических операций.

На начальном этапе подготовки сырья осуществляется очистка зерна от посторонних примесей, и именно здесь DEM-моделирование демонстрирует высокую практическую ценность, поскольку позволяет оптимизировать параметры работы сепараторов, вибрирующих сит и магнитных уловителей, добиваясь максимальной эффективности удаления нежелательных включений и обеспечивая требуемую однородность зерновой массы. Следующим критически важным этапом является кондиционирование зерна, предполагающее его увлажнение и тепловую обработку, и в этом сегменте применение DEM-технологий помогает точно контролировать изменение влажности и температуры зерна, обеспечивая оптимальное взаимодействие между оболочками и эндоспермом, что напрямую влияет на мукомольные свойства сырья и способствует повышению выхода качественной муки [1]. Моделирование процессов на стадии кондиционирования позволяет прогнозировать поведение зерновой массы при различных режимах обработки и подбирать такие параметры, которые обеспечивают наилучшее разрыхление оболочек и сохранение целостности эндосперма, что особенно важно для получения муки высоких сортов.

Процесс измельчения зерна представляет собой наиболее сложный и ответственный этап, где DEM-технологии находят особенно широкое применение, поскольку позволяют детально анализировать работу вальцовых станков, ударных мельниц и другого измельчающего оборудования, оптимизируя такие параметры, как скорость вращения валков, профиль рифления, зазор между рабочими органами и интенсивность подачи сырья [2].

Кроме того, DEM-моделирование помогает прогнозировать износ рабочих органов мельниц, что позволяет планировать техническое обслуживание и снижать эксплуатационные расходы. На этапе сортировки и классификации муки применение DEM-технологий также даёт существенные преимущества, поскольку позволяет моделировать процессы просеивания на многоярусных ситах, пневматической сепарации и других методов разделения фракций по размеру и плотности частиц, обеспечивая высокую точность классификации и соответствие продукта заданным стандартам качества.

Практическое внедрение DEM-технологий (рис. 1) в процесс подготовки сухой сырьевой муки позволяет достичь целого ряда значимых результатов,

включая повышение общей эффективности производства, снижение потерь сырья, улучшение качественных характеристик конечной продукции и оптимизацию эксплуатационных затрат [3].

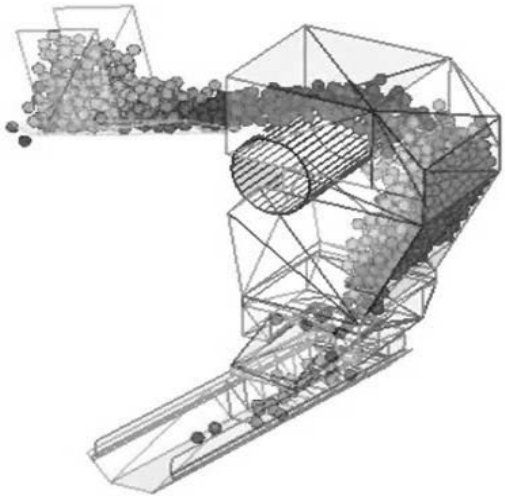


Рис. 1. Анализ с помощью DEM-технологий

Перспективы дальнейшего развития применения DEM-технологий в мукомольной промышленности связаны с совершенствованием математических моделей и алгоритмов расчёта, интеграцией DEM-моделирования с другими методами компьютерного анализа, такими как вычислительная гидродинамика (CFD) для учёта влияния воздушных потоков при пневматической транспортировке и сепарации, а также с развитием систем автоматизированного управления производством на основе данных, полученных в ходе моделирования. Развитие вычислительных мощностей и появление более эффективных программных решений делают DEM-анализ всё более доступным для предприятий различного масштаба, способствуя его широкому распространению в отрасли. Внедрение этих технологий не только повышает конкурентоспособность мукомольных предприятий, но и способствует обеспечению стабильного качества продукции, что является важнейшим фактором успеха на современном рынке. Таким образом, исследования технологического процесса подготовки сухой сырьевой муки с применением DEM-технологий представляют собой актуальное и перспективное направление.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Белибова, Ю. А.** Разработка способов регулирования свойств и обогащения пшеничной муки на стадии её производства : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 / Белибова Юлия Александровна. – М., 2009. – 145 л.

2. **Сысоев, А. Н.** Современные устройства подачи сухой сырьевой муки / А. Н. Сысоев, С. В. Медведев // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2025. – С. 57–61.

3. Формирование хлебопекарных свойств муки под влиянием структурно-механических качеств зерна пшеницы / П. В. Медведев, В. А. Федотов, И. А. Бочкарева, Е. С. Лукьянова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 7 (121). – С. 15–21.

УДК 65.011.56

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ГИБРИДНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

С. И. АНЦИФЕРОВ, Д. А. СЫЧЁВ, У. И. ЗАПАРА, И. В. СЕВАСТЬЯНОВ
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

В настоящее время в различных отраслях промышленности находят широкое применение многономенклатурные гибридные производства, которые объединяют в себе субтрактивные и аддитивные технологии. Совмещение в технологическом цикле различных процессов работы с изделием является сложной задачей [1] и требует правильной организации и планирования, для чего основным инструментом становится имитационное моделирование сложных систем, которое позволяет оптимизировать реальные производственные системы как в комплексной мере, так и в локальных участках технологических линий [5].

Главными программными средствами, осуществляющими имитационное моделирование для производств, являются специализированные программы Plant Simulation от компании Siemens (рис. 1) и AnyLogic от компании The AnyLogic Company (рис. 2) [2]. Обе программы позволяют создавать электронно-цифровые двойники производственных сред для определения характеристик системы с целью последующего ее анализа и оптимизации параметров.

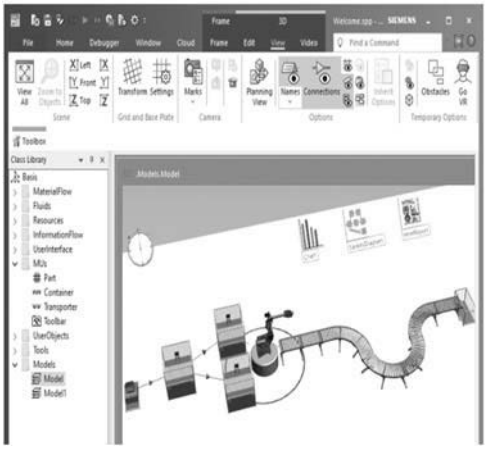


Рис. 1. Интерфейс программы Plant Simulation

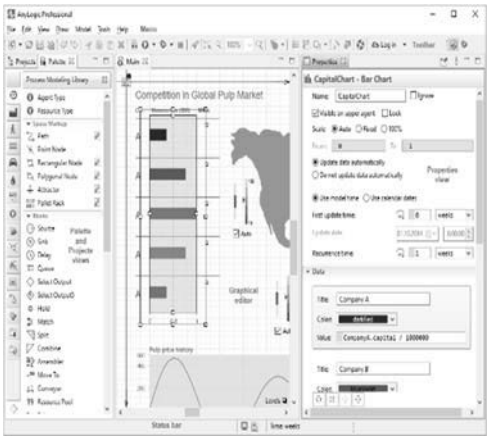


Рис. 2. Интерфейс программы AnyLogic

Plant Simulation позволяет собрать виртуальную производственную систему с помощью объектно-ориентированного языка для широкого класса систем. При построении цифрового двойника в данной программе следует проверить, насколько технически верно и корректно она отражает процессы, происходящие в реальной системе [3]. После чего с помощью встроенных инструментов каждый элемент копии производства собирает показатели, далее это визуали-

зируется в виде графиков и диаграмм, где могут указываться отдельные места и их производительность; также с помощью функции поиска узких мест можно обнаружить участки, которые замедляют работу системы.

AnyLogic также позволяет сформировать имитационную модель производства, включая при этом различные методы моделирования, например дискретно-событийное, агентное и системную динамику. Данная программа позволяет комбинировать методы, что помогает решать более широкий спектр задач, а также использовать их отдельно для разных процессов системы. Параметры могут задаваться на разных уровнях: как локально для отдельных агентов, так и глобально для всех моделей. В ходе анализа системы можно визуализировать информацию в виде графиков и диаграмм.

Таким образом, имитационное моделирование выступает как эффективный метод для организации и планирования многономенклатурных гибридных производств, позволяя оптимизировать сложные технологические процессы. Современные программы Plant Simulation и AnyLogic выступают главным инструментом, который может создать цифрового двойника производства, собрать статистику производительности и визуализировать ключевые показатели [4].

Имитационное моделирование позволяет тестировать внедрение изменений без остановки реальных процессов производства, производить анализ включения нового оборудования или добавления дополнительных производственных процессов, что обеспечивает гибкость в условиях переналадки или расширения производства. Кроме того, оно дает возможность увидеть узкие места еще до фактического использования технологической линии или сделать множество различных вариантов расположения оборудования и производить их анализ, за счет чего найти наиболее оптимальный вариант.

Работа выполнена в рамках государственного задания FZWN-2024-0006 по теме «Разработка научных подходов и методов создания многономенклатурных гибридных производств на основе аддитивных технологий с использованием цифровых двойников».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боев, В. Д.** Компьютерное моделирование. Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic 7 / В. Д. Боев. – 2014. – С. 89–91.

2. Применение системы Plant Simulation для моделирования и оптимизации логистических процессов / Б. И. Клебанов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.

3. **Киселева, М. В.** Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic : учеб.-метод. пособие / М. В. Киселева. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2009. – 88 с.

4. **Курненков, Д. Н.** Моделирование работы участка механического цеха на основе заданного рабочего плана в среде имитационного моделирования Plant Simulation / Д. Н. Курненков, А. Ю. Шурыгин // Техника и технологии машиностроения. – 2015. – С. 132–139.

5. Концепция многономенклатурного гибридного аддитивного производства / С. И. Анциферов [и др.] // СТИН. – 2024. – № 9. – С. 19–23.

УДК 621.791

МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫЕ ГИБРИДНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ WAAM И LMD

С. И. АНЦИФЕРОВ, Д. А. СЫЧЁВ, В. В. ЧЕРЕПЧЕНКО,
В. А. РОМАНЕНКО, С. В. МЕДВЕДЕВ
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

В последнее время в технологические процессы производств все больше стали внедряться технологии аддитивного выращивания, которые представляют собой трехмерную печать изделий на основе электронно-цифровой модели путем послойного добавления материала. Интеграция аддитивных методов послойного выращивания металла объясняется потребностью производств в повышении их гибкости и эффективности [1]. Кроме этого, методы послойного выращивания позволяют сократить отходы и снизить себестоимость изделия.

Сочетание аддитивных и субтрактивных технологий находит применение в различных областях промышленности, например в аэрокосмической, где важно получать сложные и точные детали, и в машиностроении, где в основном данные технологии применяются для ремонта поврежденных элементов.

Аддитивные технологии, в свою очередь, имеют довольно широкий ряд методов, которые различаются по принципу послойного добавления материала. Одними из таких методов являются WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) и LMD (Laser Metal Deposition) [6].

WAAM представляет собой процесс 3D-печати, в котором в качестве материала выступает металлическая проволока, а источником энергии служит электрическая дуга [2].

Существует три вида печати данным методом. Одним видом является GMAW (MIG) – дуговая сварка плавящимся электродом в среде инертного газа; другим – GTAW (TIG) – дуговая сварка неплавящимся электродом, при которой присадочная проволока подается через отдельный механизм подачи. Кроме этого, есть PAW – плазменно-дуговая сварка.

Главными преимуществами WAAM являются высокая скорость наплавки материала, высокий коэффициент использования материала, возможность создания крупногабаритных деталей, низкая стоимость проволоки в сравнении с металлическими порошками в других методах [3]. Однако есть и недостатки, к которым относятся дефекты, вызванные термическими циклами (внутренние напряжения, пористость и деформации), низкая точность, требующая обязательной механической обработки изделия.

LMD представляет собой процесс, при котором источником энергии выступает лазер, а в качестве материала используется металлический порошок (в редких случаях проволока).

Существует несколько способов послойного выращивания методом LMD. Первый предусматривает предварительное нанесение порошка и последующую его плавку лазером; другой способ основан на образовании лазером ванны расплава и последующем направлении в нее материала.

В сравнении с методом WAAM скорость осаждения у LMD меньше, выше стоимость оборудования и металлического порошка [4]. Однако есть довольно большой ряд преимуществ. LMD обеспечивает высокую точность и качество поверхности, позволяет работать с широким спектром металлов и сплавов с различными составами [5]. Благодаря этому методу можно как создавать, так и ремонтировать различные детали.

Применение аддитивных технологий для многономенклатурных гибридных производств позволяет, например, минимизировать материальные затраты. Различные методы имеют свои преимущества и недостатки. WAAM обеспечивает высокую скорость печати и позволяет изготавливать крупные детали. LMD обеспечивает высокую точность и более устойчивый термический цикл наплавки. Их сочетание позволяет производству легко подстраиваться под нужды и задачи, при этом обеспечивая высокую скорость и точность создания изделия.

Работа выполнена в рамках государственного задания FZWN-2024-0006 по теме «Разработка научных подходов и методов создания многономенклатурных гибридных производств на основе аддитивных технологий с использованием цифровых двойников».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Armstrong, M.** An overview of modern metal additive manufacturing technology / M. Armstrong, H. Mehrabi, N. Naveed // Journal of Manufacturing Processes. – 2022. – Vol. 84. – P. 1001–1029.

2. Effects of heat accumulation on the arc characteristics and metal transfer behavior in Wire Arc Additive Manufacturing of Ti6Al4V / B. Wu, D. Ding, Z. Pan [et al.] // Journal of Material Processing Technology. – 2017. – № 250. – P. 304–312.

3. **Антонова, В. С.** Аддитивные технологии : учеб. пособие / В. С. Антонова, И. И. Осовская. – СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. – 30 с.

4. **Береснев, А. Г.** Горячее изостатическое прессование для аддитивного производства / А. Г. Береснев, И. М. Разумовский // Аддитивные технологии. – 2017. – № 4. – С. 50–54.

5. Аддитивно-субтрактивные технологии – эффективный подход к инновационному производству / А. В. Киричек, О. Н. Федонин, Д. Л. Соловьев [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – № 8 (81). – С. 4–10.

6. Концепция многономенклатурного гибридного аддитивного производства / С. И. Анциферов, М. Г. Матусов, Д. В. Карпачев [и др.] // СТИН. – 2024. – № 9. – С. 19–23.

УДК 621.515

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО МНОГОСТУПЕНЧАТОГО КОМПРЕССОРА

С. И. АНЦИФЕРОВ, В. В. ЧЕРЕПЧЕНКО,
И. В. СЕВАСТЬЯНОВ, Д. А. СЫЧЁВ
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Исследования влияния основных параметров на эффективность работы центробежного многоступенчатого компрессора представляют собой важную задачу, поскольку от эффективности этих машин напрямую зависят энергозатраты технологических процессов в энергетике, нефтехимии, газоперекачке и других отраслях. Даже незначительное повышение КПД компрессора, исчисляемое долями процента, способно обеспечить существенный экономический эффект при длительной эксплуатации, что делает актуальным детальный анализ факторов, определяющих рабочие характеристики оборудования.

В рамках такого анализа параметры, влияющие на эффективность, принято разделять на конструктивные, закладываемые на этапе проектирования, и режимные, обусловленные условиями эксплуатации [1]. К числу конструктивных параметров относятся геометрия рабочего колеса, включая диаметр, число и форму лопаток, углы входа и выхода, распределение толщины профиля и меридиональную форму канала, от которых зависит передача энергии газу и уровень потерь на трение и отрыв потока. Существенное влияние оказывают также радиальный и осевой зазоры, определяющие величину перетечек и локальные потери; при этом избыточные зазоры способны не только снижать КПД, но и ухудшать запас по помпажу.

Среди режимных параметров ключевое место занимает частота вращения ротора, определяющая окружную скорость и напор ступени; при этом отклонение от расчётного режима неизбежно приводит к снижению КПД. Не менее важным является расход газа, поскольку его отклонение от оптимального значения провоцирует отрыв потока, рост потерь и риск возникновения помпажа [2]. Параметры газа на входе – давление и температура – влияют на плотность, скорость и сжимаемость среды, изменяя картину течения и, соответственно, эффективность работы компрессора. Состав и свойства газа, включая показатель адиабаты, молекулярную массу и вязкость, определяют газодинамические характеристики и уровень потерь.

Для исследования влияния указанных параметров применяют комплекс методов, включающий одномерные и полуэмпирические методики, позволяющие оперативно рассчитывать характеристики ступеней и оценивать чувствительность к изменению параметров, а также CFD-моделирование, обеспечивающее трёхмерный расчёт течения в проточной части и детальный анализ зон повышенных потерь, отрыва потока и вихреобразования. Экспериментальные

исследования на стендах с измерением давления, температуры, расхода и крутящего момента служат для верификации расчётных моделей и получения реальных характеристик. Теория подобия и безразмерные параметры, такие как коэффициенты расхода и напора, числа Маха и Рейнольдса, позволяют обобщать результаты и переносить их на другие машины.

Механизмы влияния параметров на КПД и напор проявляются в различных аспектах. Изменение угла выхода лопаток рабочего колеса сказывается на теоретическом напоре и характере течения: чрезмерно большой угол способен вызвать отрыв на спинке лопатки, а слишком малый – привести к недоиспользованию энергии [3]. Увеличение радиального зазора усиливает перетечки, снижая напор и КПД, особенно при высоких окружных скоростях. Несогласованность ступеней приводит к тому, что первые ступени функционируют вне оптимального диапазона, а последние оказываются на пределе устойчивости, что негативно отражается на общем КПД и запасе по помпажу.

На основании полученных данных можно сформулировать практические рекомендации по повышению эффективности. На этапе проектирования целесообразно применять многокритериальную оптимизацию геометрии ступеней с учётом рабочего диапазона и требований по запасу по помпажу. В процессе эксплуатации важно поддерживать режимы, близкие к расчётным, контролировать состояние проточной части на предмет эрозии и отложений, а также следить за герметичностью уплотнений. Для модернизации оборудования эффективно использовать CFD-расчёты с целью выявления «узких мест» и точечной доработки диффузоров, обратных аппаратов и улитки. Внедрение систем мониторинга с датчиками давления, температуры и расхода позволяет оперативно отслеживать отклонения характеристик и своевременно проводить техническое обслуживание.

Таким образом, эффективность центробежного многоступенчатого компрессора формируется под воздействием совокупности конструктивных и режимных параметров, среди которых наиболее значимыми являются геометрия рабочих колёс и диффузоров, согласование ступеней, радиальные зазоры и соответствие фактического режима работы проектному. Современные методы расчёта и экспериментальных исследований дают возможность количественно оценивать влияние каждого из этих факторов и целенаправленно повышать КПД машины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Галеркин, Ю. Б.** Теория и расчёт турбокомпрессоров : учеб. пособие / Ю. Б. Галеркин, Е. В. Попова. – СПб. : Политехн. ун-т, 2010. – 476 с.

2. **Селезнёв, К. П.** Центробежные компрессоры / К. П. Селезнёв, Ю. Б. Галеркин. – Л. : Машиностроение, 1982. – 271 с.

3. **Минко, В. А.** Нагнетатели в системах теплогазоснабжения и вентиляции / В. А. Минко, Ю. И. Юров, Ю. Г. Овсянников // Международный журнал экспериментального образования. – 2010. – № 10. – С. 86–87.

УДК 623.746.519

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А. Н. БЕЛЕГОВ, А. В. АСКЕРКО, Р. А. РАЦ
Военная академия Республики Беларусь
Минск, Беларусь

Стремительное развитие технологий беспилотной авиации привело к массовому внедрению как разведывательных, так и ударных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в военные структуры. Сегодня они выступают не только как средство тактической разведки и ретрансляции, но и как эффективное оружие для точечного поражения целей в реальном времени [1].

Одновременно с этим ведущие мировые державы активно разрабатывают тактику «роя БПЛА», предполагающую координированное применение множества аппаратов для одновременного воздействия по всем типам целей с минимальными потерями [2].

Типовая архитектура сети БПЛА (рис. 1) строится на двух основных типах соединений: вертикальных (БПЛА – наземная станция управления) и горизонтальных (БПЛА – БПЛА) [3]. Однако функционирование в открытой беспроводной среде делает такие сети крайне уязвимыми для внешних помех, перехвата управления и целенаправленных кибератак [4].

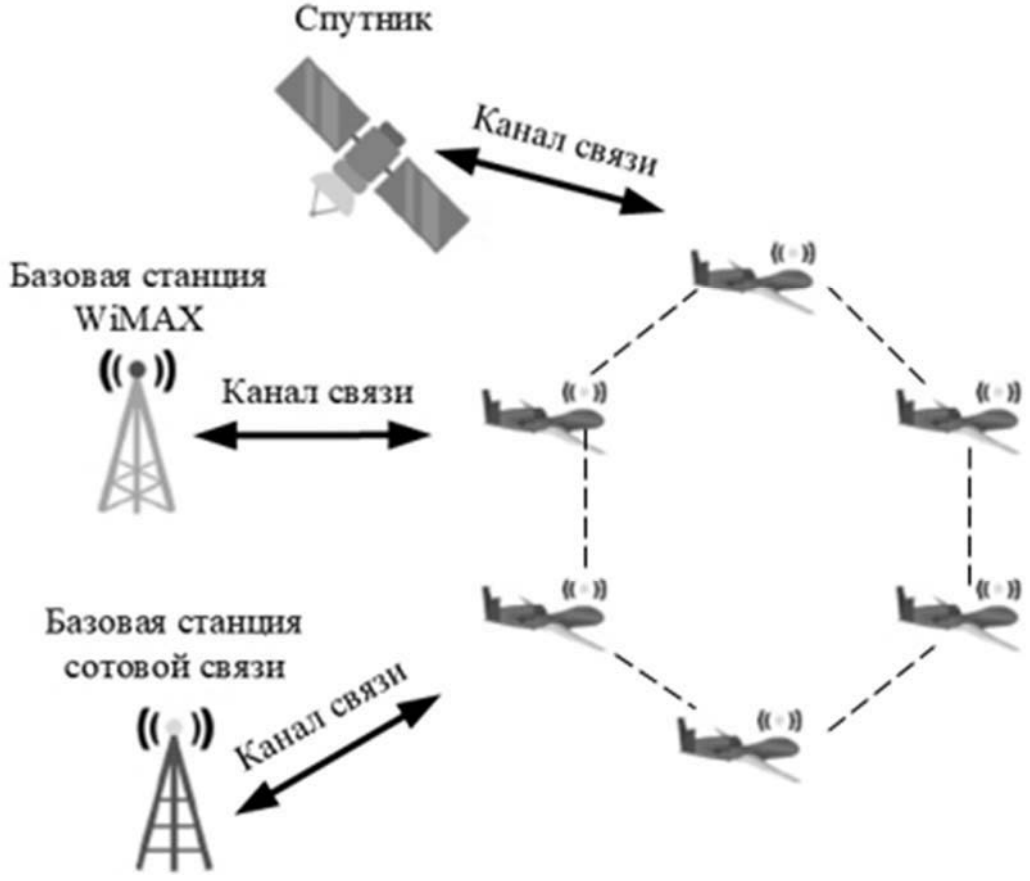


Рис. 1. Модель архитектуры сети БПЛА

Помимо сетевых угроз, существуют и технические ограничения. Корпус беспилотного аппарата с его углами, кромками и выступающими элементами вызывает перераспределение вторичных токов, что приводит к значительному искажению формы диаграммы направленности бортовых антенн [2].

Надёжная связь является критическим условием выполнения боевых задач. БПЛА должны обеспечивать устойчивую коммуникацию в любом направлении, а при необходимости – выполнять функции ретрансляторов, увеличивая зону покрытия и живучесть всей группировки.

Особого внимания заслуживают вопросы информационной безопасности. Связь с наземным оператором осуществляется через динамически формируемую сеть «на лету», однако частая смена топологии, высокая мобильность и ограниченный ресурс каналов создают благоприятную среду для злоумышленников [1]. Передача больших объёмов видео- и телеметрической информации перегружает полосу пропускания, провоцируя сбои и потерю управления. Возникающие задержки открывают возможности для атак переполнения буфера, постановки помех, DDoS-атак и манипуляции протоколами маршрутизации [2]. На физическом уровне возможно глушение каналов связи, а на сетевом – изоляция отдельных устройств от общей инфраструктуры. В условиях дефицита пропускной способности аппараты вынужденно переходят в автономный режим, что повышает риски несанкционированных действий и снижает эффективность [5].

Таким образом, эффективность применения группировок БПЛА в современных конфликтах определяется не только тактическими и техническими характеристиками аппаратов, но и устойчивостью, защищённостью и адаптивностью их сетей связи. Основными препятствиями остаются электромагнитная несовместимость бортового оборудования, искажение антенных характеристик из-за конструктивных особенностей корпуса, а также широкая уязвимость каналов управления к кибератакам всех уровней.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Куижева, С. К.** Анализ протоколов связи для автономных беспилотных летательных аппаратов, выполняющих совместный полет / С. К. Куижева, В. А. Довгаль // Вестник ДонНУ. Серия Г. Технические науки. – 2025. – № 2. – С. 76–84.

2. Оценка характеристик производительности беспроводной сети на базе привязных БПЛА / В. М. Вишневский, Ю. А. Авраменко, В. Х. Нгуен, Н. С. Калмыков // Проблемы информатики. – 2025. – № 1. – С. 60–77.

3. Selection of Routing Metrics and Service Channel Characteristics of ad hoc Network for UAV swarm / V. Borodin, A. Selin, V. Kolesnichenko, M. Kalyagin // Journal of Aerospace Technology and Management. – 2024. – Vol. 16.

4. **Patil, A.** Performance of UAV Networks Over the Ocea n: A Perspective Towards Connected Ocean / A. Patil, P. Muthuchidambaranathan, D. N. K. Jayakody // Wireless Personal Communications. – 2024. – Vol. 134, № 1. – P. 347–366.

5. **Урюпин, И. В.** Об универсальных моделях состояния для задач слежения и навигации беспилотных движущихся объектов / И. В. Урюпин // Системы и средства информатики. – 2025. – Т. 35, № 2. – С. 31–44.

УДК 621.3:621.791

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ И ПРОВОЛОКОПОДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

С. В. БОЛОТОВ, К. В. ЗАХАРЧЕНКОВ,
Е. В. ЗАРОВЧАТСКАЯ, М. С. ХАТЕТОВСКАЯ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Разработана функциональная схема сварочного оборудования для дуговой наплавки, включающая силовую часть источника питания: входной выпрямитель и фильтр, инвертор, высокочастотный трансформатор, выходной выпрямитель и дроссель, блок управления (микроконтроллер); проволокоподающее устройство: выпрямитель, драйвер двигателя, двигатель постоянного тока, редуктор, ролики подачи проволоки, блок управления двигателем подачи проволоки (рис. 1). Источник питания и проволокоподающее устройство воздействуют на дугу, формируя требуемый сварочный ток $i_{св}$ и напряжение на дуге $U_д$.

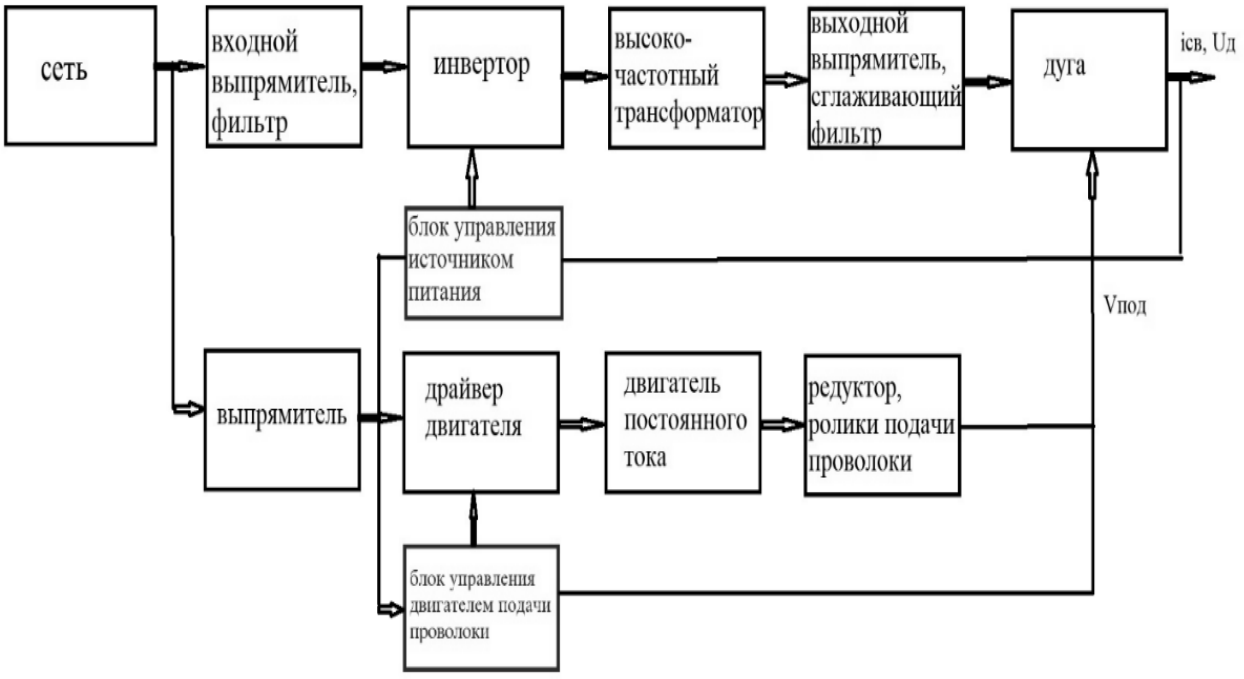


Рис. 1. Функциональная схема источника питания и проволокоподающего устройства

На основе функциональной схемы предложен состав компонентов для построения имитационной модели, отличительной особенностью которого является формирование универсальной замкнутой системы автоматического регулирования, обеспечивающей стабилизацию электрических параметров дуги и скорости подачи проволоки для различных моделей оборудования для дуговой сварки и наплавки. Предложенный состав компонентов имитационных моделей источника питания и проволокоподающего устройства обеспечивает синхрони-

зацию электронных и механических узлов, что позволит оптимизировать управление тепловложением, получить минимальное разбрызгивание и стабильно высокое качество формируемого наплавленного слоя. Определены параметры компонентов имитационной модели источника питания ОЛИВЕР ПРОФИ-500 и его проволокоподающего устройства для дуговой наплавки высокопрочной проволокой ER11OS-G-П BS 300 диаметром 1,2 мм.

В качестве исходных данных для работы алгоритмов компонентов имитационных моделей источника питания и проволокоподающего устройства различного оборудования для дуговой наплавки используются: напряжение сети, частота сети, входное и выходное напряжение блока, входной и выходной ток блока, входная и выходная мощность блока, индуктивность дросселя, емкость конденсатора фильтра, коэффициент трансформации, напряжение на дуге, ток сварки, диаметр проволоки, удельное сопротивление материала проволоки, частота и скважность широтно-импульсной модуляции (ШИМ) проволокоподающего устройства, частота вращения двигателя, крутящий момент, передаточное число редуктора, скорость подачи проволоки.

Разработаны алгоритмы работы компонентов имитационных моделей источника питания и проволокоподающего устройства для дуговой наплавки. Отличительной особенностью разработанных алгоритмов является инвариантность по отношению к оборудованию для дуговой наплавки, что позволяет на их основе реализовать имитационные модели для различных моделей и модификаций оборудования. Разработанные алгоритмы компонентов имитационных моделей являются основой для исследования и оптимизации параметров компонентов источника питания и проволокоподающего устройства: входного выпрямителя и фильтра, инвертора, высокочастотного трансформатора, выходного выпрямителя и дросселя, блока управления источником (микроконтроллера), выпрямителя, драйвера двигателя, двигателя постоянного тока, редуктора, роликов подачи проволоки, блока управления подачей.

Разработана математическая модель для комплексной оценки метрологических и динамических характеристик имитационной модели источника питания и проволокоподающего устройства для дуговой наплавки. Научная новизна заключается в создании единого методического подхода, объединяющего: статистическую оценку погрешности имитации с использованием доверительных интервалов и критерия Вилкоксона; алгоритм определения длины переходного процесса на основе анализа сходимости выходных параметров к стационарному состоянию; количественную оценку чувствительности откликов модели (сварочный ток, напряжение на дуге, скорость подачи проволоки) к вариациям входных параметров (напряжение сети, частота и скважность ШИМ) источника питания и проволокоподающего устройства. Практическая значимость результатов состоит в реализации возможности оценки погрешности и устойчивости имитационной модели для последующей калибровки, минимизации длительности переходного процесса, выявлении наиболее значимых параметров для последующей их оптимизации, что позволит улучшить характеристики модели и расширить область ее применения.

УДК 621.791

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЕ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

С. В. БОЛОТОВ, Д. Н. ЮМАНОВ, Е. П. НИКИТЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Разработаны конечно-элементные модели электромагнитных и тепловых процессов контактной точечной сварки деталей из низкоуглеродистой стали Ст3сп 1...2 мм, основанные на решении связанной электромагнитно-тепловой задачи, учитывающие синусоидальную форму сварочного тока частотой 50 Гц и регулирование угла включения тиристоров для машин переменного однофазного тока серии МТ. В моделях учтены температурные зависимости электрофизических и теплофизических свойств материалов, нелинейные магнитные свойства свариваемых деталей, контактные сопротивления на границах раздела сред, фазовые переходы при плавлении металла, а также граничные условия электромагнитного и теплового взаимодействия.

Для численной реализации моделей предложено использование программного комплекса ANSYS. Получены картины распределения плотности тока, магнитного поля и температуры в зоне сварки (рис. 1), позволяющие определить размеры зоны взаимного расплавления свариваемых деталей (диаметра ядра $d_я$ и высоты ядра $h_я$) при различных параметрах режима контактной сварки.

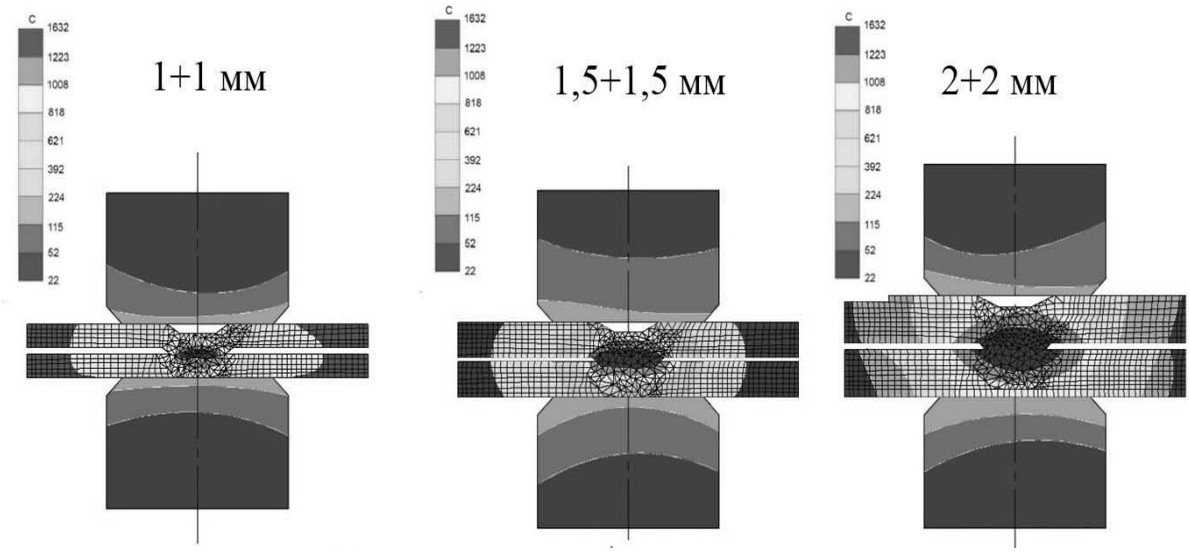


Рис. 1. Картины распределения тепловых полей в зоне контактной сварки деталей из низкоуглеродистых сталей различных толщин

Разработанные модели могут быть использованы для оптимизации параметров режима сварки с целью обеспечения минимальных размеров литой зоны по ГОСТ 15878–79 для сокращения энергопотребления однофазных машин контактной сварки серии МТ.

УДК 666.76

УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ ОГНЕУПОРОВ ЧЕРЕЗ СОЗДАНИЕ СТРУКТУРНЫХ УСЛОВИЙ ЗАЛЕЧИВАНИЯ ДЕФЕКТОВ

А. С. БУЯКОВ, М. П. ЛУКЬЯНЕЦ, А. Г. БУРЛАЧЕНКО, В. В. ШМАКОВ, Ю. А. МИРОВОЙ, А. А. НЕЙМАН, С. П. БУЯКОВА
Институт физики прочности и материаловедения им. В. Е. Панина СО РАН
Томск, Россия

Металлургия является флагманской отраслью экономики большинства стран, поскольку стали и сплавы составляют основу конструкционных материалов. Снижение затрат металлургического производства – ключевой фактор экономического развития смежных отраслей промышленности, а одной из основных статей этих затрат являются расходы на ремонт и замену футеровки плавильных и разливочных агрегатов. Именно эксплуатационные повреждения футеровки чаще всего становятся причиной вывода сталеплавильных агрегатов из технологического цикла. Накопление повреждений связано с низкой трещиностойкостью огнеупорной керамики, из которой изготавливается футеровка сталеплавильных агрегатов, лабораторных, стекольных и цементных печей. Согласно современным представлениям о трещиностойкости керамики в условиях термомеханических воздействий, увеличить срок службы футеровки можно за счет создания структурно-фазовых условий для увеличения работы распространения трещин и самозалечивания эксплуатационных дефектов.

Механизмы самозалечивания различаются для разных классов материалов. В металлах залечивание трещин происходит за счет диффузионного перемещения атомов при длительном термическом воздействии, в бетонах – за счет капсулированного отверждаемого полимера, вскрывающегося в устье трещины. В керамике самозалечивание может реализовываться посредством фазового перехода с образованием фазы большего удельного объема, химического взаимодействия компонентов на вновь образующихся поверхностях трещины либо за счет окисления отдельных компонентов. Сочетание таких структурно-фазовых предпосылок с высокой трещиностойкостью матрицы способно изменить сложившуюся ситуацию с ограниченным ресурсом футеровки сталеплавильных агрегатов.

В настоящей работе самозалечивание эксплуатационных микротрещин в магнезиальном огнеупоре достигнуто введением в исходный порошковый состав функционального компонента – гранул размером порядка 1 мм со структурой ядро – оболочка: ядро из карбида кремния (SiC), оболочка из композиции оксидов кремния и магния (SiO_2–MgO). Такая оболочка предотвращает преждевременное окисление SiC и образование силикатных фаз с матрицей при контакте с кислородом, проникающим через связную пористость огнеупора. При этом развитие трещины вблизи такого включения при рабочей температуре около 1 500 °C обеспечивает локальный приток кислорода к ядру гранулы: окисление SiC сопровождается увеличением объема продукта реакции, а его сравнительно низкие температура плавления и вязкость обеспечивают «мостикование» трещины расплавом, повышая работу ее дальнейшего распространения и тем самым тормозя рост дефекта.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 26-79-10078, https://rscf.ru/project/26-79-10078.

УДК 621.791.05

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МОСТОВ И МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

А. А. ВАСИЛЬЕВ, М. В. ЛАТУН
Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

Мосты и мостовые пешеходные переходы играют важную роль в современной логистике. В конструкциях этих сооружений широко используют сортовой прокат и особенно часто применяют уголковые профили. Особенностью этих профилей является значительная их асимметрия относительно осей, параллельных полкам. Из-за этого обстоятельства проектировщикам трудно обеспечить строгое соблюдение общих принципов конструирования. А это, в свою очередь, приводит к увеличению ресурсоемкости и снижает работоспособность сварных соединений и сооружения в целом. Из всего многообразия общих принципов конструирования особенно трудно обеспечить соблюдение следующих:

– принцип снижения материалоёмкости;
– принцип равномерного распределения напряжений в сечениях;
– принцип равнопрочности;
– принцип исключения сложного напряженного состояния;
– принцип минимизации напряжений изгиба в конструкции с максимальным использованием растяжения и сжатия.

Чтобы устранить указанные недостатки, проектировщики должны использовать прием, заключающийся в уменьшении неравномерности напряжений путем удаления материала из малонагруженных зон. Такой подход можно успешно реализовать с помощью последовательных приближений к оптимальному варианту (метод итераций).

В качестве примера можно привести эволюцию сварного соединения уголка с фасонкой, в которой традиционный вариант основан на непосредственном соприкосновении этих элементов. В результате последовательного использования рассматриваемых принципов конструирования удалось разработать более эффективный вариант, в котором за счет совмещения осей соединяемых элементов удалось оптимизировать конструкцию.

Анализ традиционной конструкции показал наличие несовпадения продольных осей уголка и косынки, что явилось причиной возникновения сложного напряженного состояния с изгибом каждого из соединяемых элементов.

Были проведены сравнительные расчеты конечно-элементных моделей с применением программы SolidWorks Simulation. Результаты расчетов показали значительное снижение (в 3,22 раза) эксплуатационных напряжений в предложенной конструкции узла.

Данный результат был обеспечен за счет совпадения продольных осей фасонки и уголка, достигнутого с помощью прорези в одном из элементов (либо в фасонке, либо в уголке).

УДК 533.924+536.24

МОДЕРНИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ РАДИАЦИОННО-КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУЙ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ МИШЕНЯМИ

А. И. ВЕРЕМЕЙЧИК
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

Исследование процессов тепломассопереноса при ударе высокотемпературных плазменных струй о преграды остается актуальной задачей. Обычно итоги таких фундаментальных изысканий сводятся к полуэмпирическим критериальным уравнениям, которые связывают безразмерные числа Нуссельта или Стэнтона с локальными коэффициентами теплоотдачи. Однако на практике использование классических подходов (например, зависимостей Б. Н. Юдаева [1]) часто выявляет математическую несогласованность расчетных формул на границах автомодельных зон. Это существенно снижает точность прогнозирования кинетики термического удара. Научная новизна данной работы заключается в устранении этих расчетных противоречий за счет прецизионного профилирования локальной тепловой нагрузки и дальнейшей верификации сопряженной модели.

В рамках физической задачи рассмотрено ортогональное соударение осесимметричного турбулентного плазменного потока с плоской поверхностью стальной мишени. Интенсивный нагрев фронтальной плоскости обусловлен сочетанным влиянием конвекции и радиационного излучения газовой фазы. Конвективная составляющая теплового удара формируется путем прямого переноса кинетической и внутренней энергии из пограничного слоя струи. Для детального анализа гидродинамики потока и сопряженных механизмов переноса энергии была разработана обобщенная физико-математическая схема.

Моделируемая область включает внешнюю газовую среду с параметрами высокотемпературного газа на срезе сопла плазмотрона (энтальпия, среднемассовая скорость и температура потока до 6 000 К), а также внутреннюю зону – объем деформируемой стальной пластины. При переходе потока в область гидродинамического торможения и стагнации кинетическая энергия газа трансформируется в тепловую. Из-за градиента статического давления плазменная струя растекается радиально вдоль поверхности раздела фаз. Непосредственно у стенки возникает вязкий и тепловой пограничный слой, лимитирующий интенсивность конвективного теплообмена по закону Ньютона – Рихмана. При этом масштаб зоны термического влияния коррелирует с параметром гауссова распределения тепловой нагрузки.

Для описания интенсивности теплопереноса применен критериальный подход, определяющий безразмерное число Стэнтона через локальные числа Рей-

нольдса (рассчитанные по толщине потери энергии) и числа Прандтля. Интегрирование уравнения энергии пограничного слоя для окрестности критической точки позволило устранить функциональные разрывы, свойственные традиционным зависимостям Б. Н. Юдаева на стыках автомодельных режимов течения. Влияние начальной турбулентности струи авторы аппроксимировали с помощью эмпирического коэффициента, привязанного к пульсационной составляющей скорости.

Модернизированный алгоритм позволил рассчитать локальные коэффициенты теплоотдачи для аргоновой, азотной и кислородной плазмы в диапазонах температур 4 000 и 6 000 К при варьировании объемного расхода. Установлено, что по мере роста режимного числа Рейнольдса локальное число Рейнольдса по толщине потери энергии монотонно увеличивается (с постепенным затуханием темпа роста), тогда как число Стэнтона нелинейно убывает. Это подтверждает закономерное ослабление безразмерной интенсивности теплоотдачи при развитии динамического пограничного слоя и увеличении общей скорости потока. Сравнительный анализ показал, что в исследуемом диапазоне параметров пиковая интенсивность теплоотдачи достигается в азотной плазме при расходе 100 л/мин и температуре факела 6 000 К. Такой эффект вызван эндотермической диссоциацией двухатомных молекул азота и его высокой молекулярной теплоемкостью в данном температурном интервале. Кислородная плазма показала близкие, но чуть меньшие значения. Аргон, в силу низких теплофизических транспортных свойств одноатомного инертного газа, продемонстрировал минимальные коэффициенты теплоотдачи на всех режимах. Увеличение объемного расхода закономерно интенсифицирует теплоотдачу для всех газов под влиянием динамического напора.

В работе количественно зафиксирована топология энергетического баланса на границе раздела сред. Результирующий тепловой поток в критической точке распределяется следующим образом: конвективный перенос обеспечивает основной вклад (около 90 %), а на радиационную долю дугового столба приходится порядка 10 %. В ходе непрерывного термического удара и нагрева лицевой поверхности пластины плотность конвективного потока монотонно падает из-за сокращения температурного градиента между газом и стенкой. При этом лучистый приток энергии остается практически неизменным. Падение конвективного вклада на фоне стабильной радиационной составляющей приводит к перераспределению долей в общем балансе: небольшому снижению конвективной части и повышению радиационной.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Юдаев, Б. Н.** Газодинамическое сопротивление нагреваемых тел / Б. Н. Юдаев. – М. : Машиностроение, 1973. – 264 с.

УДК 621.78.048.7:519.876.5:004.89

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЛАЗЕРНОМ НАГРЕВЕ СТАЛЕЙ

А. И. ВЕРЕМЕЙЧИК[1], А. Е. ЖЕЛТКОВИЧ[1], В. В. МОЛОШ[1], С. В. САВЧУК[1], А. А. ШЕЙКО[1], П. В. МАЗУРИК[1], С. Г. КРАСОВСКИЙ[2], J. YANG[3], T. PANG[3]
[1]Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь
[2]Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь
[3]Dalian University of Technology
School of Mathematical Sciences; Key Laboratory for Computational Mathematics and Data Intelligence of Liaoning Province
Dalian, China

Высокоточная лазерная обработка конструкционных металлов и сплавов выступает ключевым драйвером развития современного автоматизированного машиностроения и аддитивного производства. Тем не менее эксплуатационные свойства, структурно-фазовое состояние и геометрическая точность финишных изделий находятся в жесткой зависимости от пространственно-временной конфигурации температурных полей, формирующихся непосредственно в зоне теплового контакта. Избыточное энерговыделение или деструктивно высокие темпы кристаллизации и охлаждения провоцируют внутренние механические напряжения, возникновение микротрещин, нежелательные фазовые трансформации и деформацию макроструктуры сплава. Традиционная регистрация термических показателей посредством стандартных термопарных датчиков или инфракрасных оптических пирометров существенно усложнена вследствие экстремальной динамики процессов, локальности зоны воздействия и экранирующих эффектов. Классические подходы численного моделирования (метод конечных элементов) требуют колоссальных системных ресурсов и детального знания нестационарных теплофизических коэффициентов, которые динамически меняются в процессе нагрева. В сложившихся условиях критически важным вектором исследований становится синтез интеллектуальных скоростных алгоритмов вычислительной аппроксимации. Использование многослойных искусственных нейронных сетей (ИНС) предоставляет радикально новые аналитические инструменты для предиктивного мониторинга тепловых полей в дискретном масштабе реального времени [1], комбинируя математическую строгость и высокую скорость генерации откликов на основе накопленного пула экспериментальных паттернов.

Проектируемая вычислительная архитектура базируется на концепции многослойного полносвязного перцептрона (MLP), развернутого средствами специализированного высокоуровневого прикладного интерфейса TensorFlow

Keras [2]. Данный стек программирования автоматизирует тензорные вычисления, оптимизируя процедуры обратного распространения ошибки.

Математический контур нейросетевой модели структурирован следующей последовательностью функциональных уровней:

– входной сенсорный слой;

– первичный скрытый вычислительный уровень;

– вторичный скрытый уровень абстракции;

– третий скрытый уровень фильтрации;

– выходной целевой слой.

Интерактивное взаимодействие с программной системой реализовано в виде адаптивных веб-форм. Первичный этап предполагает загрузку массивов данных и сопутствующих технологических параметров через соответствующую диалоговую форму. После накопления достаточного репрезентативного объема экспериментальных точек система автоматически активирует фоновый поток обучения нейросетевой модели. Итоговый интерфейс предоставляет оператору удобный функционал ввода гипотетических параметров для мгновенного получения прогностических значений температурного профиля в контрольных точках детали.

Специализированный программный модуль берет на себя задачи низкоуровневого сопряжения с аппаратными измерительными комплексами, валидации структуры временных рядов, синтаксического разбора файлов электронных таблиц и индексирования нормализованной информации в среде реляционного хранилища:

1) процедура обработки и предобработки (/upload);

2) алгоритмы нормализации временных интервалов;

3) контур сохранения файлов и СУБД.

Информационная схема БД разворачивается автоматически при инициализации системы посредством триггеров CREATE TABLE IF NOT EXISTS. Итоговая таблица агрегирует как первичный идентификатор (id) и числовые показатели физических полей (time, temperature), так и комплекс сопутствующих технологических параметров эксперимента. Разработанный комплекс демонстрирует высокую надежность и стабильность прогнозирования тепловых состояний при лазерном термоупрочнении сталей на базе нейросетей TensorFlow Keras, обладая широкими возможностями для масштабирования на другие классы конструкционных материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Application of Neural Networks and Soft Computing in Predictive Modeling of Laser Thermal Hardening / M. Kowalski, J. Novak, L. Szabo [et al.] // International Journal of Thermal Sciences. – 2025. – Vol. 194. – Art. 108520.

2. **Смит, Дж.** Глубокое обучение и нейросетевые технологии на практике с использованием экосистемы TensorFlow и Keras : пер. с англ. / Дж. Смит, К. Браун. – М. : Лаборатория знаний, 2022. – 720 с.

УДК 378.1

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ И КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Н. С. ВИНОГРАДОВ, Д. В. ГУРЬЯНОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современные локальные конфликты и миротворческие операции предъявляют к средствам индивидуальной бронезащиты всё более жёсткие требования. Необходимо обеспечивать высокий уровень защиты личного состава от пуль и осколков при одновременном снижении массы снаряжения, чтобы сохранить мобильность и боеспособность военнослужащего. Традиционные металлические броневые системы и чисто полимерные волокнистые ламинаты уже приблизились к пределу своих защитных свойств. В этих условиях ключевое значение приобретает разработка многофазных композитных структур, объединяющих твёрдую керамику и высокопрочные полимерные волокна.

Индивидуальная бронезащита нового поколения представляет собой сложную многослойную систему, в которой каждый элемент выполняет строго определённую функцию. Лицевая керамическая панель принимает удар поражающего элемента и разрушает его, а тыльная композитная подложка поглощает остаточную кинетическую энергию и удерживает осколки керамики. Синергия этих слоёв обеспечивает защиту, недостижимую для каждого материала в отдельности.

Ключевым элементом такой системы является керамическая бронепанель. Наибольшее распространение получили карбид бора, карбид кремния и оксид алюминия. Карбид бора обладает наилучшим соотношением твёрдости и плотности, однако его высокая стоимость и относительно низкая трещиностойкость ограничивают применение. Карбид кремния представляет собой наиболее сбалансированный по критерию «цена – качество» материал и широко используется в бронежилетах среднего и высокого класса защиты. Оксид алюминия дёшев и технологичен, но имеет повышенную плотность. Перспективным направлением является создание наноструктурированной и градиентной керамики, способной перераспределять ударную нагрузку и повышать живучесть панели при многократных попаданиях.

Важнейшую роль играет композитная подложка. Основным материалом для неё служит сверхвысокомолекулярный полиэтилен, удельная прочность которого в десятки раз превышает прочность стали. Однонаправленные структуры на его основе обеспечивают эффективное рассеивание энергии удара. Арамидные волокна применяются там, где необходима повышенная термостойкость и огнезащита. Совместное использование различных типов волокон в много-

слойном пакете позволяет оптимизировать защитные характеристики при заданной массе.

Особое внимание уделяется проектированию границы раздела «керамика – подложка». Согласование акустических импедансов материалов позволяет управлять распространением ударных волн и снижать растягивающие напряжения, приводящие к откольному разрушению керамики. Дополнительный эффект даёт введение ограничивающих слоёв, создающих предварительное сжатие панели. Для расчёта таких конструкций применяются методы численного моделирования, включая конечно-элементный анализ и гидрокоды, а также экспериментальные методы баллистических испытаний с высокоскоростной регистрацией процесса.

Существенный вклад в развитие нового поколения бронезащиты вносит цифровизация исследований и производства. Виртуальное проектирование позволяет ещё на этапе разработки оценивать поведение конструкции при различных сценариях поражения, а также более наглядно продемонстрировать идею без обязательного создания прототипа. Аддитивные технологии открывают возможность изготовления керамических панелей сложной геометрии и топологически оптимизированных ограничивающих структур. Совместные лаборатории и центры коллективного пользования Беларуси и России способны обеспечить полный цикл – от синтеза материала до баллистической сертификации изделия. Данный подход позволяет оцифровать и ускорить процесс разработки и исследования новых материалов, что, конечно же, является важным шагом на пути автоматизации данного процесса.

Практическая реализация этих направлений требует тесной кооперации науки, образования и промышленности. Вузы должны готовить специалистов, владеющих современными методами материаловедения и численного моделирования, а предприятия – обеспечивать внедрение разработанных решений. В рамках Союзного государства целесообразно формирование совместных научно-производственных кластеров, ориентированных на создание новых броневых материалов и изделий. Это позволит объединить компетенции двух стран в области керамических технологий, производства высокопрочных волокон и баллистических испытаний.

Заключение. В итоге разработка перспективных композитных и керамических материалов для средств индивидуальной бронезащиты является стратегически важным направлением обеспечения безопасности военнослужащих. Комплексное решение научных, технологических и организационных задач позволит создать отечественные образцы бронезащиты нового поколения, не уступающие лучшим мировым аналогам. Сейчас самыми распространёнными материалами являются керамические бронепанели (карбиды кремния, бора, оксид алюминия) и полиэтиленовая композитная подложка. Интеграция передовой науки и реального сектора экономики создаёт надёжный фундамент для укрепления обороноспособности и технологического суверенитета Союзного государства.

УДК 677.494.6:678.82

НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА 6 С ЧАСТИЦАМИ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ: МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Т. А. ВИШНЕВСКАЯ, Н. Р. ПРОКОПЧУК
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Полиамид 6 (ПА6) является одним из наиболее востребованных конструкционных термопластов благодаря высоким механическим свойствам, химической стойкости, износостойкости и технологичности переработки. Широкое применение ПА6 стимулирует поиск новых методов улучшения его эксплуатационных характеристик. Перспективным направлением является модифицирование полимерной матрицы наноразмерными частицами оксидов металлов, позволяющее достичь значительного улучшения свойств при сверхмалых концентрациях наполнителя [1]. Введение наночастиц TiO_2, ZnO, Al_2O_3 и SiO_2 открывает возможности не только для упрочнения, но и для придания полимеру новых функциональных свойств [2].

Объектами исследования в данной работе являлись композиты на основе промышленного ПА6, в которые вводились сверхмалые количества наночастиц оксидов металлов различной природы: диоксид титана (TiO_2), оксид цинка (ZnO), оксид алюминия (Al_2O_3) и оксид кремния (SiO_2). Композиты получали методом механического смешения в расплаве с помощью двухшнекового экструдера с последующим формованием образцов методом литья под давлением. Содержание добавки варьировалось для выбора оптимальной концентрации. Механические свойства оценивались по стандартным методикам: определялись предел текучести, модуль упругости при растяжении и изгибе, максимальная изгибающая нагрузка, деформационные характеристики, ударная вязкость по Шарпи и Изоду как с надрезом, так и без надреза.

Проведенные комплексные исследования показали, что введение сверхмалых количеств наночастиц оксидов металлов в ПА6 приводит к значительному повышению упруго-прочностных характеристик. Для всех исследованных наночастиц была установлена экстремальная зависимость «состав – свойство»: максимальное улучшение достигается при концентрации около 0,015 мас. %. При этом наночастицы TiO_2 и ZnO проявляют практически равноценную высокую эффективность, обеспечивая рост предела текучести, модулей упругости при растяжении и изгибе, максимальной изгибающей нагрузки, а также ударной вязкости. Наночастицы Al_2O_3 и SiO_2 также повышают механические показатели, но в меньшей степени. Установлен следующий ряд эффективности наночастиц при модификации свойств ПА6: $TiO_2 \sim ZnO > Al_2O_3 > SiO_2$.

Установлено, что модифицирование полиамида 6 сверхмалыми добавками наночастиц оксидов металлов является высокоэффективным методом целенаправленного регулирования механических свойств данного материала [3]. При

этом наибольшую эффективность проявляют наночастицы диоксида титана. При их введении в оптимальной дозировке достигается комплексное улучшение механических характеристик:

– предел текучести повышается на 26 %...27 %;

– модуль упругости при растяжении возрастает на 24 %...26 %;

– модуль упругости при изгибе увеличивается на 25 %...26 %;

– максимальная изгибающая нагрузка растет на 25 %...29 %;

– деформация при пределе текучести увеличивается на 23 %...25 %;

– ударная вязкость по Шарпи повышается на 22 %...40 %;

– ударная вязкость по Изоду возрастает на 28 %...30 %.

Наночастицы оксида алюминия (Al_2O_3) и оксида кремния (SiO_2) также повышают механические показатели, однако в меньшей степени: предел текучести возрастает на 18 %...22 %, а модуль упругости при изгибе – на 19 %...21 %.

Таким образом, установлен следующий ряд эффективности наночастиц по степени влияния на механические свойства ПА6: $TiO_2 \sim ZnO > Al_2O_3 > SiO_2$.

Предложен механизм наноструктурирования ПА6 наночастицами: наночастицы, имея на своей поверхности электрический нескомпенсированный заряд, взаимодействуют с полярными амидными группами макромолекул ПА6, образуя силы Ван-дер-Ваальса; эти силы замедляют движение звеньев макромолекул полимера, повышают его устойчивость в температурно-силовых полях.

Образование дополнительных и существующих в ПА6 межмолекулярных взаимодействий подтверждено экспериментально: ростом показателя текучести расплава, температуры стеклования, энергии активации термоокислительной деструкции, степени кристалличности, времени релаксации и снижением линейной усадки и равновесного влагосодержания наноструктурированного ПА6.

Полученные результаты имеют важную практическую значимость. Созданные нанокомпозиты на основе ПА6 с улучшенным комплексом механических свойств могут найти широкое применение в автомобилестроении, аэрокосмической отрасли, производстве спортивного инвентаря, медицинских изделий и специальной защитной экипировки. Достижение существенного эффекта при сверхмалых концентрациях наполнителя важно с экономической точки зрения и позволяет сохранить технологичность переработки полимера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Nichugovskiy, A.** Recent Advances in the Synthesis of Polyamine Derivatives and Their Applications / A. Nichugovskiy, G. C. Tron, M. Maslov // Molecules. – 2021. – Vol. 26, № 21.

2. Synthesis, Characterization, and Evaluation of the Antimicrobial and Anticancer Activities of Zinc Oxide and Aluminum-Doped Zinc Oxide Nanocomposites / M. Asif, M. Fakhar-e-Alam, M. Tahir [et al.] // Pharmaceuticals. – 2024. – Vol. 17, iss. 9.

3. **Вишневская, Т. А.** Влияние наночастиц оксидов металлов на механические свойства полиамида 6 / Т. А. Вишневская, Н. Р. Прокопчук // Полимерные материалы и технологии. – 2025. – Т. 11, № 2. – С. 31–38.

УДК 678.01:543.2:547.56

ВЛИЯНИЕ ВУЛКАНИЗУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА УСТАЛОСТНУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ РЕЗИН НА ОСНОВЕ СИЛОКСАНОВОГО КАУЧУКА

К. В. ВИШНЕВСКИЙ, Ж. С. ШАШОК
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Силиконовые каучуки (СК) занимают особое место среди эластомерных материалов благодаря уникальному сочетанию эксплуатационных характеристик: широкому интервалу рабочих температур, высокой химической стойкости, биоинертности и превосходным диэлектрическим свойствам [1]. Однако, несмотря на очевидные преимущества, применение силоксановых эластомеров в изделиях, подвергающихся циклическому нагружению (уплотнительные манжеты, виброизоляторы, гибкие соединительные элементы), часто ограничивается недостаточной прочностью и усталостной выносливостью. Данный параметр является критическим показателем долговечности и определяется не только природой каучука, но и типом вулканизующей системы, которая формирует структуру пространственной сетки [2].

В промышленной практике наиболее распространённым методом вулканизации СК является радикальная пероксидная сшивка. Пероксид определяет не только кинетику процесса и степень сшивания, но и структурно-морфологические характеристики сетки. В частности, бифункциональные пероксиды, такие как DBPMH (2,5-диметил-2,5-ди(трет-бутилперокси)гексан) и BIBP (бис-(трет-бутилдиоксиизопропил)бензол), способны инициировать образование более упорядоченной сетки за счёт двух активных пероксидных групп в молекуле. В то же время традиционно используемые DCP (дикумилпероксид) и DCLBP (2,4-дихлорбензоилпероксид) формируют сетку с иной структурой, что может приводить к локальной неоднородности и снижению скорости протекания релаксационных процессов.

Цель работы – систематическое исследование влияния типа пероксидного вулканизующего агента на усталостную выносливость резин на основе метилвинилсилоксанового каучука со средней степенью наполнения, обеспечивающей твердость по Шору А около 40 усл. ед. Выбор данной рецептуры обусловлен её широким применением при производстве герметизирующих и амортизирующих изделий, работающих в условиях динамических нагрузок. В качестве объектов сравнения выступали четыре вулканизующие системы: DBPMH, BIBP, DCP и DCLBP. Вулканизацию проводили при оптимальных для каждого пероксида температурно-временных режимах, обеспечивающих максимальную степень превращения.

Оценку усталостной выносливости осуществляли по стандартизированной методике многократного продольного изгиба (ГОСТ 9983) на образцах-полосках с

проколом. Оценка усталостной выносливости проводилась на основе данных по сопротивлению резины разрастанию трещин. За результат принималось среднее арифметическое испытаний всех образцов, при этом регистрировалось количество циклов нагружения до разрастания трещины до величины 12 мм. Испытания проводились при комнатной температуре (23 ± 2) ºС с частотой деформирования 5 Гц.

Результаты испытаний показали, что усталостная выносливость в значительной степени зависит от природы пероксида. Наименьшую стойкость к циклическому нагружению показали образцы с DCLBP – 126 тыс. циклов; максимальное количество циклов нагружения (160 тыс. циклов) выявлено для композиции, вулканизованной DBPMH, что на 27 % выше по сравнению с DCLBP и на 20 % выше, чем для стандартного DCP (133 тыс. циклов). Резины с BIBP характеризуются промежуточным значением (147 тыс. циклов), что также на 10,5 % превосходит показатель резин с DCP.

Полученные результаты, вероятно, связаны с тем, что бифункциональные пероксиды DBPMH и BIBP, обладая двумя реакционноспособными центрами, инициируют образование более гибкой и однородной пространственной сетки с оптимальной длиной цепи между сшивками. Такая структура способствует эффективной диссипации механической энергии в зоне вершины растущей усталостной трещины за счёт реализации механизмов вынужденной высокоэластичности и ориентационного упрочнения [3]. Напротив, DCLBP и DCP, формируя сетку с более высокой локальной плотностью узлов и наличием дефектных областей, создают жёсткие области, которые в условиях циклического деформирования выступают в роли концентраторов напряжений. Это приводит к ускоренному зарождению и росту микротрещин усталости, что и обусловливает более низкие значения показателя сопротивления резины разрастанию трещин.

Практическая значимость проведённого исследования заключается в обоснованном выборе вулканизующей системы для компаундов на основе ПМВС-40, предназначенных для изготовления изделий, эксплуатируемых в режиме многократных циклических деформаций. Замена традиционного DCP на DBPMH или BIBP позволяет увеличить ресурс работы уплотнительных и амортизирующих элементов на 20 %...27 % без изменения рецептуры наполнения и технологических параметров переработки, что открывает дополнительные резервы повышения надёжности и долговечности продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Shit, S. C.** A Review on Silicone Rubber / S. C. Shit, P. Shah // National Academy Science Letters. – 2013. – Vol. 36, № 4. – P. 355–365.

2. **Norouznezhad, M.** Cross-linking network topology and durability in silicone rubber sealants for PEMFCs: the impact of curing systems and nanosilica interactions / M. Norouznezhad, H. Janani // Journal of Polymer Research. – 2024. – Vol. 31, № 2. – Art. 45.

3. Temperature-Dependent Viscoelastic Energy Dissipation and Fatigue Crack Growth in Filled Silicone Elastomers / Q. Chen [et al.] // ACS Applied Polymer Materials. – 2021. – Vol. 3, № 12. – P. 6207–6217.

УДК 661.96

ДАТЧИКИ ВОДОРОДА ДЛЯ БУДУЩЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОДОРОДНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

Ф. Р. ГАЙНУТДИНОВ, Д. Ф. ГАЙНУТДИНОВА,
А. И. ГАЛИМОВ, З. Р. КАМАЛОВА
Казанский государственный энергетический университет
Казань, Россия

Водород рассматривается как универсальный энергоноситель, способный связывать производство электроэнергии из возобновляемых источников с транспортом, промышленностью, теплоснабжением и длительным хранением энергии. Его роль определяется не только возможностью низкоуглеродного получения, но и совместимостью с электрохимическими преобразователями, прежде всего с топливными элементами [1–3]. Расширение водородной инфраструктуры одновременно повышает требования к контролю качества газа, безопасности соединений и оперативной диагностике оборудования.

Качество водорода является самостоятельным техническим параметром. ISO 14687:2025 нормирует характеристики водородного топлива для ряда применений [4]. Для топливных элементов существенны следовые количества монооксида углерода, серосодержащих соединений, аммиака, влаги и кислорода. Их определение основано на специализированных методах [5], тогда как предмет настоящей работы составляет конструктивное обеспечение газоаналитических систем: подвод пробы, размещение сенсорного узла и сборка печатных компонентов.

На стадии создания функционального образца особое значение имеют доступность монтажных зон, надежное сопряжение деталей и возможность согласования печатного газового тракта с выбранным сенсорным узлом. Конструктивное исполнение должно обеспечивать организованный подвод среды, компоновку вспомогательных компонентов и удобство обслуживания без усложнения основной схемы изделия. Задача изготовления корпуса для такого прототипа хорошо согласуется с аддитивным производством. Послойное формирование позволяет быстро изменять внутреннюю компоновку, расположение окон и крепежных элементов, объединять в одной детали монтажные и каналообразующие функции и переходить от цифровой модели к физическому образцу без изготовления оснастки. При этом точность сопряжений, пористость и потенциальная проницаемость стенок определяются параметрами печати и должны учитываться на стадии проектирования.

Цель работы по проекту «3D-печатные решения для анализа примесей в водороде» – создание и функциональная проверка набора полиамидных 3D-печатных компонентов для газоаналитической системы, включающего корпус, съемную монтажную крышку и газовый тракт.

Технические требования первого этапа TT-GAS-3D/2025 использованы как исходная проектная рамка. При реализации учтены предусмотренные ими цифровое моделирование, аддитивное изготовление, сборочное исполнение,

доступность монтажных зон и подключение газовой линии. Конкретные конструктивные интерфейсы адаптированы к выбранному лабораторному образцу.

Разработанный набор включает три 3D-печатных компонента: основной корпус, газовый тракт и съемную монтажную крышку. Функциональная схема ФС-0 построена на двух уровнях: основные блоки определяют назначение печатных компонентов, а промежуточные блоки характеризуют способы их конструктивного сопряжения. Сенсорный узел, модуль индикации и управляющий модуль относятся к устанавливаемому оборудованию и не учитываются как самостоятельные печатные элементы. На рис. 1 представлен образец набора компонентов из полиамида для газоаналитических систем для анализа примесей в водороде.



Рис. 1. Изготовленный образец: внутренняя компоновка, задняя панель и собранное изделие

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system / I. Staffell [et al.] // Energy & Environmental Science. – 2019. – Vol. 12. – P. 463–491.

2. Hydrogen energy systems: A critical review of technologies, applications, trends and challenges / M. Yue [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2021. – Vol. 146. – P. 111180.

3. **Dawood, F.** Hydrogen production for energy: An overview / F. Dawood, M. Anda, G. M. Shafiullah // International Journal of Hydrogen Energy. – 2020. – Vol. 45, № 7. – P. 3847–3869.

4. Hydrogen fuel quality. Product specification: ISO 14687:2025.

5. Review and Survey of Methods for Analysis of Impurities in Hydrogen for Fuel Cell Vehicles According to ISO 14687:2019 / C. Beurey [et al.] // Frontiers in Energy Research. – 2021. – Vol. 8. – P. 615149.

УДК 004.032.26:543

ХЕМОМЕТРИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

И. А. ГАРЕЕВ, Г. Г. АМИНЕВА, З. А. БАШИРОВА
Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

Введение. Современные мультисенсорные системы (электронные языки и носы) формируют большие массивы многомерных данных, для которых необходимы эффективные способы извлечения значимой информации. Классические подходы, такие как PCA и PLS, рассчитаны преимущественно на статические наборы данных. Между тем многие реальные химико-технологические процессы – старение, коррозия, фрактализация, экстракция – обладают выраженной временной динамикой. В связи с этим разработка хемометрических подходов, учитывающих эволюцию системы во времени, представляет собой актуальную задачу, лежащую на пересечении аналитической химии, математики и информатики.

Цель работы – разработка и апробация комплекса хемометрических алгоритмов (темпоральный PCA, LEAVE-ONE-OUT, частотный анализ, пермутационный тест, PLS-T' анализ, фрактальный анализ) для классификации и мониторинга сложных систем с синергетической природой в режиме реального времени.

Методы исследования. Проанализированы экспериментальные данные нескольких типов: старение растворимых кофейных напитков (вольтамперометрия); анодное растворение алюминиевой фольги (хроноамперометрия в растворе хлорида натрия); анодное растворение никелевой проволоки (хроноамперометрия в растворе хлорида натрия); фрактализация графитового электрода (циклическая вольтамперометрия в присутствии ионов металлов). В работе применены классический PCA, темпоральный PCA с транспонированием матрицы, БПФ абсолютных счетов, LEAVE-ONE-OUT, пермутационный тест, PLS-T' анализ и фрактальный анализ степенного распределения амплитуд.

Вывод. Сочетание перечисленных алгоритмов позволяет получать информативную картину динамики электрохимических систем, выявлять стадийность процессов и их качественные перестройки, а также оценивать устойчивость и неслучайность наблюдаемых структур. Разработанный комплекс может найти применение для автоматической классификации, мониторинга и прогнозирования состояния сложных объектов в реальном времени в задачах химической технологии, контроля качества и экологического мониторинга.

УДК 622.765

ПРИМЕНЕНИЕ НУКЛЕОФИЛЬНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ПРИ ФЛОТАЦИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РУДЫ

Г. Ю. ГОЛЬБЕРГ, О. Г. ЛУСИНЯН, Д. Ю. МАРЧЕНКО,
А. С. КОРЗИНОВА, А. А. ЛАВРИНЕНКО
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н. В. Мельникова РАН
Москва, Россия

В настоящее время в связи с вовлечением в переработку бедных малосульфидных руд сложного вещественного состава становится актуальной задача повышения эффективности обогащения таких руд, включая увеличение извлечения меди и никеля путем совершенствования реагентного режима флотации. Это достигается, в частности, применением органических реагентов, образующих комплексные соединения с ионами меди и никеля, в композиции с основным собирателем, как показано в [1, 2]. Механизм действия этих реагентов, согласно [3], основан на донорно-акцепторных взаимодействиях неподеленных электронных пар с вакантными *d*-орбиталями атомов и ионов переходных металлов, в том числе меди и никеля. По нашему мнению, из многочисленных реагентов, содержащих нуклеофильные атомы азота и способных к образованию комплексных соединений с ионами меди и никеля, интерес представляют азолы [4], а также азосоединения, содержащие ароматическое кольцо с гидроксильной группой в орто-положении к азогруппе [1], образующие прочные комплексы с названными металлами.

В данной работе выполнены экспериментальные исследования с целью определения влияния органических соединений, содержащих систему нуклеофильных атомов, на флотацию медно-никелевой руды.

Исследовали пробу медно-никелевой руды Кольского полуострова, содержащую 0,25 % меди, 0,44 % никеля, 17,2 % кремния. Минеральный состав: сульфиды (пентландит, виоларит, никеленосный пирротин), силикаты (антигорит, кордиерит в сростках с сульфидными минералами и др.). Медь содержится преимущественно в халькофиллите.

Были выбраны следующие реагенты:

– Р1 из класса азолов, с сопряженной системой атомов азота;

– Р2 – азосоединение с гидроксильной группой в орто-положении;

– Р3 – арсеназо I, также содержащий азогруппу и гидроксильную группу в орто-положении.

Лабораторные опыты по флотации осуществляли по двухстадиальной схеме, предусматривающей последовательное выполнение операций основной флотации всей пробы руды и контрольной флотации хвостов. Последовательность подачи реагентов на каждой из операций: модификатор → собиратель (бутиловый ксантогенат калия, БКК) → пенообразователь (метилизобутил-

карбинол, МИБК). Суммарный расход БКК составил 112 г/т, МИБК – 21 г/т. Расход модификатора варьировали в пределах от 0 до 5 г/т. По результатам опытов определяли: выход концентрата, извлечение меди и никеля (соответственно γ, εCu и εNi). На рис. 1 представлены графики зависимости εCu и εNi от расхода исследованных модификаторов.

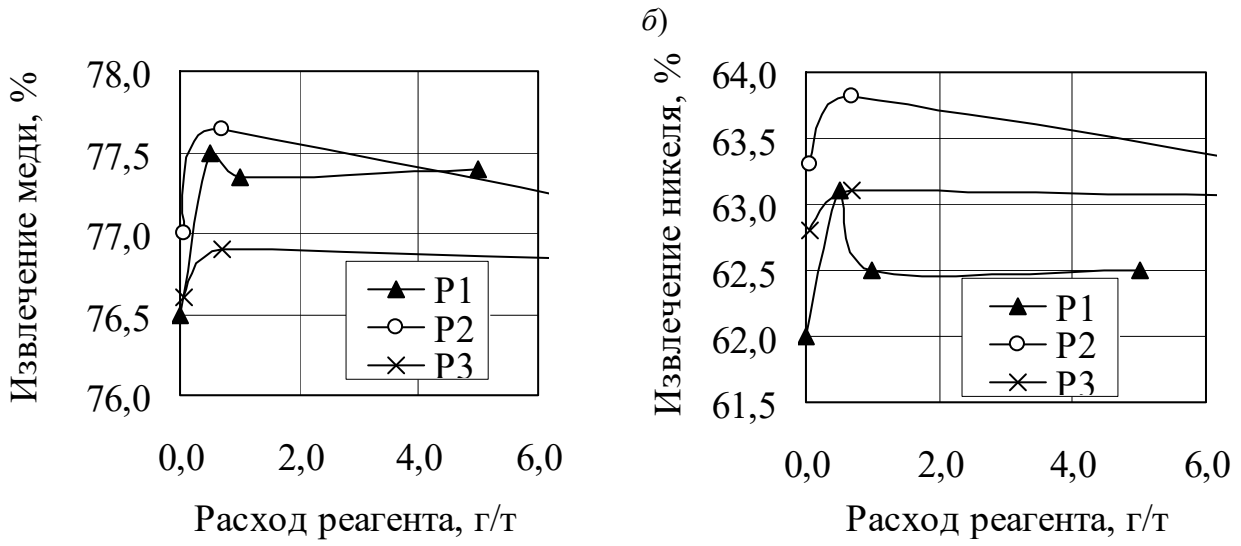


Рис. 1. Влияние расхода модификаторов на извлечение металлов: *а* – медь; *б* – никель

Как видно на рис. 1, наибольшие значения εCu и εNi достигаются при расходе модификаторов примерно 1 г/т, причем наиболее эффективен Р2. Меньшие значения εCu и εNi для Р3 по сравнению с Р2 обусловлены, вероятно, большими размерами молекулы Р3, поэтому для этого реагента прочность комплексов с металлами меньше, чем для Р2.

Таким образом, по результатам экспериментальных исследований выявлена перспективность применения при флотации медно-никелевых руд модификаторов: реагента из класса азолов с сопряженной системой атомов азота и азосоединения с гидроксильной группой в орто-положении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гусев, В. Ю.** Азопроизводные пирокатехина, резорцина и салициловой кислоты как собиратели для флотации сульфидных руд / В. Ю. Гусев, Е. В. Байгачева, В. О. Гоголишвили // Журнал прикладной химии. – 2019. – Т. 92, № 12. – С. 1598–1609.

2. **Базарова, Е. А.** Возможности использования бифункциональных азотсодержащих собирателей при флотации медно-никелевых руд / Е. А. Базарова, Е. В. Черноусенко, Г. В. Митрофанова // Цветные металлы. – 2025. – № 11. – С. 24–29.

3. **Рябой, В. И.** О поверхностных реакциях флотореагентов с минералами на основе их донорно-акцепторного взаимодействия / В. И. Рябой // Обогащение руд. – 2008. – № 6. – С. 24–30.

4. **Кузнецов, Ю. И.** Физико-химические аспекты защиты металлов ингибиторами коррозии из класса азолов / Ю. И. Кузнецов, Л. П. Казанский // Успехи химии. – 2008. – Т. 77, № 3. – С. 227–241.

УДК 629.113

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРУБОПРОВОДОВ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОУСИЛИТЕЛЯ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Н. Н. ГОРБАТЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Динамические свойства гидравлического усилителя рулевого управления (ГУР) оказывают непосредственное влияние на быстродействие, точность и устойчивость передачи управляющего воздействия от рулевого колеса к управляемым колесам автомобиля. В отличие от сосредоточенных механических систем, гидроусилитель с протяженными напорными и сливными линиями представляет собой связную гидромеханическую систему с распределенными параметрами. Поэтому изменение геометрии трубопроводов способно приводить к изменению не только гидравлических потерь, но и собственных динамических свойств всей системы.

Особенно актуальной эта задача становится для грузовых автомобилей, в которых гидроусилитель может быть удален от насоса, распределителя или исполнительного гидроцилиндра на значительное расстояние. При этом длина трубопроводов определяется компоновкой автомобиля и может изменяться в широких пределах. Диаметр трубопровода, в свою очередь, определяется требованиями к расходу, допустимым потерям давления, габаритам и технологическим ограничениям.

Цель работы – установление причинно-следственной связи между геометрией стальных трубопроводов, модальным спектром и частотными характеристиками гидроусилителя рулевого управления.

В работе представлены результаты численного исследования влияния диаметра (6, 8, 10 и 12 мм) и длины (1 000, 1 500, 2 000 и 3 000 мм) стальных напорного и сливного трубопроводов на динамические характеристики ГУР грузового автомобиля с роторным золотниковым распределителем. Исследование выполнено методом линеаризации математической модели ГУР в среде имитационного моделирования Simcenter Amesim для 20 сочетаний диаметра и длины трубопроводов с последующим модальным анализом (спектр собственных чисел, модальные формы) и анализом частотных характеристик (диаграммы Боде) канала «скорость поворота рулевого колеса – скорость поворота управляемых колёс».

На основании анализа результатов исследования установлено следующее.

1. Спектр собственных чисел линеаризованной модели гидроусилителя рулевого управления во всём исследованном диапазоне диаметров и длин стального трубопровода разделяется на четыре группы мод: низшую связанную гидромеханическую моду (группа I), акустические (волновые) моды трубопроводов (группа II), инвариантную механическую моду ≈844 Гц (группа III) и локальную гидравлическую моду ≈8 800 Гц (группа IV).

2. Частота низшей связанной моды при фиксированной длине трубопровода систематически возрастает с ростом диаметра (в 1,5–2 раза при переходе от Ø 6 мм к Ø 12 мм), тогда как её демпфирование, напротив, систематически снижается при L = 3 000 мм с 54,0 % (Ø 6 мм) до 14,1 % (Ø 12 мм).

3. Закон снижения частоты акустических мод трубопровода с увеличением длины зависит от диаметра: для труб диаметром 8 и 10 мм справедлив классический волновой закон $f \cdot L \approx \text{const}$ (отклонение меньше 2 % при скорости звука в жидкости 1 300...1 500 м/с); для трубы диаметром 6 мм закон является промежуточным $f \propto L^{(-0{,}7\ldots-0{,}75)}$ вследствие сопоставимости ёмкости трубы с сосредоточенными объёмами на её концах.

4. Моды групп III и IV, локализованные в механической части распределителя и в малом объёме жидкости у клапана, инвариантны к диаметру и длине трубопровода (отклонение параметров не превышает 1 %) и могут быть исключены из рассмотрения при оптимизации геометрии трубопроводов ГУР.

5. Во всех исследованных диаметрах обнаружен эффект модального сближения-расталкивания между акустическими и механическими модами, положение которого по длине трубопровода зависит от диаметра, что обусловливает немонотонный характер зависимости демпфирования отдельных мод от геометрии трубопровода в переходных зонах длин.

6. С практической точки зрения при проектировании трассировки гидролиний ГУР рекомендуется рассматривать диаметр трубопровода как самостоятельный параметр настройки динамических характеристик системы (наряду с длиной), позволяющий целенаправленно смещать частоту низшей моды рулевого управления и частоты акустических резонансов линий относительно диапазона частот эксплуатационного возбуждения, с обязательной проверкой полного спектра собственных чисел для выбранного сочетания параметров вблизи переходных зон.

7. При длинных трассах (L > 2 000 мм) необходимы демпферы пульсаций давления (резонансные гасители, аккумуляторы) либо увеличение числа дросселирующих элементов, а также контроль совпадения гармоник пульсаций насоса с акустическими частотами линий.

8. Анализ диаграмм Боде независимо подтверждает результаты модального анализа: полоса пропускания канала сужается с ростом длины трубопровода в 1,38–1,45 раза (практически одинаково для всех диаметров) при увеличении длины с 1 000 до 3 000 мм, а расчётное время реакции лежит в пределах 8,6...14,1 мс. Диаметр трубопровода на быстродействие канала влияет незначительно (различие времени реакции между диаметрами не превышает $\approx$ 1,1...2,2 мс при любой длине); вместо этого диаметр определяет колебательность переходного процесса – более выраженный резонансный пик АЧХ и меньшее демпфирование низшей моды при больших диаметрах. Для длинных трубопроводов единственным эффективным способом повышения быстродействия остаётся уменьшение длины трубопровода.

УДК 621.83

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ЗУБЬЕВ ЗАЦЕПЛЕНИЯ МУЛЬТИПЛИКАТОРА

П. Н. ГРОМЫКО, И. В. ТРУСОВ,
А. Д. КОРОВКИНА, М. С. ХАТЕТОВСКАЯ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Надёжность работы мультипликатора определяется прочностью его наиболее нагруженных элементов – зубьев зацепления. Для выбора рациональных размеров элементов передачи необходимо располагать данными о контактных напряжениях в зацеплении.

Определение основных размеров элементов мультипликатора возможно на основе значений нормальных сил N_K и N_B, возникающих в контакте зубьев центрального колеса с внутренними зубьями сателлитов и в контакте отверстий сателлитов с кривошипами (рис. 1).

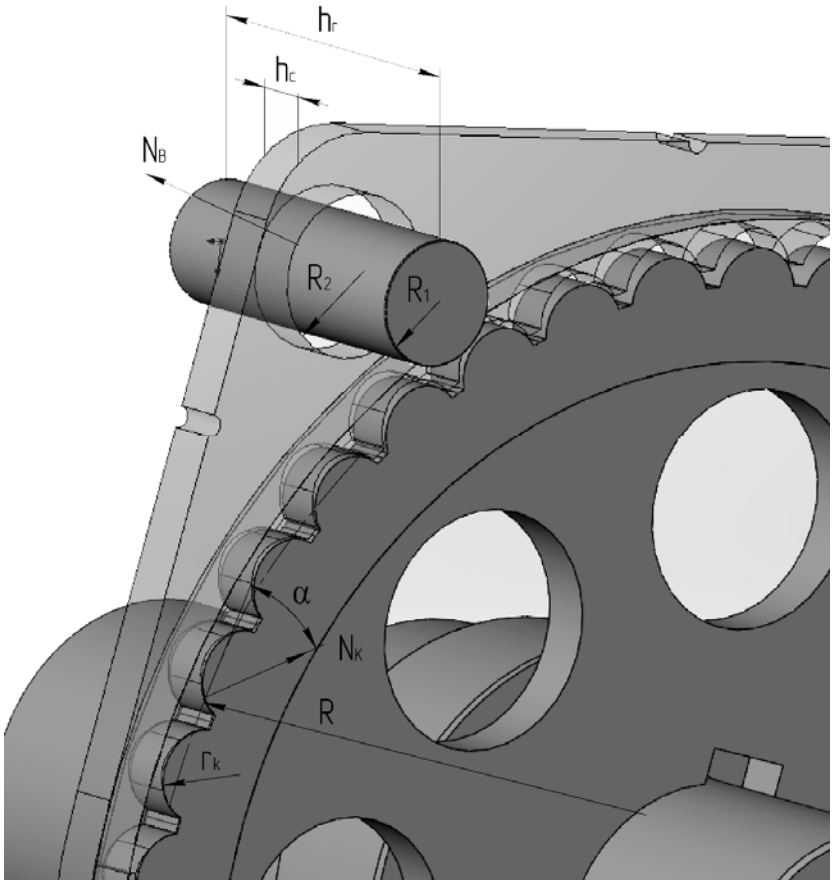


Рис. 1. Схема зацеплений в мультипликаторе для определения контактных напряжений

Для определения нормальной составляющей в точке контакта *5* произведем силовой анализ зацепления профиля зуба центрального колеса *6* и сателлита *2* (рис. 2). Составим для расчетной схемы эксцентрикового зацепления уравнение равновесия моментов относительно точки O_1 и выразим из него N_K.

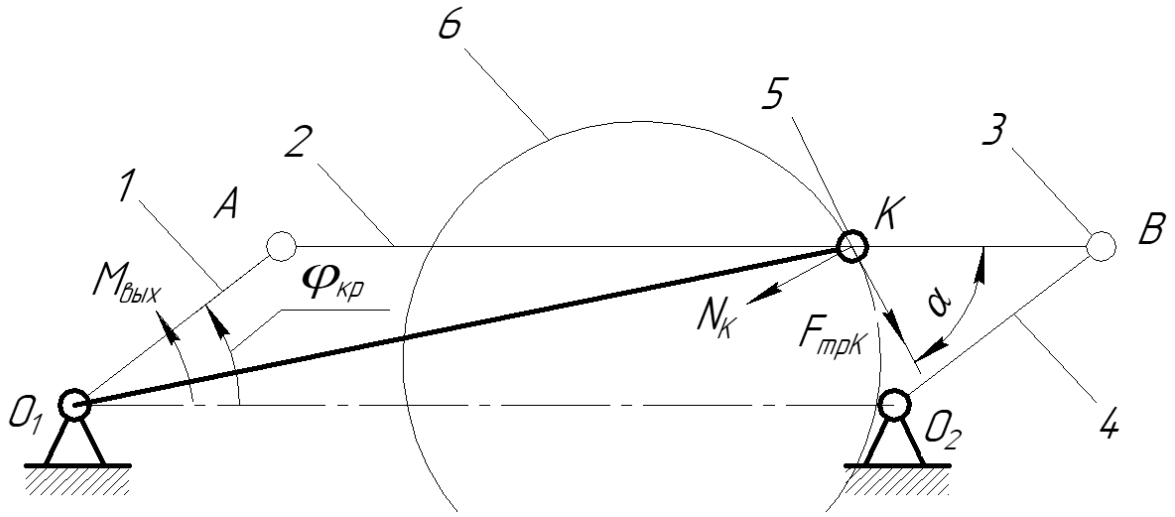


Рис. 2. Схема мультипликатора для определения нормальной силы N_K: *1* – кривошип; *2* – сателлитное колесо; *3* – геометрическая ось вала-оси; *4* – дополнительный кривошип; *5* – условная точка контакта зубьев сателлита; *6* – профиль зуба центрального колеса

Опираясь на формулу для определения величины контактных напряжений в цилиндрической зубчатой передаче с внутренним зацеплением зубьев, получаем зависимость для определения контактных напряжений в зацеплении мультипликатора от его основных параметров:

$$\sigma_H = 0{,}418 \cdot \left(\frac{M_{вых}}{i \cdot k_z \cdot \sqrt{e^2 + r_K^2 + 2 \cdot e \cdot r_K \cdot \cos\left(\varphi_{кр} + \frac{\varphi_{кр}}{z}\right)} \cdot h_c \cdot \rho_{пр} \cdot \cos\alpha} \times \right.$$

$$\left. \times \frac{K \cdot E}{\left(f_{трK} \cdot \sin\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{e \cdot \sin\varphi_{кр}}{r_K} \right) \right) + \cos\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{e \cdot \sin\varphi_{кр}}{r_K} \right) \right) \right)} \right)^{1/2}, \qquad (1)$$

где $M_{вых}$ – крутящий момент на выходном валу; i – число потоков мощности; k_z – коэффициент, учитывающий многопарность зацепления; $f_{трK}$ – коэффициент трения; e – эксцентриситет; r_K – расстояние, определяющее длину AK; z – число зубьев сателлитного колеса; $\varphi_{кр}$ – угол поворота кривошипа; E – модуль упругости; α – угол зацепления; h_c – рабочая ширина каждого зубчатого венца одного сателлита; K – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между зубьями и по ширине зуба; $\rho_{пр}$ – приведенный радиус кривизны зубьев.

Значения контактных напряжений являются основой проектного прочностного расчета зубчатого зацепления мультипликатора.

УДК 681.3.06:553

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ КРЕПКИХ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХЗВУКОВЫХ ВОДЯНЫХ СТРУЙ

О. С. ДАНИЛОВ, А. Ю. МЕЗЕНЦЕВ, С. М. БАЛАДЖАЕВ,
Д. Л. СЛИВЕЦ, Э. Р. ЛОЗОВСКИЙ
Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского
Норильск, Россия

Одной из ведущих системообразующих компаний Российской Федерации является ПАО «ГМК «Норильский никель» (далее – Компания), в частности его Заполярный филиал (ЗФ), который обладает крупнейшими запасами цветных и драгоценных металлов (никель, медь, металлы платиновой группы) [1].

Ключевой проблемой Компании является постепенное исчерпание запасов сплошных (богатых) сульфидных медно-никелевых руд на рудниках ЗФ. Уже к 2030 г. основу добычи (до 80 %) составят вкрапленные и медистые руды. При этом ценность руды уменьшится на 35 % и более, а прирост добычи планируется увеличить только на 30 % [2, 3]. Это, в свою очередь, крайне негативно повлияет на конкурентные преимущества продукции Компании на мировом рынке [4].

Одним из эффективных решений проблемы является рассмотрение возможности внедрения новой технологии добычи руды – гидроструйного разрушения массива горных пород сверхзвуковыми водяными струями [5–7].

Коллектив авторов предложил реализацию описываемой технологии в виде применения горнопроходческого комплекса ГИПК-1200 [8]. Для адаптации этого технологического решения предложена компьютерная модель разрушения сульфидных медно-никелевых руд.

На рис. 1 и 2 представлены скриншоты 3D-модели (по сечениям и распределениям напряжений).

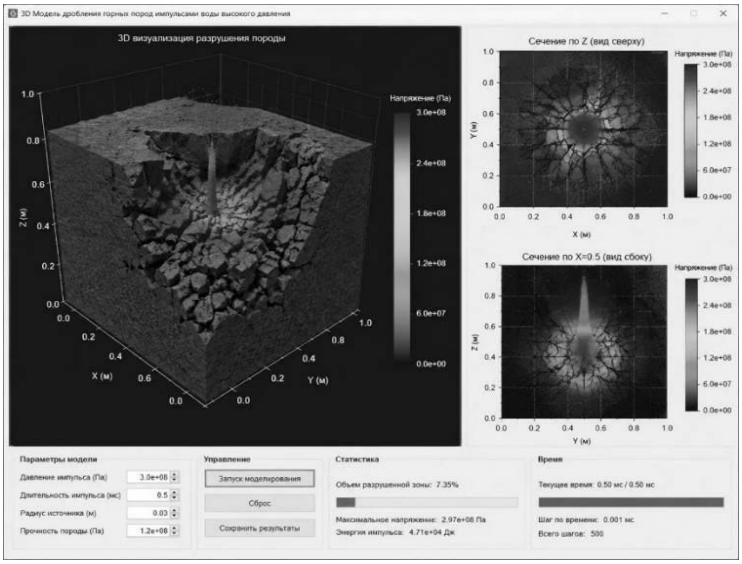


Рис. 1. 3D-модели дробления горных пород (по сечениям)

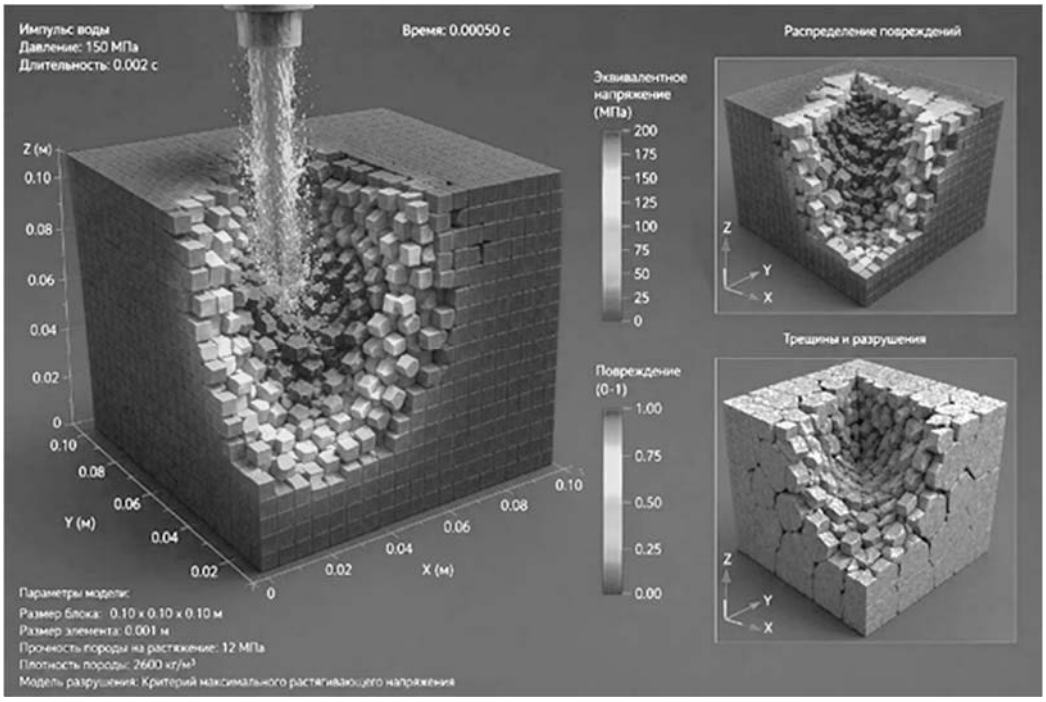


Рис. 2. 3D-модели дробления горных пород (распределение напряжений)

Авторами работы по результатам моделирования получены рациональные параметры гидроструйного разрушения сульфидных медно-никелевых руд ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» с использованием сверхзвуковых водяных струй.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа «Платина»: результаты и основные направления работ / М. Н. Додин, Т. С. Додина, М. Н. Чернышов [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2005. – № 6. – С. 80–86.

2. **Айнбиндер, И. И.** Перспективы развития геотехнологий подземной добычи руд на глубоких рудниках Талнахского и Октябрьского месторождений / И. И. Айнбиндер, П. Г. Пацкевич, О. В. Овчаренко // Горная Промышленность. – 2021. – № 5. – С. 70–75.

3. Mine design and process engineering solutions for copper-nickel ore quality management in underground mining / N. A. Turtygina, A. V. Okhrimenko, A. V. Glinsky, K. A. Ryzhenkov // Mining Science and Technology. – 2026. – № 2. – P. 130–140.

4. Состояние рудной базы цветных и благородных металлов в Норильском районе и направления первоочередных геологоразведочных работ / В. А. Люлько, Ю. Н. Амосов, С. М. Козырев [и др.] // Руды и металлы. – 2002. – № 6. – С. 65–82.

5. Перспективы развития гидроструйных технологий в горнодобывающей промышленности и подземном строительстве / В. А. Бреннер, А. Б. Жабин, А. Е. Пушкарев [и др.] // Горные машины и автоматика. – 2002. – № 5. – С. 2–10.

6. Безвзрывные технологии добычи твердых полезных ископаемых / А. Р. Маттис [и др.]. – Новосибирск : Сиб. отд-ние РАН, 2007. – 336 с. : ил.

7. **Wagner, H.** Deep Mining: A Rock Engineering Challenge / H. Wagner // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2019. – № 52 (5). – P. 1417–1446.

8. **Баладжаев, С. М.** Отбойка крепких пород с применением сверхзвуковых водяных импульсных струй / С. М. Баладжаев, Д. Л. Сливец // Сеймартек Майнинг. Эффективность горнодобывающего производства – 2026 : материалы Междунар. форума. – 2026. – С. 46–48.

УДК 621

КОМБИНИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ШЕЕК ВАЛОВ РЕЗАНИЕМ И ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

А. М. ДОВГАЛЕВ, С. А. СУХОЦКИЙ, А. С. КЛУБАЕВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Выполнен анализ существующих методов и инструментов для комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием (ППД), выявлены их преимущества и недостатки.

Установлено, что существующие методы комбинированной обработки резанием и ППД позволяют осуществлять отделочно-упрочняющую обработку наружных и внутренних поверхностей вращения, а также плоских и торцовых поверхностей деталей машин. Выявлено, что в настоящее время не разработаны методы комбинированной обработки высокоточных шеек валов, широкая номенклатура которых изготавливается на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь.

С целью устранения указанного недостатка разработан метод комбинированной обработки резанием и ППД, обеспечивающий калибрование высокоточных шеек валов, основанный на использовании упругих свойств элементов технологической системы, предусматривающий упругое смещение шейки вращающегося вала на неподвижный режущий инструмент под действием силы деформирования.

Спроектирован инструмент для реализации метода комбинированной обработки шеек валов на станках токарной группы. В состав инструмента входит: корпус, деформирующий блок, силовая пружина, пневматический привод сжатия силовой пружины. Такая конструкция инструмента обеспечивает стабильное значение силы деформирования и высокую точность формообразования поверхности шеек валов.

Разработана динамическая модель процесса комбинированной обработки шейки вала. Представлены дифференциальные уравнения, описывающие колебания элементов технологической системы. Получены аналитические зависимости для выбора динамических параметров элементов технологической системы, в том числе жесткости связи упрочненной шейки вала со станиной станка.

Выполнены исследования точности получения диаметрального размера и геометрической формы шеек валов, шероховатости поверхности и характеристик качества упрочненного поверхностного слоя. Установлено повышение эксплуатационных свойств упрочненных поверхностей.

Предложенный метод комбинированной обработки позволяет без применения операций шлифования обеспечить точность формообразования шеек валов по 6–7 квалитетам, сформировать упрочненный поверхностный слой с высокими эксплуатационными свойствами, снизив шероховатость поверхности до *Ra* 0,16...0,32 мкм.

УДК 657.922:624.04

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ОЦЕНИВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ю. С. ДОРДЮК, Н. П. ЯЛОВАЯ
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

Практическое применение теории нечетких множеств при оценивании строительных конструкций непрерывно растет, о чем свидетельствуют отечественные и зарубежные публикации. Так, в [1] японскими учеными представлена модель оценки железобетонных мостов в г. Тайбэе. Оценивание повреждений проводилось с использованием двухслойного нечеткого синтеза, а полученные результаты являлись основой для дальнейших работ по ремонту и усилению существующих железобетонных конструкций мостов.

В [2] представлены математические модели для идентификации категории технического состояния строительных конструкций на основе нечеткой логики. В качестве предмета исследования была принята оценка технического состояния железобетонных изгибаемых элементов. Предложена структурная модель перспективной комплексной интеллектуальной системы обследования строительных объектов массового строительства, включающая несколько экспертных систем. Приведение знаний о техническом состоянии к виду, позволяющему установить математические и логические отношения между ними, предлагается осуществлять на основе методики построения компьютерных онтологий. Оценивание производится установлением базовых понятий онтологий категориального уровня и их ранжированием по четырем уровням [3].

В описании качественных признаков технического состояния, таких как *цвет бетона*, описание результатов *визуального осмотра арматуры* (для выявления повреждений коррозией), *упрощенного метода исследования бетона* (простукивание) и др., было принято сочетание метода Т. Саати с приемом P. J. M. Laarhoven и W. A. Pedrycz, который позволяет на этапе извлечения эвристических знаний экспертов учесть нечеткость в ответах и получить более точное и адекватное отражение экспертной информации в описании качественных признаков.

Метод идентификации категории технического состояния строительных конструкций на основе нечетких баз знаний реализован в программной среде Microsoft Excel. В формализованном виде описание навигационной структуры приложения представляет собой файл в формате XML, что позволяет обрабатывать, изменять данные в любых других системах вне зависимости от клиентской платформы или операционной системы. Программа включает 91 контролируемый параметр железобетонного изгибаемого элемента (большая часть из

которых представлена лингвистическими переменными), а нечеткая база знаний содержит более 5 000 правил.

Оценка эффективности решений, выдаваемых программой, производилась на основе моделирования сценариев различных повреждений и их сочетаний у железобетонных изгибаемых конструкций, а также анализа данных технических отчетов по результатам обследования существующих конструкций зданий и сооружений [2].

В [4] представлен пример применения теории нечетких множеств с использованием пакета Fuzzy Toolbox в рамках среды MATLAB к оцениванию технического состояния строительных конструкций. Были выделены рабочие фазы, для которых была определена логическая и временная последовательность отдельных операций.

В соответствии с рекомендациями, изложенными в [4], анализ технического состояния здания должен включать три последовательных этапа, на каждом из которых выполняются промежуточные оценки, которые в конечном итоге являются элементами алгоритма нечеткого финального оценивания фазы *А*. Углубленное исследование для фазы *Б* является более продолжительным, включает детальное обследование, инструментальные испытания (лабораторные испытания материалов, включая разрушающие; прямые испытания нагружением отдельных конструктивных элементов и системы в целом). Финальная диагностика осуществляется после оценивания всех типов конструкций на отдельном этаже, а далее – всего здания в целом.

Обобщая рассмотренные работы по применению нечеткой логики при оценивании строительных конструкций, можно сделать вывод, что данный метод имеет большие перспективы в промышленном и гражданском строительстве. Однако представленные работы полностью не решают поставленную перед собой задачу уменьшения неопределенностей при определении категории технического состояния конструкции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Liang, M. T.** Applying fuzzy mathematics to evaluating the membership of existing reinforced concrete bridges in Taipei / M. T. Liang, J. H. Wu, C. H. Liang // Journal of Marine Science and Technology. – 2000. – Vol. 8, № 1. – P. 16–29.

2. **Тонков, Ю. Л.** Математические модели для идентификации категории технического состояния строительных конструкций на основе нечеткой логики : дис. … канд. техн. наук : 05.13.18 / Тонков Ю. Л. – Пермь, 2018. – 208 л.

3. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния : ГОСТ 31937–2011. – Введ. 01.01.2014. – М. : Стандартинформ, 2014. – 54 с.

4. **Mezzina, M.** Decisional trees and fuzzy logic in the structural safety assessment of damaged R. C. buildings / M. Mezzina, G. Uva, R. Greco // 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, 1–6 August 2004. – Vancouver, 2004. – P. 149–159.

УДК 005.32:658

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ И РАЗВИТИЯ НЕЙРОМЕНЕДЖМЕНТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

А. П. ЕВСТЕФЕЕВА, А. В. АЛЕКСАНДРОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Традиционные методы управления персоналом на предприятиях все чаще сталкиваются с ограничениями, поскольку основываются на ожидании, что сотрудник всегда поступает рационально в рабочее время. На практике решения последнего во многом зависят от когнитивной нагрузки, эмоционального состояния, мотивации и уровня стресса. Неполное понимание данных процессов вследствие недостатка нейробиологических знаний у руководителя может приводить к управленческим ошибкам. Чтобы повысить эффективность работы, менеджерам нужны новые инновационные инструменты, одним из которых является нейроменеджмент.

Вопросы применения нейроинструментов в управлении рассматриваются различными авторами, однако исследований, посвященных нейроменеджменту как глобальной системе руководства предприятием, проводится не так много [1]. В данном контексте будем трактовать этот термин как методику понимания, анализа и управления человеческими ресурсами организации с использованием психофизиологических и нейробиологических показателей и закономерностей работы человеческой нервной системы. При этом нейроменеджмент следует отличать от нейромаркетинга, нейроэкономики и нейролидерства в силу его ориентации прежде всего на организацию труда, мотивацию и взаимодействие сотрудников в коллективе.

Как показывают исследования [2], одним из ключевых механизмов мотивации выступает мезокортиколимбическая дофаминовая система. Дофамин участвует в эмоциональных и мотивационных компонентах поведения человека, в том числе в рабочей среде. Когда сотрудник видит четкую цель и получает промежуточное одобрение, посредством выделения дофамина активируется система подкрепления, формирующая готовность к действию. Мозг реагирует на предвкушение награды, что помогает доводить сложные задачи до конца. С другой стороны, штрафы и постоянное давление дают противоположный эффект. Хронический стресс и страх наказания активируют амигдалу и повышают уровень кортизола, что ухудшает функции префронтальной коры, такие как планирование, анализ и самоконтроль. Это может вести к росту ошибок и брака.

Внимание человека также имеет физиологический предел [3]. Монотонная работа истощает ресурсы мозга. Без пауз снижается концентрация, нервные клетки переходят в состояние охранительного торможения, и человек начинает совершать ошибки. Поэтому мозгу необходим регулярный отдых для восстановления медиаторов. Короткие перерывы и простые понятные инструкции снижают нагрузку на префронтальную кору. Это помогает защитить сотрудников от выгорания и сохраняет нормальную скорость мышления.

Многие меры нейроменеджмента не требуют крупных капитальных затрат, а требуют лишь изменить формат задач и структуру рабочего дня. Например, длинные текстовые инструкции целесообразно переводить в визуальные чек-листы; вводить короткие паузы каждые полтора часа непрерывной работы, чтобы защитить нервную систему сотрудников от истощения, а производство – от брака. Постоянный контроль и штрафы следует заменять понятными, достижимыми и частыми KPI, что будет поддерживать мотивацию за счет регулярного подкрепления при достижении даже небольших целей.

Эффект от внедрения нейроменеджмента в управленческую деятельность предприятия может заключаться в следующем:

1) снижение текучести кадров за счет повышения удовлетворенности условиями труда нынешних сотрудников;

2) сокращение затрат на адаптацию и обучение новых работников благодаря понятным инструкциям, способствующим быстрому и комфортному вхождению в рабочий ритм;

3) развитие инновационного потенциала сотрудников (снижение уровня кортизола улучшает работу префронтальной коры, отвечающей за креативность и нестандартные решения);

4) снижение скрытых потерь (прогулы, больничные, ложная занятость и имитация работы) из-за хронического стресса и выгорания сотрудников;

5) улучшение в долгосрочной перспективе экономических показателей предприятия: рост производительности труда, уменьшение количества брака, повышение качества и количества выполненных задач.

Однако внедрение нейроменеджмента связано с ограничениями и рисками. Риски включают прежде всего этический аспект (приватность нейроданных и потенциальные нейроманипуляции). Организационные ограничения состоят в сопротивлении менеджеров и необходимости их обучения.

Таким образом, внедрение и развитие нейроменеджмента на предприятиях является экономически целесообразным способом улучшить удовлетворенность сотрудников и производительность труда. Понимание того, как мозг реагирует на стресс, нагрузку и вовлекается в рабочие процессы, позволяет улучшить бизнес-процессы преимущественно организационными средствами. Дальнейшие исследования должны включать эмпирическую проверку предложенных мер и разработку этических стандартов применения нейротехнологий в управлении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Синицына, К. И.** Влияние нейроменеджмента на процесс принятия управленческих решений и лидерство / К. И. Синицына // Вестник ДонНУ. Серия В. Экономика и право. – 2024. – № 1. – С. 84–92.

2. Роль дофамина в формировании эмоционального поведения / П. Д. Шабанов, А. А. Лебедев, Ш. К. Мещеров [и др.] // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. – 2003. – Т. 2, № 1. – С. 23–45.

3. **Артеменков, А. А.** Работоспособность и утомление у лиц умственного труда: понятие о зонах активности человека / А. А. Артеменков // Медицина труда и экология человека. – 2020. – № 1 (21). – С. 20–35.

УДК 681.2+629.78

КОНТРОЛЬ ЗА ЯВЛЕНИЕМ КОНТАМИНАЦИИ ОТ ОТДЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА «МЕРИДИАН-АМУР»

Е. И. ЗУБКО, Д. В. ФОМИН
Амурский государственный университет
Благовещенск, Россия

В вакууме неметаллические материалы космического аппарата (КА) – полимеры, клеи, компаунды, лакокрасочные покрытия, основания печатных плат – выделяют летучие вещества. Они образуют собственную атмосферу аппарата и конденсируются на более холодных поверхностях; это явление называют контаминацией. Даже слой контаминантов толщиной 10 нм способен вдвое уменьшить пропускание оптики на отдельных участках вакуумного ультрафиолетового диапазона [1]. Наземные испытания материалов [2] проводятся в стандартных условиях и не воспроизводят реальных температурных циклов и длительности полёта, поэтому явление необходимо изучать непосредственно на орбите.

Для этого в Амурском государственном университете создан прибор «Меридиан-Амур» [3]. Его чувствительный элемент – кварцевый резонатор, работающий как микровесы: осаждение контаминантов на его пластине снижает резонансную частоту [4]. Прибор построен по схеме универсального блока полезной нагрузки из модуля датчика и аналитического модуля с микроконтроллером и в настоящее время проходит лётные испытания на аппарате «МорСат-1» (программа «УниверСат», запуск 28.12.2025). Однако в этом полёте он решает прежде всего задачу технологической отработки: датчик полностью открыт, поэтому регистрирует суммарный осадок от всех материалов аппарата и частиц извне, загрязняется ещё при сборке и выведении и не имеет чёткого момента начала измерений.

Чтобы перейти от регистрации суммарного загрязнения к исследованию конкретного материала, предложена новая итерация прибора – герметичный модуль (рис. 1). В нём серийный резонатор в корпусе HC-49/U используется без собственного корпуса: цоколь *3* с кварцевой пластиной *4* установлен в корпус *1* с крышкой *2*, а выводы проходят наружу через трубчатые гермовводы *6*. В гнезде дна параллельно пластине на расстоянии 3,9 мм размещается сменный образец *5* размером 10 × 10 × 1 мм так, что чувствительная поверхность обращена только к нему.

Герметичность корпуса защищает пластину и образец от загрязнения на всех наземных этапах. До выведения канал сброса *7* перекрыт пластиной-заглушкой *10*, прижатой к уплотнительному кольцу *8* самотормозящим винтовым приводом *11*. На орбите по команде мотор-редуктор *13* за 10…15 с отводит привод; пружина *9* и внутреннее давление отбрасывают заглушку, и воздух выходит через два встречных окна кронштейна *12*. После этого полость сообщается с внешней средой лишь через канал диаметром 1 мм без прямой видимости на пластину, поэтому осадок на ней формируют практически только

продукты газовыделения образца. Его масса определяется по изменению частоты согласно уравнению Зауэрбрея [5]:

$$\Delta f = -\frac{2{f_0}^2}{\sqrt{\rho_q \mu_q}} \cdot \frac{\Delta m}{S}. \quad (1)$$

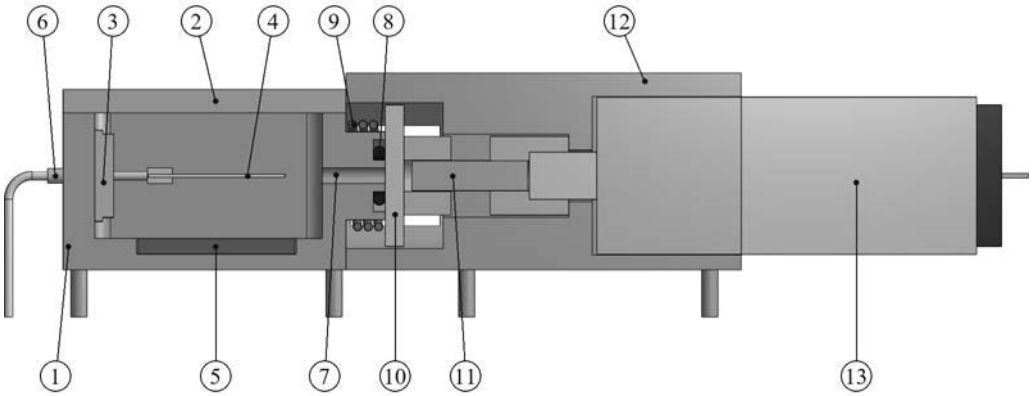


Рис. 1. Разрез модуля: *1* – корпус; *2* – крышка; *3* – цоколь; *4* – пластина кварца; *5* – образец; *6* – гермоввод; *7* – канал; *8* – кольцо; *9* – пружина; *10* – заглушка; *11* – привод; *12* – кронштейн; *13* – мотор

Таким образом, предлагаемый модуль превращает «Меридиан-Амур» из интегрального индикатора загрязнения в инструмент исследования отдельного материала. Эксперимент на орбите позволит получить кинетику газовыделения выбранного материала – зависимость массы контаминантов от времени, отсчитываемого от момента сброса давления, и её связь с температурой, а также сопоставить эти данные с результатами наземных испытаний [2]. Серия модулей с разными образцами позволит ранжировать материалы по загрязняющему воздействию и обоснованно выбирать их для оптики и солнечных батарей малых КА.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кузин, С. В.** Особенности разработки и использования аппаратуры для проведения космических экспериментов в ВУФ-диапазоне спектра / С. В. Кузин, С. А. Богачев, А. С. Кириченко // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2023. – № 12. – С. 31–38.

2. Материалы неметаллические. Метод испытания на потерю массы и содержание летучих конденсирующихся веществ при вакуумно-тепловом воздействии : ГОСТ Р 50109–92. – М. : Изд-во стандартов, 1992.

3. **Фомин, Д. В.** Изучение явления контаминации на малых космических аппаратах / Д. В. Фомин, И. О. Шолыгин, Е. И. Зубко // Научное приборостроение. – 2024. – Т. 34, № 2. – С. 44–53.

4. Полезная модель RU 231665 U1, МПК B64G 1/66, G01B 17/02. Бортовая система спутника стандарта CubeSat для контроля за явлением контаминации : заявлено 27.11.2024 : опубл. 05.02.2025 / Фомин Д. В., Зубко Е. И. ; заявитель Амурский гос. ун-т.

5. **Sauerbrey, G.** Verwendung von Schwingquarzen zur Wägung dünner Schichten und zur Mikrowägung / G. Sauerbrey // Zeitschrift für Physik. – 1959. – Bd. 155, № 2. – S. 206–222.

УДК 621.923.4

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

Е. В. ИЛЬЮШИНА, Н. М. ЮШКЕВИЧ, Д. Л. ГРИГОРЬЕВ, А. В. МУХА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Анализ качества финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей диаметром от 50 до 150 мм ответственных деталей машин из стали показал, что имеется ряд проблем, связанных с нежесткостью деталей и риском деформации тонкостенных заготовок, ограничением доступа инструмента в зону обработки, трудностями одновременного обеспечения упрочнения поверхности и снижения шероховатости, а также сложностью обеспечения равномерного наклепа по длине и окружности заготовок.

Требования к качеству обработки отверстий гильз гидроцилиндров (сталь 45, 40Х) связаны с обеспечением высокой износостойкости внутренней поверхности и герметичности. Необходимо получить квалитет точности 8–9, отклонение от круглости и цилиндричности не более 0,01 мм, отклонение от прямолинейности на длине 500 мм не более 0,03 мм, шероховатость поверхности *Ra* от 0,32 до 0,16 мкм. Применение роликовой обкатки для упрочнения отверстий ограничено длиной гильзы гидроцилиндров и жёсткостью оправки: на глубине более 200 мм возникают вибрации, вызывающие волнистость, а при обработке тонкостенных гильз появляются поверхностные деформации, приводящие к потере цилиндричности и круглости. Использование хонингования для обработки рабочей поверхности гильзы позволяет снизить шероховатость и получить стабильную геометрию поверхности, но дает малую глубину упрочненного слоя (0,01...0,03 мм).

В ряде корпусных деталей (сталь 20Х, 18ХГТ) имеются посадочные отверстия под наружные кольца подшипников и стаканы, к которым предъявляются требования, зависящие от класса точности подшипников. Для посадочных отверстий отклонения от круглости и цилиндричности не должны превышать половины поля допуска на диаметр для подшипников класса точности 0 и 6 и трети допуска – для классов 5 и 4. Необходимо упрочнение поверхности отверстия для предотвращения износа и шероховатость поверхности *Ra* 0,8…0,16 мкм. Раскатывание роликами отверстий в тонкостенных корпусных деталях ограничено их нежёсткостью, что приводит к формированию погрешностей формы в виде овальности, конусообразности и изогнутости оси. Использование хонингования отверстий позволяет получить высокую точность геометрии (отклонение от круглости и цилиндричности не более 0,003…0,004 мм) и уменьшить шероховатость до *Ra* 0,16…0,04 мкм, однако не исправляет положения оси отверстия относительно базы, а глубина формируемого упрочнённого слоя незначительна (0,015...0,02 мм).

Направляющие втулки пресс-форм (сталь 4Х5МФС, Х12МФ) имеют высокие требования к качеству обработки отверстий, т. к. необходимо обеспечить

точное направление движения пуансона и высокую износостойкость рабочей поверхности. Отверстия должны иметь шероховатость *Ra* 0,4…0,2 мкм и глубину упрочненного слоя 0,05...0,15 мм для повышения усталостной прочности, т. к. втулка работает в условиях циклического нагружения при перемещении пуансона. Рабочая поверхность втулки предварительно проходит термообработку (закалка до *HRC* 50...55). При такой твердости традиционные методы поверхностного пластического деформирования неэффективны, при обкатке ролики скользят по поверхности, не упрочняя ее. Алмазное хонингование хотя и обеспечивает необходимую шероховатость и высокую геометрическую точность, но дает малую глубину упрочненного слоя до 0,005...0,01 мм. Возможно применение виброгалтовки и обработки щетками в отверстиях диаметром до 100 мм, но эти методы неравномерно деформируют заготовку по длине, что вызывает появление локальных зон наклепа и неоднородность глубины упрочненного слоя.

Таким образом, анализ способов финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей для всех трёх рассмотренных групп деталей показал наличие общей проблемы: невозможность одновременного обеспечения требуемой геометрической точности, низкой шероховатости и достаточной глубины упрочнённого слоя. В связи с этим целесообразно использовать технологию упрочняющей обработки пневмоударом [1], которая благодаря малым усилиям позволяет получить тонкодеформированный поверхностный слой с низкой шероховатостью и обрабатывать нежёсткие детали без риска деформации.

Возможна обработка пневмоударом нежестких и тонкостенных гильз гидроцилиндров без деформаций заготовки на универсальном оборудовании с высокой производительностью, обеспечивая шероховатость *Ra* 0,32…0,08 мкм, что делает метод эффективной альтернативой роликовой обкатке и хонингованию. Для посадочных отверстий под подшипники в корпусных деталях пневмоударная обработка повышает износостойкость сопряжения в 1,2 раза и формирует маслоудерживающий микрорельеф с увеличенной в 2 раза маслоемкостью, а также позволяет обрабатывать нежесткие корпусные детали и прерывистые поверхности без деформаций. Благодаря импульсно-ударному характеру воздействия шаров на обрабатываемую поверхность метод позволяет обрабатывать стали твёрдостью до *HRC* 64 с получением упрочнённого слоя глубиной до 0,2 мм, что напрямую повышает усталостную прочность. При обработке отверстий направляющих втулок пресс-форм из закалённых инструментальных сталей это обеспечит повышение износостойкости предположительно в 1,5–2 раза и снижение коэффициента трения на 20 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология финишной упрочняющей пневмовибродинамической обработки нежестких деталей / А. П. Минаков, И. Д. Камчицкая, Е. В. Ильюшина [и др.]. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2016. – 294 с.

УДК 621.923.4

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПНЕВМОУДАРОМ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

Е. В. ИЛЬЮШИНА, Н. М. ЮШКЕВИЧ, Д. Л. ГРИГОРЬЕВ, А. В. МУХА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Ранее проведенные исследования показали, что при пневмоударной обработке поле скоростей и направлений ударов деформирующих шаров нестационарно. Из-за этого деформационное воздействие на микрорельеф носит стохастический характер и не воспроизводится известными методами поверхностного пластического деформирования (ППД) с жесткой кинематикой. При раскатывании жестким шаровым инструментом смятие и сглаживание микровыступов происходит однонаправленно. При пневмоударной обработке каждый шар в каждый момент времени имеет свою кинетическую энергию и свое направление вращения. Вектор силового воздействия на микронеровности непрерывно меняется, поэтому смятие и сглаживание идут одновременно по множеству направлений. Это обеспечивает более равномерное и интенсивное снижение шероховатости.

На этой основе разработан метод упрочняющей обработки пневмоударом внутренних цилиндрических поверхностей стальных заготовок, заключающийся в ударном пластическом деформировании поверхности свободно перемещающимися шарами, приводимыми в движение энергией сжатого воздуха, что обеспечивает одновременное упрочнение и снижение шероховатости без жесткой кинематической связи инструмента с заготовкой. Метод включает принципиальную схему процесса, выбор шаров, диапазонов давления воздуха и кинематики инструмента. Для его реализации необходимо создание пневматического шарового накатника, конструкция которого обеспечивала бы вихревой поток воздуха с тангенциальным подводом к шарам, их многоосное вращение и орбитальное перемещение вдоль поверхности. Определены параметры процесса, влияющие на получение шероховатости *Ra* от 0,32 до 0,16 мкм, повышение микротвердости на 30 %...40 % и формирование тонкодеформированного слоя глубиной до 0,3...0,9 мм со сжимающими напряжениями. Достигаемое качество поверхности позволяет повысить несущую способность поверхностного слоя, снизить коэффициент трения, увеличить ресурс работы пар трения и износостойкость в 1,5–2 раза. Метод исключает недостатки абразивной обработки (шаржирование, острые гребешки) и ограничения жестких методов ППД, что делает его пригодным для тонкостенных заготовок (гильзы гидроцилиндров).

Сформулированы требования к реализации метода для сталей различных марок и твердости. Предстоит изучить механизм разнонаправленного упрочнения, обусловленный стохастическим ударным воздействием шаров, и связи между параметрами качества обработанной поверхности и эксплуатационными свойствами.

УДК 621.865.8

РАЗРАБОТКА ПАССИВНОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА НА ОСНОВЕ СТАЛЬНЫХ ПРОФИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

О. Д. ИШУМБАЕВА, В. А. НИКИТИНА, И. Р. ФАЗДАЛОВА,
Д. Р. ФАТКУЛЛИН, Б. С. АХМЕТШИН
Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

При ликвидации чрезвычайных ситуаций спасатели выполняют работы, связанные с переносом тяжёлых грузов, удержанием инструмента и длительным пребыванием в неудобных рабочих позах. Промышленные экзоскелеты относятся к средствам защиты опорно-двигательного аппарата, предназначенным для компенсации и (или) перераспределения нагрузки [1]. Для условий аварийно-спасательных работ особый интерес представляют пассивные конструкции, не использующие источник энергии для выполнения основных функций [1].

Цель работы – разработка конструкции пассивного экзоскелета, обеспечивающего перераспределение нагрузки с поясничного отдела позвоночника на нижние конечности при сохранении подвижности пользователя.

Конструкция выполнена на основе центрального стального хребта, поясного ремня и двух наружных телескопических опор ног. Телескопическая регулировка реализована по принципу вложения прямоугольных профилей 40 × 20 × 1 мм и 30 × 15 × 1,5 мм, что позволяет адаптировать конструкцию к росту пользователя. Выбор пассивной схемы соответствует распространённому направлению развития промышленных экзоскелетов, в котором механические упругие элементы обеспечивают поддержку без приводов и аккумуляторов [2].

При расчётной массе переносимого груза 40 кг и динамическом коэффициенте 1,2 общая расчётная нагрузка составляет около 471 Н. Через поясной узел нагрузка распределяется между двумя наружными опорами ног; с учётом принятого коэффициента неравномерности расчётная нагрузка на одну опору составляет около 283 Н. Такая схема соответствует основному принципу пассивных экзоскелетов – созданию механического пути передачи части нагрузки в обход перегружаемых участков тела пользователя [2, 3].

Конструктивная простота позволяет применять стандартный стальной прокат, болтовые соединения и элементы, доступные для изготовления и ремонта в условиях ремонтной базы. При этом при проектировании экзоскелета необходимо учитывать опасности, связанные с ограничением движений, несоответствием кинематики человека и изделия, а также комфортом и безопасностью пользователя [3, 4]. Требования к учёту опасностей и оценке риска при разработке экзоскелетов установлены ГОСТ Р 60.5.2.1–2023 [5].

Для повышения практической применимости в конструкции предусмотрен поясничный шарнирный узел с тремя степенями свободы, обеспечивающий наклон корпуса вперёд до 60°, боковые наклоны в пределах ±20° и осевой поворот до ±30° с регулируемыми ограничителями. Антропометрический диапазон регулировок рассчитан на рост 160...190 см и обхват талии 80...120 см. Несущие элементы предполагается изготовлять из стали 09Г2С с антикоррозионным покрытием, а общая масса изделия не должна превышать 8...10 кг. Предусмотрена совместимость с защитной одеждой, каской, дыхательным аппаратом и носимой радиостанцией. Для оценки эффективности планируется проведение стендовых испытаний с имитацией подъёма, удержания и перемещения груза, а также лабораторных исследований с регистрацией электромиографии мышц-разгибателей спины, частоты сердечных сокращений и субъективной утомляемости. Условия эксплуатации приняты в диапазоне температур от минус 30 °С до плюс 50 °С при повышенной влажности, запылённости и вибрации [3]. Транспортировка и хранение обеспечиваются складыванием опор и укладкой изделия в защитный чехол с ручками. Маркировка содержит предельную нагрузку, диапазоны регулировок и дату изготовления, а техническое обслуживание включает осмотр перед каждым применением, проверку затяжки соединений и смазку подвижных узлов.

Разработанная конструкция ориентирована на снижение физической нагрузки при выполнении аварийно-спасательных работ за счёт механического перераспределения усилий. Результаты расчётного обоснования показывают возможность применения выбранной схемы стального пассивного экзоскелета при заданной расчётной нагрузке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты опорно-двигательного аппарата. Экзоскелеты промышленные. Классификация. Термины и определения : ГОСТ Р 12.4.306–2023. – М. : Рос. ин-т стандартизации, 2023.

2. Back-Support Exoskeletons for Occupational Use: An Overview of Technological Advances and Trends / S. Toxiri, M. B. Näf, M. Lazzaroni [et al.] // IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors. – 2019. – Vol. 7, № 3–4. – P. 237–249.

3. Passive Back Support Exoskeleton Improves Range of Motion Using Flexible Beams / M. B. Näf, A. S. Koopman, S. Baltrusch [et al.] // Frontiers in Robotics and AI. – 2018. – Vol. 5. – Art. 72.

4. Effects of industrial back-support exoskeletons on body loading and user experience: an updated systematic review / T. Kermavnar, A. W. de Vries, M. P. de Looze, L. W. O’Sullivan // Ergonomics. – 2021. – Vol. 64, № 6. – P. 685–711.

5. Роботы и робототехнические устройства. Экзоскелеты. Общие требования по учёту опасностей и оценке риска при разработке экзоскелетов : ГОСТ Р 60.5.2.1–2023. – М. : Рос. ин-т стандартизации, 2023.

УДК 621.865.8

БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ И ЭРГОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАССИВНЫХ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ РАБОТ

О. Д. ИШУМБАЕВА, В. А. НИКИТИНА, И. Р. ФАЗДАЛОВА,
Д. Р. ФАТКУЛЛИН, А. А. НУРУТДИНОВ
Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

Пассивные экзоскелеты рассматриваются как носимые технические устройства, предназначенные для снижения физической нагрузки на отдельные участки опорно-двигательного аппарата человека. В отличие от активных систем, они не используют электроприводы и аккумуляторные источники питания, а создают поддерживающее усилие за счёт механических элементов: пружин, упругих тяг, рычагов и силовых рам [1]. Это делает пассивные конструкции перспективными для применения в условиях, где важны автономность, простота обслуживания, невысокая масса и устойчивость к воздействию внешней среды. Для аварийно-спасательных подразделений данные свойства особенно важны, поскольку работы часто выполняются в ограниченном пространстве, при повышенной температуре, наличии пыли, влаги и необходимости длительного перемещения с инструментом и экипировкой.

Основной биомеханический эффект пассивного экзоскелета заключается в перераспределении части нагрузки между телом пользователя и внешней конструкцией. При наклонах корпуса, подъёме и удержании груза устройство формирует дополнительный момент или опорную реакцию, уменьшая нагрузку на мышцы спины и поясничный отдел позвоночника. По данным систематического обзора, применение промышленных экзоскелетов спины в ряде задач сопровождалось снижением активности мышц спины, пиковых моментов в области L5/S1 и компрессионных сил на позвоночник [2]. При этом эффект зависит от характера работы, положения тела и соответствия конструкции антропометрическим параметрам пользователя. Следовательно, экзоскелет не устраняет физическую нагрузку полностью, а изменяет путь передачи усилий и уменьшает долю нагрузки, непосредственно воспринимаемую мышцами и позвоночником.

Эргономическая эффективность экзоскелета определяется не только величиной разгрузки, но и удобством эксплуатации. К важным требованиям относятся свобода движений, отсутствие давления на мягкие ткани, возможность регулировки по росту и размерам тела, совместимость со специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты. Исследования показывают, что при неудобной конструкции возможны перераспределение нагрузки на другие участки тела, ограничение подвижности и снижение готовности работников

использовать устройство в течение длительного времени [2, 3]. Поэтому при разработке экзоскелета для аварийно-спасательных работ необходимо одновременно учитывать силовую схему, реальную рабочую кинематику спасателя, массу защитной экипировки и необходимость быстрого выполнения различных операций.

Для условий ликвидации чрезвычайных ситуаций целесообразно применять пассивную конструкцию с центральным несущим элементом, поясным ремнём и наружными опорами ног. Такая схема позволяет передавать часть усилия от корпуса к нижним конечностям, сохраняя при этом относительную простоту конструкции. Использование телескопических узлов обеспечивает настройку изделия под рост пользователя, а ременные крепления позволяют распределять контактные нагрузки по нескольким участкам тела. Применение стальных профильных элементов дополнительно упрощает изготовление, ремонт и замену отдельных деталей в условиях ремонтной мастерской. В то же время окончательная оценка эффективности должна проводиться экспериментально с учётом массы экипировки, длительности работы, необходимости перемещения в ограниченном пространстве и выполнения динамических действий.

Таким образом, пассивные экзоскелеты могут снижать биомеханическую нагрузку при подъёме и удержании груза, однако их практическая эффективность определяется комплексом факторов: конструкцией силовой передачи, удобством фиксации, свободой движений и соответствием конкретной рабочей задаче. Для разработанного стального экзоскелета основным направлением дальнейшей проверки является экспериментальная оценка снижения нагрузки на мышцы спины и удобства применения в условиях, приближенных к аварийно-спасательным работам. Дополнительно необходимо оценить устойчивость конструкции при несимметричной нагрузке, надёжность креплений и влияние экзоскелета на скорость выполнения типовых действий спасателя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Back-Support Exoskeletons for Occupational Use: An Overview of Technological Advances and Trends / S. Toxiri, M. B. Näf, M. Lazzaroni [et al.] // IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors. – 2019. – Vol. 7, № 3–4. – P. 237–249.

2. Effects of industrial back-support exoskeletons on body loading and user experience: an updated systematic review / T. Kermavnar, A. W. de Vries, M. P. de Looze, L. W. O'Sullivan // Ergonomics. – 2021. – Vol. 64, № 6. – P. 685–711.

3. Passive Exoskeletons to Enhance Workforce Sustainability: Literature Review and Future Research Agenda / E. H. Grosse [et al.] // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, № 9. – Art. 7339.

УДК 621.83

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ОДНОСТУПЕНЧАТЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ РЕДУЦИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ С ШАРИКОВЫМ И РОЛИКОВЫМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

А. В. КАПИТОНОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Проработка на технологичность конструкций механических передач позволяет снизить их массогабаритные параметры и уменьшить затраты на изготовление. Показатели технологичности непосредственно связаны с показателями надежности конструкций изделий. Поэтому проработка изделия на технологичность является актуальной и необходимой задачей для повышения его надежности.

Проведен обзор методик по оценке и расчету технологичности конструкций механических передач. Разработана методика оценки технологичности конструкций применительно к одноступенчатым редукторам с промежуточными телами качения с шариковым и роликовым зацеплением [1]. Методика включает применяемые методы, разработанную математическую модель и расчет количественных показателей технологичности. Математическая модель, сравнивающая значения достигнутого Q на данном этапе разработки и базового $Q_б$ показателя технологичности и учитывающая область S допустимого изменения показателя технологичности Q, может быть представлена целевой функцией:

$$Y(Q,Q_б) \to \text{exstr}, \quad Q \in S.$$

Целевая функция управления процессом разработки изделия по заданным показателям технологичности обеспечивает возможность экстремального управления. Расчет показателей технологичности учитывает зависимость между качеством изготовления и минимальными затратами на производство.

В соответствии с разработанной методикой проведены расчеты количественных показателей технологичности конструкций одноступенчатых планетарных редуцирующих механизмов с промежуточными телами качения. Разработанная методика позволяет снизить массогабаритные параметры и уменьшить затраты на изготовление планетарных передач с промежуточными телами качения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сасковец, К. В.** Новые конструкции и методы оценки точности планетарных радиально-плунжерных передач / К. В. Сасковец, А. В. Капитонов, М. В. Лебедев // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. – 2019. – № 1 (76). – С. 3–9.

УДК 621.83

МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛАНЕТАРНЫХ ШАРИКОВЫХ И РОЛИКОВЫХ ПЕРЕДАЧ С ОЦЕНКОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

А. В. КАПИТОНОВ, О. А. КАПИТОНОВ,
С. В. МЕЛЬНИКОВ, А. С. ШИЛОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Разработка планетарных шариковых и роликовых передач на основе модульного принципа с оценкой технологичности конструкций является важной и актуальной задачей. При этом уменьшаются массогабаритные характеристики передачи, упрощаются процессы ее проектирования и сборки. Эффективно используется метод полной взаимозаменяемости. Уменьшаются затраты на изготовление.

Разработаны компьютерные модели технологичных конструкций планетарных редуцирующих механизмов с шариковым и роликовым зацеплением, построенные по модульному принципу. На рис. 1 показаны 3D-модели некоторых модулей звеньев планетарного шарикового редуктора. Модули звеньев и ступеней могут использоваться для создания многоступенчатых редукторов добавлением или вычитанием модуля из конструкции редуктора при автоматизированном проектировании с использованием программных продуктов SolidWorks или NX.

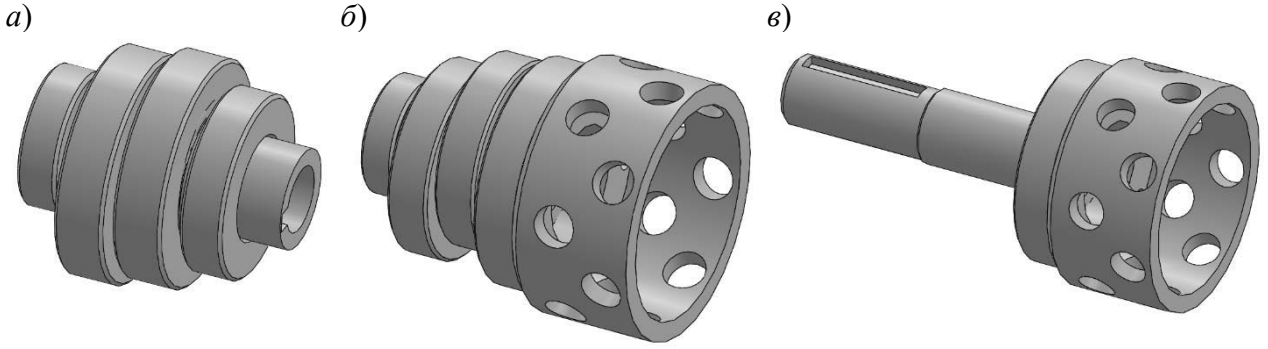


Рис. 1. 3D-модели модулей планетарного шарикового редуктора: *а* – ведущее звено; *б* – промежуточное звено; *в* – ведомое звено

При отработке конструкций исследуемых передач на технологичность использовались методы параметрической оптимизации, модульное построение узлов передачи, оптимизационный метод выбора и назначения конструктивных элементов деталей и материалов, размерный анализ, типизация конструкции, унификация деталей, взаимозаменяемость составных частей передачи, типизация технологических процессов изготовления передач, унификация технологических операций, стандартизация средств технологического оснащения.

УДК 621.926.2

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТРУЙНЫХ ПРОТИВОТОЧНЫХ МЕЛЬНИЦ

Д. В. КАРПАЧЕВ, И. А. ТРЕТЬЯКОВ,
Е. И. ШЕЛУДЧЕНКО, А. Н. ГОЛОВКОВ
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Существенное значение при эксплуатации струйных противоточных мельниц имеет подготовка исходного сырья. Предварительная классификация материала по крупности и удаление крупных включений позволяют стабилизировать загрузку мельницы, избежать локальных перегрузок и снизить риск нештатных режимов работы. В ряде случаев целесообразно проводить предварительную сушку сырья – это особенно актуально для гигроскопичных и склонных к агломерации материалов: снижение влажности повышает сыпучесть, улучшает распределение частиц в потоке и способствует более эффективному соударению. Кроме того, однородность исходного материала по влажности и плотности положительно сказывается на воспроизводимости гранулометрического состава конечного продукта и снижает колебания энергопотребления в ходе технологического цикла [1].

Струйная противоточная мельница (рис. 1) – это оборудование для сухого сверхтонкого измельчения материалов (до микрометра и менее) за счёт столкновения высокоскоростных газовых потоков. Её ключевая особенность – конструкция, где два потока энергоносителя (газа или пара) движутся навстречу друг другу, создавая зону интенсивного соударения частиц [2].

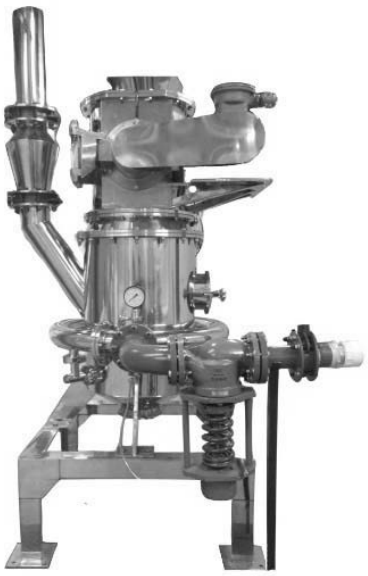


Рис. 1. Струйная противоточная мельница

Преимущества. Возможность получения ультрадисперсных порошков с высокой удельной поверхностью. Отсутствие механических мелющих тел, что

исключает загрязнение продукта металлическими примесями. Возможность работы в замкнутом цикле, что повышает эффективность.

Недостатки. Относительно невысокий КПД из-за затрат энергии на сжатие энергоносителя. Сложность настройки параметров (давление, скорость потоков, геометрия элементов) под конкретный материал. Ограниченная производительность по сравнению с некоторыми другими типами мельниц.

Такие мельницы широко используются в горнорудной промышленности для обогащения полезных ископаемых, а также в производстве керамики, пигментов, фармацевтических субстанций и других материалов, где требуется сверхтонкий помол [3].

Перспективы развития технологий струйного измельчения во многом связаны с расширением спектра обрабатываемых материалов и адаптацией оборудования под специфические требования новых отраслей. Например, в производстве функциональных наноматериалов и композитов востребованы режимы, обеспечивающие не только заданную дисперсность, но и контролируемую морфологию частиц – сохранение или, напротив, сглаживание острых граней, формирование сфероидных форм, минимизацию дефектов кристаллической решётки. Для решения таких задач исследуются комбинированные схемы воздействия, включая использование сверхзвуковых струй с модулированными параметрами, импульсную подачу энергоносителя, а также совмещение струйного помола с механохимической активацией.

Важным аспектом дальнейшего совершенствования струйных противоточных мельниц остаётся стандартизация методик оценки их эффективности и сопоставимости результатов испытаний. Существующие подходы к определению удельной поверхности, анализу распределения частиц по размерам и расчёту удельных энергозатрат зачастую дают разброс данных из-за различий в пробоподготовке, условиях измерения и интерпретации результатов. Разработка единых отраслевых протоколов, включающих рекомендации по выбору эталонных материалов, регламентации режимов тестирования и критериям валидации цифровых моделей, позволит ускорить трансфер инновационных решений из лабораторий в промышленное производство и повысить доверие к новым техническим разработкам со стороны потенциальных потребителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усовершенствованная конструкция струйной противоточной мельницы для горнорудной промышленности / С. И. Анциферов, С. Б. Булгаков, А. В. Карачевцева, М. В. Тимашев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12-2. – С. 5–16.

2. **Постникова, И. В.** Струйные мельницы / И. В. Постникова, В. Н. Блиничев // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. – 2015. – № 2 (42). – С. 144–151.

3. **Поздняков, С. С.** Пневмоструйная противоточная мельница для избирательного измельчения и обогащения : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Поздняков С. С. – Белгород, 2007. – 23 с.

УДК 620.193

РОЛЬ АТОМАРНЫХ ОКИСЛИТЕЛЕЙ В КИНЕТИКЕ АНОДНОГО РАСТВОРЕНИЯ АЛЮМИНИЯ В ХЛОРИДСОДЕРЖАЩЕМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ

Л. А. КАШАПОВА, З. А. БАШИРОВА,
Г. Г. АМИНЕВА, Н. А. ВАСЕНИНА
Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

Введение. Анодное растворение алюминия в хлоридсодержащих средах определяется не только электрохимическим переносом заряда, но и химическими реакциями на поверхности металла [1]. При высокой анодной поляризации возможно образование активных атомарных окислителей – атомарного хлора (Cl•) и атомарного кислорода (O•). Они способны непосредственно взаимодействовать с алюминием, формируя дополнительный химический канал его окисления. Поэтому фактическая скорость уноса металла может превышать величину, ожидаемую при учёте только закона Фарадея.

Цель работы – исследование вклада атомарных окислителей в кинетику анодного растворения алюминия в физиологическом растворе и выделение характерных стадий процесса по изменению временного ряда тока.

Методы исследования. Эксперимент проводили в потенциостатическом режиме при $E = 7$ В на алюминиевой фольге толщиной 60 мкм в 0,9-процентном растворе NaCl [2]. Регистрировали ток во времени и проводили флуктуационный анализ временного ряда для выделения характерных стадий анодного растворения и сопоставления изменений электрического сигнала с изменением состояния поверхности электрода.

Результаты и обсуждение. При высоком анодном потенциале (7 В) на поверхности алюминиевого электрода протекают параллельные процессы окисления хлорид-ионов с образованием атомарного хлора и воды с образованием атомарного кислорода. Образующиеся частицы вступают в химическое взаимодействие с алюминием непосредственно на поверхности электрода. В результате наряду с электрохимическим процессом реализуется дополнительный химический путь окисления металла.

Установлено, что наблюдаемая скорость растворения превышает скорость, рассчитанную по закону Фарадея, что указывает на существенный вклад химического окисления [2]. Флуктуационный анализ позволил выделить стадии изменения состояния электрода. Дополнительно установлено, что характер изменения тока во времени связан с последовательным изменением состояния поверхности алюминиевого электрода. На начальном этапе преобладает непосредственно электрохимическое растворение металла, однако по мере

уменьшения толщины металлического слоя возрастает влияние локальных процессов окисления. Это проявляется в изменении интенсивности токовых флуктуаций и свидетельствует о переходе системы к иному режиму протекания процесса. Таким образом, анализ временного ряда тока позволяет не только фиксировать изменение скорости растворения, но и косвенно характеризовать последовательность происходящих на поверхности электрода процессов. Наиболее выраженным этот вклад становится при переходе электрода в наноразмерное состояние: эффективная площадь металлического контакта уменьшается, а локальные плотности тока достигают максимальных значений. На данной стадии атомарные окислители становятся определяющим фактором дополнительного химического уноса алюминия.

После полного растворения металлического слоя характер тока изменяется: остаточный ток обусловлен ионной проводимостью через слой продуктов коррозии. Таким образом, динамика тока отражает последовательную смену стадий процесса – анодное растворение металла, усиление химического вклада при переходе к наноразмерному состоянию и последующую проводимость через продукты коррозии.

Практическая значимость. Учёт атомарных окислителей необходим для корректной интерпретации кинетики коррозионно-электрохимических процессов алюминия в хлоридсодержащих средах [1]. Полученные результаты могут быть использованы при оценке поведения алюминиевых материалов в агрессивных электролитах и прогнозировании срока службы конструкций, поскольку скорость разрушения определяется не только фарадеевским переносом заряда, но и дополнительным химическим окислением поверхности.

Выводы. Показано, что при анодной поляризации алюминия в 0,9-процентном растворе NaCl при E = 7 В атомарные окислители, образующиеся при окислении хлорид-ионов и воды, вносят существенный вклад в растворение металла. На стадии перехода электрода в наноразмерное состояние химическое окисление становится определяющим. После растворения металлического слоя остаточный ток связан с ионной проводимостью через продукты коррозии. Следовательно, учёт атомарных окислителей необходим для описания кинетики анодного растворения алюминия в агрессивных средах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Szklarska-Smialowska, Z.** Pitting corrosion of aluminum / Z. Szklarska-Smialowska // Corrosion Science. – 1999. – Vol. 41. – P. 1743–1767.

2. **Bard, A. J.** Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications / A. J. Bard, L. R. Faulkner. – 2 th ed. – Wiley, 2001.

УДК 621.43.038

ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕТАЛЕЙ ШАТУННО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

О. С. КИСЕЛЕВСКИЙ, В. В. ВАСИЛЬКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В докладе систематизированы характерные дефекты деталей шатунно-поршневой группы (ШПГ) и проведён сравнительный анализ методов оценки технического состояния с учётом точности, доступности и экономической рентабельности. Обоснован оптимальный диагностический комплекс для условий технического обслуживания машин.

Шатунно-поршневая группа – наиболее нагруженный узел двигателя внутреннего сгорания. По данным исследований, от 40 % до 60 % отказов ДВС в эксплуатации связаны с износом деталей ШПГ [1, 2]. Несвоевременное выявление дефектов влечёт рост расхода топлива и масла, снижение мощности вплоть до аварийного выхода двигателя из строя.

Цель работы – систематизация и сравнение современных методов определения технического состояния деталей ШПГ, обоснование рекомендации по их практическому применению.

ШПГ включает поршень с компрессионными и маслосъёмными кольцами, поршневой палец, шатун, шатунный палец, шатунные и коренные вкладыши. Детали работают при давлениях до 15 МПа и температурах 200 °С...350 °С в условиях пограничного трения [3]. Характерные дефекты: износ юбки поршня и ручьёв колец, задиры и прогары поршня, поломка колец, износ шатунного пальца и вкладышей, усталостные трещины шатуна. Диагностические параметры: компрессия, утечка воздуха при пневмотестировании, виброакустические сигналы и концентрация продуктов износа в масле [4].

Наиболее распространённым методом определения технического состояния ШПГ является компрессометрия – измерение давления сжатия при прокрутке стартером. Снижение более чем на 20 %...25 % от нормы указывает на износ колец или неплотности клапанов [1]. Компрессометрия – наиболее доступный метод первичной оценки с минимальными затратами на оборудование. Учитывая, что стоимость капитального ремонта двигателя в Республике Беларусь составляет от 2 500 до 8 000 бел. р., рентабельность метода чрезвычайно высока. Помимо неё широко используется пневмотестирование – нагнетание воздуха в цилиндр при закрытых клапанах [2], виброакустический метод, основанный на регистрации ударных импульсов при перекладке поршня с обработкой сигнала методом БПФ, видеоэндоскопия – визуальный контроль через свечное отверстие без разборки двигателя [6], трибодиагностика – спектральный анализ масла на содержание Fe, Al, Cu позволяет дифференцировать источник износа [5].

Пневмотестирование превосходит компрессометрию по дифференцирующей способности и рекомендуется как базовый метод при регламентном ТО. Виброакустический метод и трибодиагностика целесообразны для крупных

парков: предиктивная диагностика сокращает простои на 30 %...50 % и снижает затраты на ремонт ДВС на 20 %...35 % [5, 7]. Эндоскопия позволяет визуально верифицировать дефект до принятия решения о разборке. В табл. 1 представлена сравнительная характеристика методов диагностирования ШПГ.

Табл. 1. Сравнительная характеристика методов диагностирования ШПГ

Метод	Точность	Без разборки	Стоимость оборудования	Доступность в условиях эксплуатации	Экономическая рентабельность	Дифференциация дефектов
Компрессометрия	Средняя	Да	Низкая	Очень высокая	Высокая	Низкая
Пневмотестирование	Высокая	Да	Средняя	Высокая	Высокая	Средняя
Эндоскопия	Высокая	Да*	Средняя	Средняя	Средняя	Высокая
Виброакустический метод	Высокая	Да	Высокая	Низкая	Высокая (для крупных парков)	Высокая
Трибодиагностика	Высокая	Да	Высокая	Низкая	Высокая (для крупных парков)	Высокая
Примечание – * – при достаточном доступе через свечное отверстие						

Установлено, что для оперативной диагностики наиболее эффективно пневмотестирование в сочетании с компрессометрией и видеоэндоскопией; виброакустический метод и трибодиагностика обеспечивают наибольшую дифференцирующую способность и перспективны для предиктивного ТО крупных парков; видеоэндоскопия позволяет верифицировать дефекты без разборки двигателя. Рекомендован дифференцированный подход: малым и средним предприятиям – компрессометрия и пневмотестирование с добавлением эндоскопии; крупным – виброакустический мониторинг и трибодиагностика.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гаврилов, К. Л.** Диагностирование двигателей внутреннего сгорания / К. Л. Гаврилов. – М. : Колосс, 2012. – 224 с.

2. **Биргер, И. А.** Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.

3. **Сарафанов, А. В.** Виброакустическая диагностика двигателей внутреннего сгорания / А. В. Сарафанов, А. В. Лукьянов // Известия МГТУ «МАМИ». – 2019. – № 3. – С. 12–18.

4. **Резник, Л. Г.** Эффективность использования автомобилей / Л. Г. Резник, Г. М. Ромалис, С. Т. Чарков. – М. : Транспорт, 1989. – 128 с.

5. **Буштрук, Т. Н.** Трибодиагностика в системе технического обслуживания машин / Т. Н. Буштрук // Технический сервис машин. – 2020. – № 2. – С. 34–41.

6. **Чечот, Н. М.** Эндоскопия в диагностике двигателей / Н. М. Чечот. – М. : Машиностроение, 2015. – 96 с.

7. **Mourelatos, Z. P.** Piston ring wear and engine diagnosis / Z. P. Mourelatos, V. Kireev // Tribology International. – 2021. – Vol. 158. – P. 106934.

УДК 69.04

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ РАСТВОРОВ ДЛЯ СТЯЖЕК ПОЛА, СОДЕРЖАЩИХ ОТХОДЫ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА

Е. Е. КОРБУТ, О. Ю. МАРКО, И. В. НЕМЧЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Введение измельченных отходов пенополиуретана (ППУ) в цементно-песчаный раствор позволяет создать легкий полимербетон (полиуретанбетон), который обладает отличными тепло- и звукоизоляционными свойствами, но имеет специфические особенности взаимодействия с влагой. В отличие от монолитного жесткого ППУ, который почти не впитывает влагу (менее 2 %...5 % по объему), измельченные отходы (крошка) ведут себя иначе. При дроблении нарушается целостность закрытых пор материала, образуется открытая капиллярная структура и микротрещины на границе «цементный камень – полиуретан».

Водопоглощение растворов для стяжек пола, содержащих отходы пенополиуретана, напрямую зависит от процентного содержания отходов в смеси и типа самого ППУ (жесткий или эластичный, с закрытыми или открытыми ячейками). Жесткий ППУ (сэндвич-панели, трубная изоляция) дает более низкие показатели водопоглощения, т. к. гранулы сохраняют часть закрытых ячеек, не пускающих воду внутрь.

Водопоглощение раствора определяли на образцах-кубах размером 70 × 70 × 70 мм по методике ГОСТ 12730.3–2020. К исходному составу цементно-песчаного раствора (1 : 3) добавляли 50 % ППУ, 100 % ППУ и 150 % ППУ от массы цемента (рис. 1).

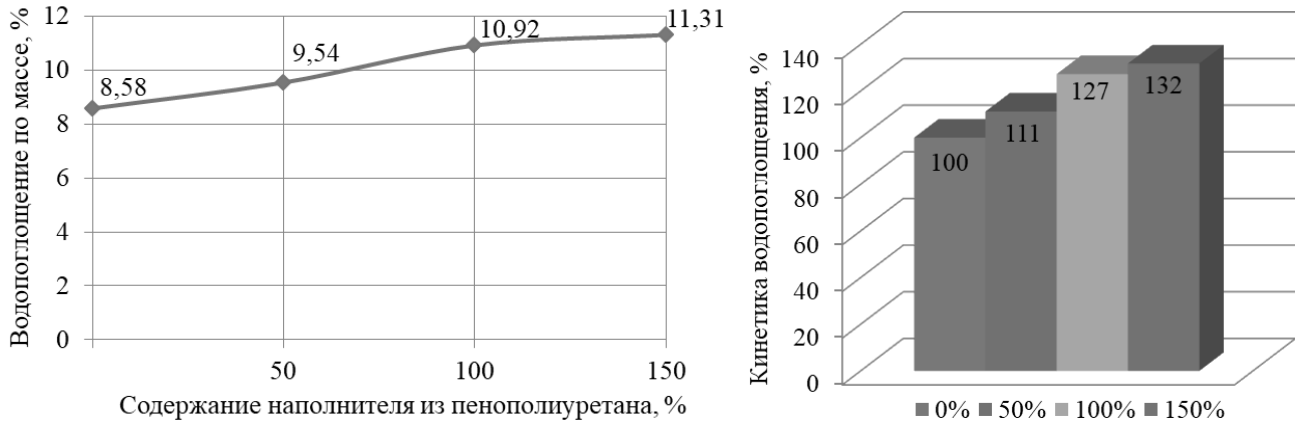


Рис. 1. Тенденция изменения водопоглощения по массе раствора, содержащего наполнитель из пенополиуретана

Увеличение водопоглощения наблюдается с ростом доли ППУ. Эффективное снижение водопоглощения цементно-песчаного раствора, содержащего отходы ППУ, можно достичь комплексным подходом: уменьшением водоцементного соотношения за счет введения пластифицирующих добавок, обработкой наполнителя и гидроизоляцией поверхности стяжки.

УДК 69.04

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (ПЛОТНОСТЬ) РАСТВОРОВ ДЛЯ СТЯЖЕК ПОЛА, СОДЕРЖАЩИХ ОТХОДЫ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА

Е. Е. КОРБУТ, О. Ю. МАРКО, У. С. САМАРСКИХ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Цементно-песчаный раствор не является абсолютно плотным материалом. В процессе гидратации цемента, т. е. при его взаимодействии с водой, формируются кристаллогидратные новообразования клинкерных минералов. Чем выше степень гидратации, тем больше образовалось кристаллогидратов и тем большее количество воды затворения перешло в химически связанное состояние (~15 %). В результате испарения излишней воды (количество воды затворения ~40 %…65 %), а также неполного удаления воздушных пузырьков при уплотнении смеси в растворе образуются поры, следовательно, уменьшается плотность материала.

С целью получения легкой, тепло- и звукоизоляционной стяжки пола, а также для целесообразного использования вторичного сырья в настоящих исследованиях поставлена задача по подбору оптимального состава цементно-песчаного раствора для стяжки пола, содержащего измельченные отходы пенополиуретана (ППУ), получаемые при изготовлении предварительно изолированных труб.

В экспериментах использовали составы цементно-песчаного раствора с наполнителем из отходов ППУ, приведенные в табл. 1.

Табл. 1. Составы цементно-песчаного раствора для исследований

Наименование состава	Средняя плотность ρ, кг/см^3	Марка цемента	Расход составляющих (соотношение)				Водоцементное отношение раствора
			Ц	П	ППУ	В	
Эталон	1 920	ПЦ 400-Д0	1	3	–	0,5	0,5
0,5 ППУ	1 910	ПЦ 400-Д0	1	2,5	0,5	0,5	0,5
1,0 ППУ	1 800	ПЦ 400-Д0	1	2	1	0,5	0,5
1,5 ППУ	1 640	ПЦ 400-Д0	1	1,5	1,5	0,5	0,5

Образцы цементно-песчаного раствора (размерами 70 × 70 × 70 мм) изготавливали в формах с укладкой вибрированием (A ~ 0,5 мм; f ~ 50 Гц) в течение 3…5 с. В качестве наполнителя для раствора использовали измельченные отходы ППУ фракцией 10 мм.

На рис. 1 приведены сечения образцов с наполнителем после проведения испытаний по прочности на сжатие. Распределение ППУ неравномерное, особенно при низком содержании наполнителя.



Рис. 1. Образцы-кубы 70 × 70 × 70 мм после испытаний на сжатие

Образцы твердели в естественных условиях без подвода тепла при температуре среды твердения 20 °С…22 °С. В возрасте 3, 7 и 28 сут определяли плотность растворов по методике согласно ГОСТ 10181.2–2000.

Результаты определения плотности серии образцов приведены на рис. 2.

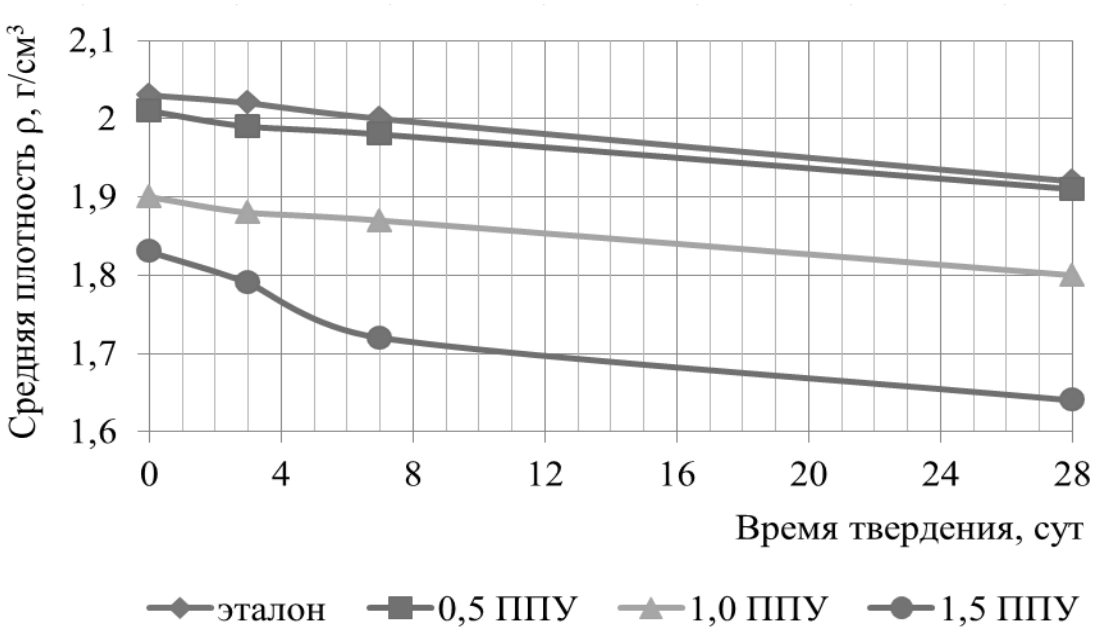


Рис. 2. Кинетика плотности цементно-песчаного раствора, содержащего наполнитель из пенополиуретана

Плотность образцов уменьшается по мере увеличения доли ППУ в замещаемом заполнителе. Понижение плотности положительно влияет на теплоизоляцию и облегчение конструкции стяжки. Также пористая структура ППУ снижает теплопроводность и усиливает звукоизоляцию по сравнению с чистым цементно-песчаным раствором. Однако пористость и водопоглощение растут, что требует дополнительных мер (гидрофобизация, добавки для уплотнения пор).

УДК 622.765

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РУДЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ФЛОТАЦИИ

А. С. КОРЗИНОВА, А. А. ЛАВРИНЕНКО, О. Г. ЛУСИНЯН, Г. Ю. ГОЛЬБЕРГ
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н. В. Мельникова РАН
Москва, Россия

Современный этап развития горнорудной промышленности характеризуется вовлечением в переработку сравнительно бедных малосульфидных медно-никелевых руд сложного вещественного состава [1]. Наряду с минералами меди и никеля в рудах присутствуют и силикаты, в том числе магнийсодержащие (МС) [2]; некоторые из них при флотации руд извлекаются в концентрат. Магний является вредной примесью, т. к. он увеличивает затраты энергии на пирометаллургические процессы переработки концентрата [3]. Поэтому важной задачей совершенствования технологии флотации медно-никелевых руд является эффективная депрессия МС с учетом фазового состава руд. Исследования, выполненные в ИПКОН РАН, показали перспективность применения в качестве депрессора МС полианионной целлюлозы марки ПАЦ-Н производства ЗАО «Полицелл» (г. Владимир) с молекулярной массой порядка 116 000 кг/кмоль, степенью замещения около 90 % [4]. Известны исследования по депрессии таких МС, как тальк и серпентин [3]; влияние депрессоров на другие МС при флотации руд до настоящего времени остается не вполне ясным.

Цель работы – определение влияния фазового состава образцов медно-никелевой руды на результаты флотации с применением депрессора.

В работе выполнены исследования образцов медно-никелевой руды: АМ-1 и АМ-2. Содержание меди, никеля и магния в АМ-1 составило 0,25 %, 0,44 % и 15,80 %; в АМ-2 – 0,39 %, 0,60 % и 8,70 % соответственно. Фазовый состав определяли методами оптической микроскопии и рентгенофазового анализа. Установлено, что в составе АМ-1 медь содержится в халькофиллите, а никель – в пентландите, виоларите и никеленосном пирротине. Преобладают МС: кордиерит, содержащий в виде сростков сульфидные минералы, антигорит и др.

В отличие от АМ-1, в АМ-2 медь содержится в халькопирите, никель – в пентландите, пирротине и ретгерсите. В этой руде представлены слоистые МС, проявляющие гидрофобные свойства: вонезит (31 %), шамозит (17 %), сепиолит (2 %); сростки силикатных и сульфидных минералов не выявлены.

Опыты по флотации образцов руды АМ-1 и АМ-2 были выполнены на лабораторной флотационной машине. В качестве собирателя применяли бутиловый ксантогенат калия (БКК) с расходом 112 г/т; в качестве пенообразователя – метилизобутилкарбинол (МИБК) с расходом 21 г/т; в качестве депрессора МС – ПАЦ-Н с расходом 700 г/т. Порядок подачи реагентов: ПАЦ-Н → БКК → МИБК. Определяли следующие параметры: выход концентрата, извлечение меди и никеля, содержание магния (соответственно γ, εCu, εNi и βMg). Из данных табл. 1 видно, что ПАЦ-Н оказывает депрессирующее действие на МС. При этом

снижение значений γ и βMg для АМ-2 несколько выше, чем для АМ-1; вероятно, это обусловлено преобладанием слоистых МС в составе АМ-2. Более значительное снижение εCu и εNi для АМ-1 по сравнению с АМ-2 связано с тем, что в АМ-1 медь и никель содержатся в халькофиллите, более гидрофильном по сравнению с сульфидными минералами, а также в сростках с кордиеритом, на котором закрепляются молекулы ПАЦ-Н, тем самым гидрофилизируя поверхность этого минерала. В то же время для АМ-2 потери меди и никеля ниже по причине отсутствия сростков сульфидных и силикатных минералов.

Табл. 1. Результаты опытов по флотации образцов руды АМ-1 и АМ-2

Наименование параметра	Значение параметров, %			
	АМ-1		АМ-2	
	без депрессора	с ПАЦ-Н	без депрессора	с ПАЦ-Н
Выход концентрата (γ)	24,5	20,0	46,0	41,0
Извлечение меди (εCu)	76,5	64,5	88,5	83,0
Извлечение никеля (εNi)	62,0	52,5	71,0	64,5
Содержание магния (βMg)	16,7	16,0	9,2	8,3

Таким образом, в работе показано, что ПАЦ-Н при флотации медно-никелевых руд эффективно депрессирует слоистые МС. Для руды, содержащей сростки силикатных и сульфидных минералов, при действии ПАЦ-Н потери меди и никеля больше, чем для руды, не содержащей сростки. Для повышения гидрофобности минералов меди и никеля после подачи депрессора целесообразно применение органических реагентов-модификаторов, закрепляющихся на поверхности указанных минералов за счет образования координационных связей с ионами меди и никеля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боярко, Г. Ю.** Минерально-сырьевая база меди России: состояние, возможности развития / Г. Ю. Боярко, А. М. Лаптева, Л. М. Болсуновская // Горные науки и технологии. – 2024. – Т. 9, № 4. – С. 352–386.

2. Upgrading of talc-bearing copper-nickel sulfide ore by froth flotation using sodium phytate as depressant / J. Xie, W. Sun, K. Zhao [et al.] // Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects. – 2024. – Vol. 687, № 133561.

3. Review on the challenges of magnesium removal in nickel sulfide ore flotation and advances in serpentinite depressor / F. Yin, Ch. Zhang, Y. Yu [et al.] // Minerals. – 2024. – Vol. 14, № 965. – P. 20.

4. Применение отечественных полимерных анионоактивных депрессоров при флотации забалансовой оталькованной медно-никелевой руды / А. А. Лавриненко, И. Н. Кузнецова, О. Г. Лусинян, Г. Ю. Гольберг // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2023. – Т. 29, № 5. – С. 5–14.

УДК 621.785

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ТИТАНА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАЗМЕРНУЮ ТОЧНОСТЬ

А. Ю. КОРОЛЁВ, А. И. ИВАНОВ, В. А. РОЖКОВ
Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»
Минск, Беларусь

Одной из перспективных областей применения электролитно-плазменной цементации (ЭПЦ) является поверхностное упрочнение деталей малых размеров, к которым зачастую предъявляются повышенные требования к точности геометрических параметров. Особенно актуальным это является для изделий, применяемых в медицине, приборостроении, авиационно-космической технике и прецизионном машиностроении. При ЭПЦ возможно изменение их размеров вследствие воздействия высоких температур, а также протекания разрядных процессов, что может ограничивать возможность практического применения технологии. По этой причине важной задачей является оценка влияния температурных режимов ЭПЦ на изменение геометрических параметров обрабатываемых деталей.

Исследования выполняли для цилиндрических образцов из технически чистого титана ВТ1-0 диаметром и высотой 10 мм. При ЭПЦ температура процесса устанавливалась на уровне 700 °С...1 000 °С с шагом в 50 °С. Время обработки составляло 5 мин. В качестве рабочего электролита был выбран водный раствор, содержащий по 10 % хлорида аммония и глицерина. Температура электролита на протяжении всего процесса поддерживалась на уровне 20 °С.

Диаметр образцов D измеряли на трех уровнях по высоте: на расстоянии 0,5 мм от нижнего и верхнего торцов, а также на середине высоты образца. Положение среднего уровня определяли как $L/2$, где L – фактическая высота образца на момент измерения. Высоту образца измеряли вдоль его оси симметрии. Таким образом, координаты уровней измерения z составляли 0,5 мм; $L/2$ мм и (L – 0,5) мм при отсчете координаты z от нижнего торца. На каждом уровне диаметр измеряли в двух взаимно перпендикулярных направлениях в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

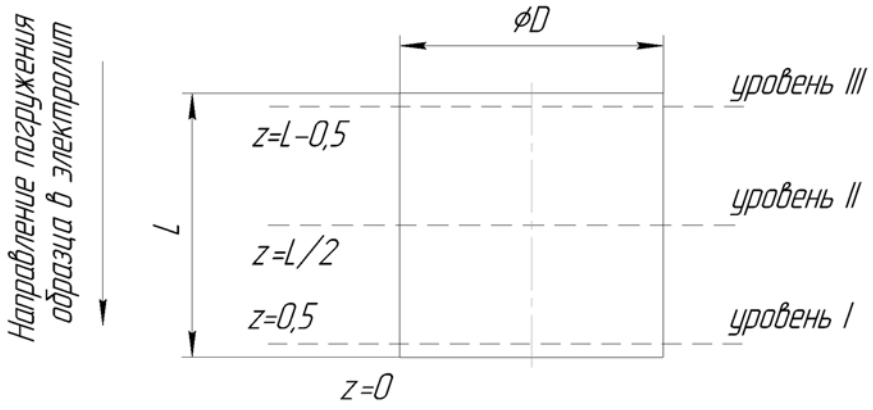


Рис. 1. Схема измерения геометрических параметров образцов

Результаты проведенных измерений представлены на рис. 2.

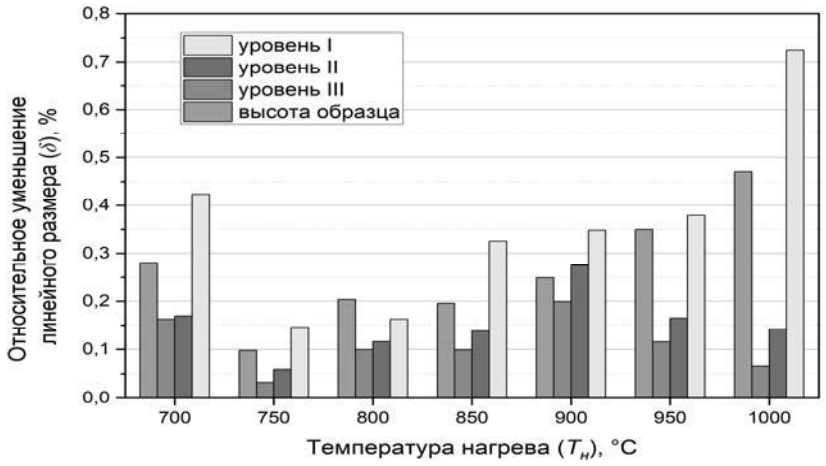


Рис. 2. Зависимость относительного уменьшения геометрических параметров δ титановых образцов от температуры нагрева $T_н$ при ЭПЦ

Полученные результаты показывают, что относительное изменение геометрических параметров образцов δ варьируется от 0,03 % до 0,73 % и зависит как от температуры процесса, так и от координаты по высоте образца. Максимальное уменьшение диаметра наблюдается в нижней части образца (уровень I) – участке, первым погружаемом в электролит. С увеличением координаты *z* величина δ снижается. Так, при температуре 700 °С диаметр образца в нижней части уменьшается на 0,28 %, тогда как в средней и верхней – на 0,16 %...0,17 %. Повышение температуры до 750 °С приводит к снижению относительного уменьшения диаметра до 0,15 %, 0,06 % и 0,03 % в нижней, средней и верхней частях соответственно. При дальнейшем повышении температуры до 900 °С наблюдается постепенный рост указанных величин до 0,35 %, 0,28 % и 0,2 % соответственно. Увеличение температуры до 1 000 °С приводит к более неоднородному уменьшению диаметра по высоте: в верхней и средней частях δ снижается до 0,07 % и 0,14 % соответственно, а в нижней, наоборот, возрастает до 0,73 %.

Характер изменения высоты образца схож с изменением диаметра в его нижней части. Так, при повышении температуры от 700 °С до 750 °С относительное уменьшение высоты снижается с 0,28 % до 0,098 %. Дальнейшее увеличение температуры до 1 000 °С приводит к росту данного показателя до 0,47 %.

Таким образом, изменение геометрических параметров образцов в исследованном температурном диапазоне носит немонотонный характер. Минимальные изменения наблюдаются при 750 °С, тогда как дальнейшее повышение температуры нагрева при ЭПЦ сопровождается ростом величины относительного уменьшения геометрических параметров и увеличением ее неравномерности по высоте образца. Наиболее выражен данный эффект при температуре 1 000 °С, при которой уменьшение диаметра в нижней части существенно превышает соответствующие значения в средней и верхней частях.

УДК 621.794.61

СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ НА МАГНИЕВОМ СПЛАВЕ AZ31B ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ

А. Ю. КОРОЛЁВ, В. С. НИСС, В. А. КУЧИНСКИЙ
Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»
Минск, Беларусь

В регенеративной медицине и травматологии особое место занимают металлические материалы, способные временно функционировать в контакте с биологическими средами. Наиболее востребованными среди них являются магний и его сплавы, обладающие способностью к безопасному растворению в физиологических жидкостях (биодеградации). Данное свойство позволяет использовать их для создания временных имплантатов (стентов, винтов, пластин).

Ключевой проблемой применения магниевых сплавов при этом является обеспечение необходимого уровня несущей способности и функциональных свойств имплантатов в течение периода регенерации тканей. Так, скорость их биодеградации должна быть согласована с темпами восстановления поврежденной ткани: высокая скорость приводит к преждевременной потере несущей способности имплантата, а замедленная – снижает преимущество временной имплантации.

Одним из перспективных подходов к замедлению биодеградации магниевых имплантатов является формирование на их поверхности защитных оксидных покрытий методом микродугового оксидирования (МДО). Однако применение традиционного МДО при промышленной частоте тока имеет ряд недостатков. К ним относятся высокая энергия отдельных микродуговых разрядов, формирование покрытий с развитой пористой структурой и локальными дефектами, значительная неоднородность толщины, а также ограниченные возможности управления соотношением толщины, плотности и проницаемости покрытия и, соответственно, скоростью деградации магниевого имплантата.

Для решения указанных проблем нами предложен метод высокочастотного МДО с частотой до 4 000 Гц. Увеличение частоты при соответствующем регулировании длительности и амплитуды импульсов позволяет изменять энергетические характеристики микродуговых разрядов и условия формирования оксидного слоя. Это, в свою очередь, обеспечивает более эффективное управление структурно-морфологическими характеристиками покрытия, включая его толщину, плотность, пористость и степень дефектности, что в конечном итоге создает предпосылки для согласования кинетики биодеградации имплантата с периодом восстановления поврежденных тканей и обеспечения необходимого уровня сохранения его жесткости в течение периода функциональной эксплуатации.

Выполнены исследования влияния частоты следования импульсов на структуру и морфологию формируемых МДО-покрытий на примере образцов из магниевого сплава AZ31B. Обработку образцов выполняли в силикатно-щелоч-

ном электролите с общей концентрацией компонентов 15 г/л при значениях частоты 50, 200, 400, 2 000 и 4 000 Гц. Установлено, что при частоте 50 Гц диаметр отдельных пор достигает 30 мкм (рис. 1, *а*). С увеличением частоты средний размер пор уменьшается, а их количество на единицу площади поверхности существенно возрастает (табл. 1). Одновременно с уменьшением среднего размера пор при повышении частоты следования импульсов наблюдается уменьшение размеров трещин, формирующихся в оксидном покрытии.

а) *б*) *в*)

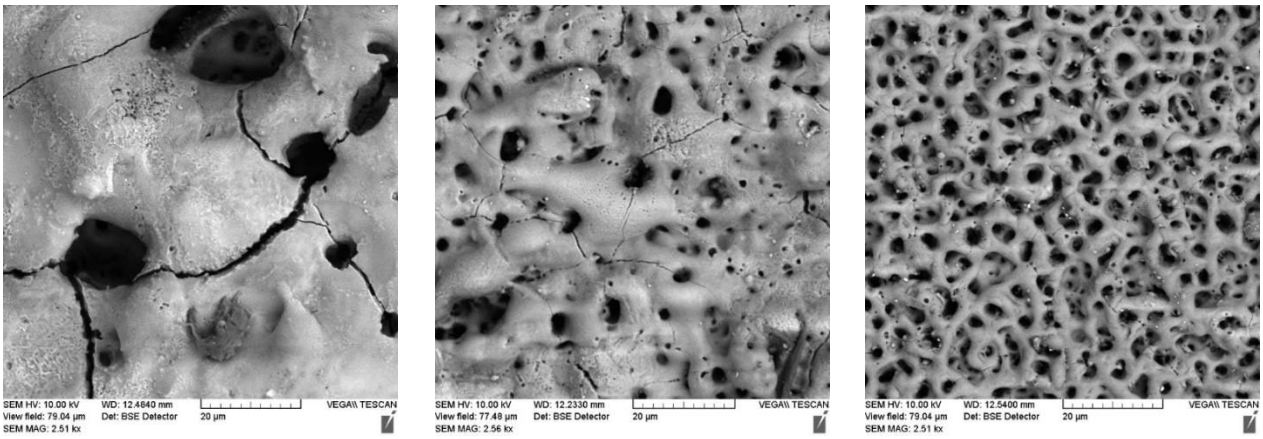


Рис. 1. СЭМ-изображения МДО-покрытий на сплаве AZ31B при различных значениях частоты следования импульсов: *а* – 4 000 Гц; *б* – 200 Гц; *в* – 50 Гц

Табл. 1. Пористость МДО-покрытий, полученных при различных значениях частоты следования импульсов

Частота обработки, Гц	Средний размер пор, мкм	Максимальный размер пор, мкм	Процент площади, занимаемый порами
50	6,6	30	5,9
200	2,1	10	6,4
400	1,8	6	8,1
2 000	2,0	6	9,6
4 000	2,2	4,5	12,3

Полученные результаты свидетельствуют о возможности управления структурно-морфологическими характеристиками МДО-покрытий путем изменения частоты импульсного воздействия, что позволяет регулировать их проницаемость и защитные свойства. Установленные высокочастотные режимы МДО могут быть использованы для формирования функциональных покрытий на магниевых имплантатах с регулируемыми характеристиками поверхности и, как следствие, для управления процессами их коррозионной деградации в биологической среде.

УДК 621.83

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ОГРАЖДЕНИЯ ДЛЯ СТАНКА 3А161

Е. Г. КРИВОНОГОВА, Д. С. ГАЛЮЖИН, Д. И. ЕВМЕНЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Станок круглошлифовальный 3А161 является источником повышенной опасности, как и любое технологическое оборудование, однако при подробном рассмотрении в предыдущих исследованиях был выделен ряд факторов, которые оказывают наиболее существенное влияние на надежность и долговечность его работы и на безопасность шлифовщика. Ранее были рассчитаны размеры защитного ограждения, которое было бы способно обеспечить безопасность шлифовщика при вылете заготовки из центров.

Установлено, что толщина стандартного листа монолитного поликарбоната, способного задержать заготовку, должна составлять 12 или 14 мм, при этом экран полностью поглощает 1,45 кДж энергии за счет упругопластической деформации.

При дальнейшем конструировании защитного ограждения выяснилось, что максимальная толщина поликарбоната, которая доступна в продаже в Республике Беларусь, составляет 12 мм при размерах листа 2 050 × 3 050 мм. Стоимость в зависимости от компании-производителя находится в пределах 1 200...1 800 р. за лист. Стоимость готового ограждения, выполненного специализированными подрядчиками, находится приблизительно в том же ценовом диапазоне – 1 200...1 600 р. Однако в данном случае не учитывается стоимость монтажа и пригонки к конкретному оборудованию. Изготовление по индивидуальному заказу существенно увеличивает итоговую сумму в смете.

По результатам исследования рынка можно сделать вывод о том, что применение листов толщиной более 6 мм экономически нецелесообразно, листы стоят дорого, вес листа толщиной 10 мм и с размерами 2 050 × 3 050 мм составляет порядка 75 кг, его нарезка сопряжена с риском повреждения материала, т. к. требует применения специального оборудования.

Следовательно, остается рассмотреть два варианта: первый – заказ у стороннего подрядчика, который специализируется на выполнении такого вида работ, второй – изготовить самостоятельно, но с применением листа меньшей толщины. Преимуществом первого варианта является отсутствие необходимости отвлекаться от основного производства для изготовления ограждения, однако общие затраты на покупку будут существенными. Кроме того, при выходе из строя части механизма или механизма полностью, а также при плановой замене расходных материалов будет постоянно возникать необходимость вызова стороннего специалиста. При собственной разработке защитного ограждения затраты будут только на покупку основных материалов; исключаются затраты на проектирование, изготовление, плановый и внеплановый ремонт, т. к. это осу-

ществляется собственными специалистами. Основные затраты на материалы сведены в табл. 1.

Табл. 1. Основные материалы

Наименование материала	Объем	Цена за ед.	Стоимость, бел. р.
Лист стальной Ст3 (2 мм)	~1 м^2 (16 кг)	4,20 р. / кг	67,20
Профильная труба 20 × 20 × 2 мм	6 п. м	3,50 р. / м	21,00
Монолитный поликарбонат (6 мм)	0,5 м^2	95,00 р. / м^2	47,50
Концевой выключатель блокировки	1 шт.	35,00 р. / шт.	35,00
Комплект вспомогательных материалов	1 шт.	40,00 р. / шт.	40,00
Итого материалы			210,70

Как видно из табл. 1, стоимость материалов при собственном изготовлении существенно ниже, чем затраты на покупное готовое изделие. Кроме того, на любом производстве найдутся стальной лист и профильная труба, что тоже может уменьшить итоговую сумму затрат на материалы.

При проектировании ограждения самостоятельно необходимо учесть ряд требований и принять во внимание общие конструктивные рекомендации для такого вида устройств.

Ограждение должно быть выполнено в виде облегченного откидного или раздвижного экрана на петлях, а общий вес подвижной части не должен превышать 12 кг. Это позволит оператору легко манипулировать защитой вручную без использования пневмоцилиндров. В цепь управления станка необходимо интегрировать концевой выключатель. При поднятии или сдвиге экрана цепь автоматически разрывается, блокируя пуск вращения шпинделя бабки изделия и гидроподачу стола. Необходимо предусмотреть защиту от износа смотрового окна изнутри, смотровое окно рекомендуется защитить легкосъемным экраном из тонкого листа (2 мм) или полиэтиленовой пленкой, чтобы исключить замутнение дорогого поликарбоната из-за постоянного попадания летящих абразивных частиц и направленной струи СОЖ.

Размеры защитного экрана выбираются на основе паспортных данных станка, оптимально выполнять компактное откидное ограждение местного типа, которое закрывает только зону резания и вращения изделия, а не весь станок целиком. Конструкция каркаса должна быть оптимальной по длине, ширине и высоте, чтобы одновременно обеспечить безопасность шлифовщика и необходимый обзор зоны обработки.

УДК 621.83

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШЕСТЕРЕН МФУ МЕТОДОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

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

В современной экономике устойчивый рост и конкурентоспособность производственного процесса возможны только при активном внедрении в него новых технологий. Использование инноваций различного вида способно существенно оптимизировать затраты на выпуск конечного продукта, а значит, и стимулировать импортозамещение высокотехнологичных изделий.

На ранних этапах развития 3D-печати аддитивное производство было в основном средством для быстрого создания временных прототипов, что позволяло резко сократить время на изготовление опытных образцов, удешевить разработку новых изделий и в итоге сделать готовую продукцию более доступной для потребителя и это, естественно, повышало её конкурентоспособность.

Сейчас аддитивное производство представляет собой полноценный инструмент, который позволяет быстро создавать функциональные детали, а также осуществлять быстрый ремонт, который способен вернуть устройствам первоначальный межремонтный ресурс за относительно короткое время.

Реальный экономический и технический эффект аддитивных технологий можно рассмотреть применительно к решению задачи по восстановлению работоспособности многофункционального устройства (МФУ) Kyocera TASKalfa 5003i путем изготовления узла шестерен привода подачи тонера.

При оценке целесообразности осуществления ремонта с использованием технологий аддитивного производства большую роль играет не только прямая стоимость изготовления деталей, но и минимизация косвенных потерь. Чем выше текущая загрузка производства, тем критичнее становятся убытки от каждой минуты простоя оборудования. Если учитывать специфику использования данного МФУ, важно отметить, что в пиковые периоды, например во время сдачи важных тиражей, цена простоя может увеличиться многократно. Возникает риск срыва контрактов и репутационных потерь.

Поскольку оригинальные пластиковые шестерни блока проявки Kyocera TASKalfa 5003i отдельно заводом-изготовителем не поставляются, возможна покупка родственных деталей из Китая либо изготовление необходимого изделия с помощью аддитивных технологий.

Оценим финансовые риски простоя оборудования при умеренной загрузке типографии на основе трех ключевых компонентов, таких как потерянная производительность, недополученная выручка, упущенная выгода.

Заявленная техническая производительность данного МФУ составля-

ет 50 страниц формата А4 в минуту. При средней загрузке оборудования около 6 ч в день устройство способно выдавать 18 000 страниц за смену. Средняя стоимость печати одной страницы для конечного клиента составляет 0,3 р. Таким образом, один день простоя лишает владельца 5 400 р. потенциальной выручки. В пересчете на среднемесячный объем производства (при 30-дневном графике) упущенный оборот достигает 162 000 р. Если учесть, что рентабельность продаж полиграфического сектора составляет 30 %, то чистые финансовые потери компании составят 1 620 р. за каждый день простоя.

Если устранять поломку традиционным методом, таким как заказ оригинального узла у завода-изготовителя либо на маркетплейсе, то логистика и прохождение таможни растянется на месяц (30 дн.), а совокупная упущенная прибыль производства составит 48 600 р. Дополнительно предприятие продолжит нести скрытые издержки простоя – постоянные расходы, которые не останавливаются вместе с машиной: заработная плата операторов (время вынужденного присутствия), аренда площадей и коммунальные платежи, которые в рамках данного исследования учесть не представляется возможным.

Временные затраты на изготовление узла с помощью аддитивных технологий с учетом времени на реверс-инжиниринг, конструирование и проектирование, а также изготовление специалистом с помощью SLA-технологии и выбранного материала составляют один рабочий день. При выполнении расчета себестоимости изготовления получили сумму в 60,91 р. Для наглядности представим полученные результаты в виде таблицы (табл. 1).

Табл. 1. Результаты экономического расчета

Характеристика	Покупка на маркетплейсе	Использование аддитивных технологий (Tough 2000)
Стоимость покупки узла	70 р. без учета доставки	60,91 р.
Затраты времени	1 мес.	1 день
Упущенная прибыль	48 600 р.	1 620 р.
Зарплата сотрудникам	2 200 р.	105 р.
Долговечность детали	Гарантировать невозможно	Высокая (соответствует оригиналу)

В результате проведенного экономического обоснования была доказана целесообразность изготовления узла шестерен методом 3D-печати с применением SLA-технологии. Выбранный ранее материал Tough 2000 полностью соответствует требованиям к прочности заводского оригинала и позволяет получить высокое качество изделия. Приведенная итоговая таблица демонстрирует, что при принятии решения об использовании того или иного метода осуществления ремонта необходимо учитывать не только прямые, но и косвенные затраты, а также показывает, что покупка неоригинальных деталей не гарантирует обеспечения долговечности и надежности работы МФУ после ремонта.

УДК 535.2

СОВРЕМЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИМИТАТОРОВ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

С. П. КУДАК, Д. В. ФОМИН, А. Е. ВОРОНКОВ
Амурский государственный университет
Благовещенск, Россия

Имитаторы солнечного излучения (ИСИ) применяются во многих научных отраслях, в частности при исследовании новых материалов для фотоэлектрических преобразователей, а также при тестировании готовых изделий, например солнечных батарей космических аппаратов. К основным характеристикам ИСИ относят спектральное соответствие солнечному излучению, энергетическую освещённость, пространственную неравномерность её распределения и энергетическую эффективность [1–4].

В зависимости от используемого источника ИСИ могут быть построены на основе газоразрядных, светодиодных или комбинированных излучателей. Каждый из подходов имеет преимущества и ограничения. Так, короткодуговые ксеноновые газоразрядные лампы отличаются широким непрерывным спектром излучения. В [2] проведено сравнение спектра ксеноновой лампы OSRAM XBO со спектром внеатмосферного солнечного излучения AM0. В диапазоне длин волн 400...2 000 нм значения коэффициента спектрального соответствия K_C в отдельных спектральных интервалах составили 0,6...1,7, что подтверждает возможность использования такого источника для имитации солнечного излучения. Однако работа таких ИСИ сопровождается необходимостью применения оптического тракта, потери в котором снижают общую энергетическую эффективность до 5 %...10 % [1].

Светодиодные ИСИ отличаются возможностью непосредственного формирования излучающей поверхности из большого числа отдельных элементов. В отличие от ксеноновой лампы, отдельный светодиод имеет сравнительно узкую спектральную полосу, поэтому для воспроизведения солнечного спектра необходимо объединять излучатели различных спектральных диапазонов. При этом появляется возможность независимо регулировать мощность каждого канала и корректировать результирующий спектр [6]. Однако такая система усложняется необходимостью согласования мощности спектральных каналов для получения требуемого спектрального соответствия. Существенной задачей при построении светодиодных ИСИ остаётся обеспечение равномерности рабочего поля. Для этого в [5] предложена пространственная компоновка светодиодов на наклонных платах. По результатам вычислительного эксперимента для модуля размером 100 × 100 мм при расстоянии 100 мм изменение геометрии расположения излучателей позволило снизить неравномерность энергетической освещённости с 8 % до 4 %. Для компенсации спектральных областей, в которых применение светодиодов менее эффективно, нередко используются галогенные

лампы. Поэтому на практике применяются комбинированные ИСИ, в состав которых входят светодиодные и ламповые источники. Так, в [1] исследована светодиодно-галогенная модель ИСИ для термовакуумных испытаний космических аппаратов. При расстоянии 1,7 м расчётная энергетическая освещённость составила около 1 400 Вт/м² при пространственной неравномерности 3,5 %. В исследованном диапазоне режимов неравномерность находилась в пределах 3,3 %...5,2 %. Расчётная энергетическая эффективность установки составила 19,5 %, что существенно превышает диапазон 5 %...10 % для газоразрядных ИСИ.

Результаты работы [2], в которой рассмотрены спектральные характеристики комбинированной системы при использовании серийной шестицветной светодиодной сборки совместно с галогенной лампой и специализированной светодиодной сборкой из семи кристаллов шести спектральных диапазонов, показывают, что раздельное формирование спектральных составляющих позволяет поддерживать требуемое спектральное соответствие искусственного излучения солнечному спектру при изменении режима работы источника.

Проведённый анализ показывает, что ксеноновые ИСИ обеспечивают широкий спектр излучения, но требуют сложного оптического тракта и имеют энергетическую эффективность порядка 5 %...10 % [1]. Светодиодные системы позволяют независимо управлять спектральными каналами и оптимизировать распределение излучения [4, 5], но из-за этого возникает сложность согласования мощности спектральных каналов. Комбинированные ИСИ сочетают преимущества обоих подходов, при этом сохраняется необходимость проведения совместной оптимизации спектральных, энергетических и пространственных характеристик ИСИ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шевчук, А. А.** Альтернативный метод имитации солнечного излучения для термовакуумных испытаний космических аппаратов / А. А. Шевчук // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2021. – Т. 22, № 4. – С. 672–686.

2. Специализированная светодиодная сборка имитатора внеатмосферного солнечного излучения / А. А. Шевчук [и др.] // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2022. – Т. 23, № 4. – С. 734–746.

3. **Мартинович, М. В.** Источник искусственного освещения, имитирующий солнечный спектр, для тестирования солнечных батарей / М. В. Мартинович, И. А. Белова, Д. Ю. Федорова // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2021. – Т. 24, № 4. – С. 19–24.

4. Вакуумный имитатор солнца на основе светодиодов / А. А. Филатов [и др.] // Вакуумная техника, материалы и технологии : материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. – М., 2025. – С. 47.

5. Патент RU 2859721 C1. Светодиодный модуль имитатора солнечного излучения : № 2025126267 : заявлено 25.09.2025 : опубл. 07.04.2026 / М. В. Андреева [и др.].

6. Патент RU 2840234 C1. Имитатор солнечного излучения : № 2024132783 : заявлено 31.10.2024 : опубл. 19.05.2025 / Андреева М. В. [и др.].

УДК 621.314.12

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА БАЗЕ DC–DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ СГЛАЖИВАНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ МОЩНОСТИ ВИХРЕВОГО ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

Т. С. ЛАРЬКИНА, А. А. ВАСИЛЕНКО, Д. Д. АНЕЙЧИК
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Систему электроприводов на базе DC–DC-преобразователей для сглаживания пульсаций мощности вихревого ветрогенератора можно представить в виде энергетической цепи (рис. 1).



Рис. 1. Схема функциональная системы электроприводов на базе DC–DC-преобразователей для сглаживания пульсаций мощности вихревого ветрогенератора

Система предназначена для сглаживания пульсаций мощности вихревого ветрогенератора. Первичный источник – вихревой ветрогенератор – из-за турбулентности потока вырабатывает импульсный неравномерный ток. Выпрямитель преобразует его в постоянный ток и формирует DC-шину, где пульсации проявляются наиболее сильно. Параллельно шине подключён накопитель энергии, а согласование его работы с шиной обеспечивает двунаправленный DC–DC-преобразователь – ключевой элемент системы. С выхода шины сглаженное напряжение подаётся на инвертор для питания нагрузки или сети.

Принцип работы основан на балансе мощности. При всплеске генерации и росте напряжения на шине преобразователь переходит в режим понижения и заряжает накопитель; при провале – в режим повышения и отдаёт запасённую энергию обратно. Накопитель выполняет роль буфера, преобразователь – быстродействующего регулятора двунаправленного обмена энергией.

Принцип дополнения мощности реализован следующим образом. Система работает по принципу «энергетического буфера». DC–DC-преобразователь непрерывно измеряет напряжение на DC-шине. Если генератор выдает «всплеск» мощности, напряжение на шине растет. Преобразователь переходит в режим понижения: он забирает избыток энергии с шины и заряжает накопитель. Потребитель получает только необходимую «сглаженную» мощность.

Режим отдачи протекает, когда вихревой поток ослабевает и генерация падает, напряжение на шине проседает. Преобразователь переключается в режим повышения: накопитель отдает ранее запасенную энергию в DC-шину, поддерживая мощность на требуемом уровне.

УДК 621.314.57:621.337.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С РЕКУПЕРАТИВНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ И СУПЕРКОНДЕНСАТОРОМ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Т. С. ЛАРЬКИНА, С. И. ШЛЯХТОВ, А. В. ЕРАШОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В качестве объекта исследования рассматриваются математическая модель и структура электромеханической системы с асинхронным двигателем, выпрямителем и суперконденсатором (ионистором). В процессе эксплуатации оборудования (крановые лебедки, лифты, прессы) используются различные режимы работы электропривода, например периодический кратковременный режим с пусками, где используется последовательность одинаковых рабочих циклов, включающих достаточно длительный период пуска, период работы с постоянной нагрузкой и период покоя. Для повышения энергоэффективности в данных режимах целесообразно использовать рекуперацию в сеть совместно с суперконденсатором. В качестве выпрямителя используется AFE-преобразователь частоты (активный входной каскад). В преобразователях частоты AFE вместо тиристоров применены транзисторы IGBT, что дает преобразователю преимущество. Преимущества и недостатки приведены в табл. 1.

Табл. 1. Преимущества и недостатки AFE-преобразователя частоты

Преимущество	Недостаток
Входное звено полностью управляемое	Высокая стоимость
Передача мощности возможна в двух направлениях – от источника в нагрузку и от нагрузки в источник	Сложность управления
IGBT входного моста AFE коммутируются с фиксированной частотой	Потери в приводе
Рекуперация	Высокий шум при работе
Обеспечивает уменьшение влияния на сеть процессов коммутации IGBT-транзисторов	Наличие дополнительного LCL-фильтра на входе

Чтобы избежать перегрузки питающей сети при интенсивном торможении, в звено постоянного тока включают суперконденсатор совместно с двунаправленным DC/DC-преобразователем. Преобразователь отслеживает напряжение на шине DC и переключается между режимами заряда и разряда. По результатам моделирования динамических процессов установлено, что применение AFE-преобразователя частоты совместно с системой на основе суперконденсатора в определённых режимах работы снижает нагрузку на сеть на 25 %...30 %. Использование рекуперированной энергии торможения для повторного запуска позволяет уменьшить потребление энергии из сети на 50 %...60 %.

УДК 658.562

ПРОФИЛЬНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АУДИТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛАБОРАТОРИИ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. Е. ЛЕСНОВ, С. В. ЛИХАЧЕВ, А. В. БОЛЬШОВА
Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д. Н. Прянишникова
Пермь, Россия

Качество выпускаемых лакокрасочных материалов контролируется чаще всего специализированной производственной лабораторией, деятельность которой подлежит аккредитации по стандарту ГОСТ ISO/IEC 17025.

Для производственной лаборатории лакокрасочного предприятия, выпускающего водно-дисперсионные лакокрасочные материалы (ВД ЛКМ), химический аудит имеет ряд специфических особенностей, обусловленных как характером выпускаемой продукции (сложностью состава, спецификой производства), так и требованиями к обеспечению достоверности результатов испытаний. В общем виде водно-дисперсионные лакокрасочные материалы представляют собой многокомпонентные системы, включающие пленкообразователи, пигменты, наполнители, функциональные добавки и воду в качестве дисперсионной среды.

Необходимость собственной производственной лаборатории продиктована зачастую большим разнообразием выпускаемой продукции (большим количеством партий, чаще всего небольшого объема), а также неритмичностью производства.

Специфика ВД ЛКМ требует от персонала лаборатории глубокого понимания коллоидной химии, физико-химии полимеров, особенностей водно-дисперсионных систем, владения специфическими методиками измерений, умения интерпретировать результаты измерений с учетом технологических особенностей производства. Особое внимание уделяется навыкам работы с нестабильными водными дисперсиями. Персонал должен уметь распознавать признаки дестабилизации системы: коагуляцию, седиментацию, изменение реологических свойств. Эти знания необходимо контролировать в ходе аудита и консалтингового сопровождения производства [1].

Химический аудит производственной лаборатории должен оценить, насколько организационная структура лаборатории обеспечивает независимость принятия решений о качестве продукции от прочих интересов производителя. Это особенно актуально для ВД ЛКМ, где важна оперативность получения результатов [2].

Химический аудит должен учитывать специфику применяемых методик и наличие аттестации. Для контроля качества ВД ЛКМ важны следующие показатели: вязкость, плотность, массовая доля нелетучих веществ, укрывистость, время высыхания, адгезия, твердость, эластичность, стойкость покрытия. Поскольку ВД ЛКМ характеризуются сложным реологическим поведением, для контроля качества используются ротационные вискозиметры. Аудит должен

проверить наличие и состояние калибровки этих приборов, а также наличие ротационных тел для различных диапазонов вязкости. При определении массовой доли нелетучих веществ следует обратить внимание на использование влагоанализаторов или сушильных шкафов с принудительной вентиляцией. Степень перетира ВД ЛКМ контролируется с помощью гриндометра. Аудит должен проверить наличие аттестованных образцов для контроля состояния измерительного клина, т. к. износ поверхности приводит к систематическим погрешностям. Поскольку ВД ЛКМ чаще всего колеруются, лаборатория должна быть оснащена спектрофотометрами или колориметрами для объективной оценки цвета. Аудит уделяет внимание калибровке приборов с использованием стандартных образцов цвета и условиям освещения при визуальной оценке, которые регламентируются соответствующими стандартами.

Аудит должен оценить, что для каждой применяемой методики проведена валидация в условиях лаборатории, подтверждены характеристики точности (повторяемость, воспроизводимость, правильность), а также установлены границы применимости для конкретных типов ВД ЛКМ.

Анализ химического аудита производственной лаборатории действующего лакокрасочного предприятия (г. Пермь) позволил выделить следующие ключевые особенности:

– необходимость разделения функций операционного контроля и арбитражных испытаний;

– применение специализированного оборудования для оценки реологических, колористических и гранулометрических характеристик водных систем;

– особые требования к отбору проб и гомогенизации ввиду гетерогенности и нестабильности водно-дисперсионных лакокрасочных материалов;

– интеграцию метрологического обеспечения с учетом специфических показателей качества;

– разработку адекватных процедур оценки неопределенности измерений для многокомпонентных дисперсных систем.

Таким образом, успешное прохождение аккредитации возможно только при условии, что система менеджмента качества производственной лаборатории охватывает все указанные аспекты и подтверждается соответствующими записями, протоколами и аттестатами. Регулярный внутренний аудит и постоянное совершенствование процессов – основа устойчивого функционирования заводской лаборатории в соответствии с требованиями международных и государственных стандартов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Леснов, А. Е.** Научное обоснование компетенций в сфере консалтинга химического производства / А. Е. Леснов, С. В. Лихачев, Е. С. Миронова // Информационные технологии в химии и методике преподавания химии : сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. – Уфа : Уфим. ун-т науки и технологий, 2026. – С. 90–92.

2. **Ратанина, Д. А.** Особенности проведения аудита организаций химического производства / Д. А. Ратанина, С. А. Кучеренко // Электронный научный журнал. – 2016. – № 5 (8). – С. 477–481.

УДК 691.32; 628.4

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

И. В. ЛИЗОГУБ, П. А. МАКАРЕВИЧ, А. С. МАНН
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

Строительная 3D-печать требует бетонных смесей, реологическое состояние которых изменяется во времени и одновременно обеспечивает транспортирование, экструзию, формоустойчивость слоев и набор прочности. Поэтому технологическая пригодность смеси определяется не только удобоукладываемостью, но и динамическим и статическим пределами текучести, пластической вязкостью, тиксотропным восстановлением и скоростью структурообразования [1].

Цель работы – обосновать подход к оптимизации этих характеристик при совместном применении золы-уноса и метакаолина.

Повышенное содержание тонкодисперсной вяжущей составляющей, необходимое для когезии и ранней устойчивости слоя, увеличивает клинкероемкость печатных составов. Перспективным является совместное применение золы-уноса (ЗУ) и метакаолина (МК). Сферические частицы ЗУ снижают межчастичное трение и улучшают упаковку, однако пуццолановая активность развивается сравнительно медленно. МК благодаря высокой удельной поверхности и реакционной способности ускоряет раннее структурообразование, но повышает водопотребность и сопротивление течению. Возможность совместного регулирования свежих и ранних свойств таких систем подтверждается исследованиями материалов для 3D-печати [1, 2].

Синергетическое действие ЗУ и МК обусловлено различиями в морфологии, дисперсности и кинетике пуццолановой реакции. Оно проявляется в уплотнении упаковки частиц, изменении площади смачиваемой поверхности и межчастичного трения, связывании $Ca(OH)_2$, формировании гидратных фаз и поровой структуры. По данным [3], при суммарном замещении цемента 30 % наибольшая 28-суточная прочность при сжатии, равная 55,07 МПа, получена при соотношении ЗУ/МК = 1/2 [3]. Комбинация 10 % ЗУ и 7,5 % нано-МК также способствовала повышению прочности и снижению хлоридной проницаемости [4]. Эффективное соотношение компонентов зависит от характеристик сырья и рецептуры, а совместный эффект не является простым суммированием их свойств [3, 4].

Для 3D-печати принципиальное значение имеет реологическое окно – временной интервал, в котором смесь сохраняет транспортируемость и экструдируемость, но после укладки быстро восстанавливает структуру и сопротивляется деформации. Его границы определяются соотношением МК/ЗУ, водоцементным отношением, концентрацией твердой фазы, дозировкой суперпластификатора и временем. ЗУ способствует сохранению подвижности, тогда как МК повышает водоудержание, структурную связность и скорость раннего

структурообразования; их рациональное сочетание позволяет согласовать открытое время и формоустойчивость [1, 2]. Оптимизация должна учитывать не отдельное значение показателя, а изменение свойств от перемешивания до укладки последующего слоя: избыточная подвижность приводит к потере геометрии, а слишком быстрое структурирование затрудняет подачу смеси и межслойное сцепление.

Формирование свойств затвердевшего материала связано с переходом от обратимых межчастичных связей к продуктам гидратации. ЗУ и МК изменяют содержание свободной воды, фазовый состав и связность пор, создавая предпосылки для повышения прочности и снижения проницаемости. Вместе с тем результаты, полученные для традиционно формованных материалов, нельзя непосредственно переносить на 3D-печатные элементы, поскольку их свойства дополнительно зависят от параметров печати, анизотропии и состояния межслойных границ [1, 4]. Поэтому оценка оптимального состава должна объединять реологические, физико-механические и структурные критерии.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что совместное применение ЗУ и МК при рациональном соотношении является обоснованным направлением оптимизации составов для строительной 3D-печати. Морфологический эффект ЗУ способен частично компенсировать повышение водопотребности и сопротивления течению, обусловленное введением МК, тогда как высокая реакционная способность МК компенсирует замедленное раннее структурообразование зольной составляющей. Взаимодополняющее действие компонентов создает предпосылки для согласованного сочетания экструдируемости, открытого времени и формоустойчивости, а также для целенаправленного регулирования кинетики гидратации, поровой структуры и физико-механических свойств материала.

Исследование осуществлено в рамках задания Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (*БРФФИ*) *на выполнение научно-исследовательской работы* (*№ Т26Б-008*).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Effect of Metakaolin, Fly Ash and Polypropylene Fibres on Fresh and Rheological Properties of 3D Printing Based Cement Materials / M. Dedenis, M. Sonebi, S. Amziane [et al.] // Second RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication. – 2020. – Vol. 28. – P. 206–215.

2. Hybrid Materials Based on Fly Ash, Metakaolin, and Cement for 3D Printing / J. Marczyk, C. Ziejewska, S. Gadek [et al.] // Materials. – 2021. – Vol. 14. – Art. 6874.

3. Modulation of the workability and Ca/Si/Al ratio of cement-metakaolin cementitious material system by using fly ash: Synergistic effect and hydration products / S. Wang, X. Gu, J. Liu [et al.] // Construction and Building Materials. – 2023. – Vol. 404. – Art. 133300.

4. Mechanical strength and durability analysis of mortars prepared with fly ash and nano-metakaolin / R. Garg, R. Garg, N. O. Eddy [et al.] // Case Studies in Construction Materials. – 2023. – Vol. 18. – Art. e01796.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ В МЕХАНОРЕАКТОРЕ НА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ МОДИФИКАТОРА Cu – 10 % Al

И. А. ЛОЗИКОВ, А. Д. ДОБРОВОЛЬСКИЙ, АН ЙИН
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В данной работе проводилась оптимизация процессов получения механически сплавленных гранулированных композиций для производства эффективных лигатур-модификаторов, применяемых при выплавке микрокристаллических высокопрочных алюминиевых бронз.

Исходными компонентами являлись стандартные порошки меди ПМС-1 и железа ПЖЧ. В качестве добавок для протекания механохимических превращений и играющих роль поверхностно-активных веществ, корректирующих скорость процессов грануляции, дополнительно вводился изопропиловый спирт (ИПС) и оксид молибдена MoO_3. Обработка порошковых смесей проводилась на лабораторной вибромельнице с водоохлаждаемыми помольными камерами объемом 1 $дм^3$ каждая в защитной среде аргона. Для исследования влияния изменения температуры в процессе обработки на гранулометрический состав получаемых композиций в рубашку охлаждения помольной камеры из жидкостного термостата мод. ВТ25-2, оснащенного блоком регулирования температуры М02, подавался антифриз G11. Гранулометрический состав определяли рассеиванием по фракциям на наборе сит с размером ячеек 0,045; 0,063; 0,125; 0,250; 0,500 и 1,000 мм в ручном режиме. Критерием оценки достигнутых результатов являлось получение не менее 50 % гранул диаметром 0,4...0,5 мм, что, с одной стороны, согласно ранее проведенным исследованиям, позволяет в достаточной степени протекать реакциям механической активации, а с другой стороны, такие частицы имеют минимальную свободную поверхность, что снижает объем образующихся на ней оксидов при хранении и транспортировке для дальнейшей переработки.

В качестве базовой принята композиция Cu – 10 % Al, а время обработки в механореакторе согласно данным, полученным ранее, сохранялось постоянным и составляло 8 ч.

В процессе исследований было установлено, что, варьируя в широком интервале такие параметры, как ускорение размалывающих тел, степень заполнения рабочей камеры помольными телами, соотношением между объемами помольных тел и объемами порошковых композиций, а также изменяя температуру в помольной камере, можно в значительной степени изменять энергонапряженность процесса. Это приводит к изменению гранулометрического состава получаемой шихты в широких пределах и позволяет получать требуемые значения.

Некоторые результаты выполненной работы представлены на рис. 1 и 2.

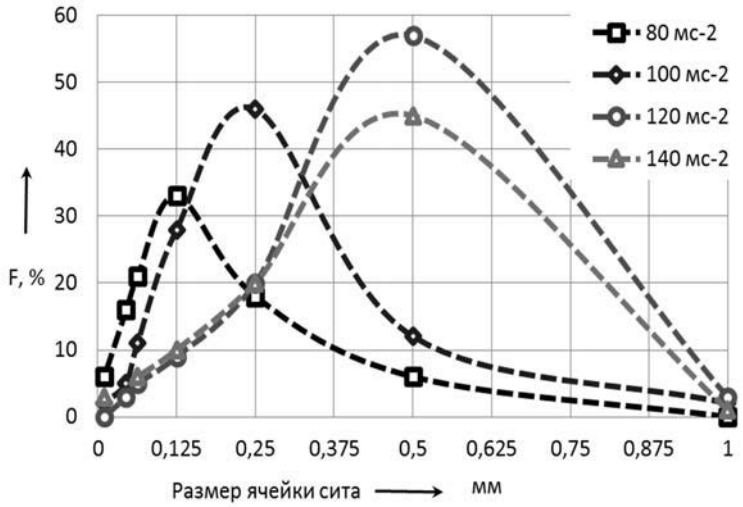


Рис. 1. Зависимость гранулометрического состава шихты от ускорения помольных тел

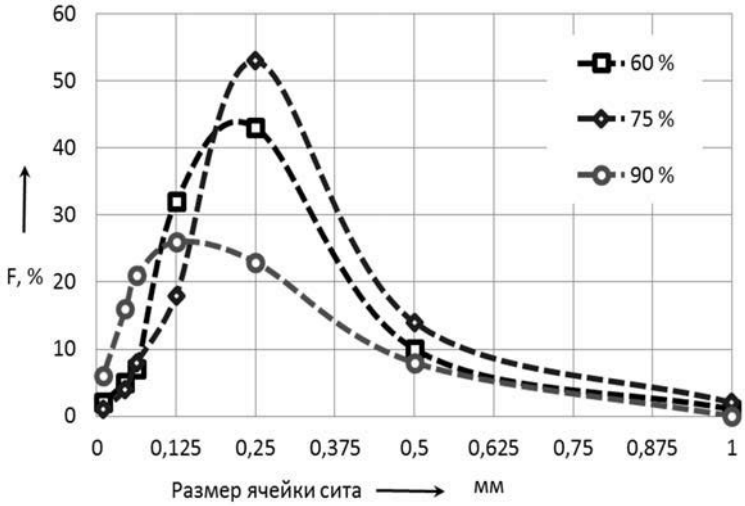


Рис. 2. Зависимость гранулометрического состава шихты от степени заполнения рабочей камеры помольными телами

Согласно теоретическим оценкам, представленным в [1], при механическом сплавлении протекают лобовые и скользящие удары, в результате которых на обрабатываемую порошковую композицию оказывается значительное механическое воздействие, инициирующее протекание механохимических превращений и формирование гранул, представляющих собой частицы сваренных между собой исходных порошков. Полученные результаты показывают, что оптимальными для достижения максимального содержания гранул размером ~ 0,5 мм являются следующие режимы: ускорение помольных тел – 120...140 м·с$^{-2}$; степень заполнения рабочей камеры помольными телами – 75 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ловшенко, Г. Ф.** Оценка факторов, активирующих механохимические превращения при механическом легировании в вибромельнице / Г. Ф. Ловшенко, Б. Б. Хина // Трение и износ. – 2005. – Т. 26, № 4. – С. 434–445.

УДК 621.9

ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ В СФЕРЕ РАЗВЕДКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. Ю. ЛУКАНСКИЙ, Н. А. СТРЕЛКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Эффективность разведывательной деятельности определяется не только подготовкой специалистов, но и уровнем применяемых технологий. Увеличение объёмов информации и развитие автоматизированных систем приводят к изменению способов наблюдения, сбора и анализа сведений. Разведывательные технологии носят межотраслевой характер: разработки в области микроэлектроники, связи, программного обеспечения и робототехники применяются как в военной, так и в гражданской сфере.

Под инновационными технологиями в сфере разведки понимаются новые или усовершенствованные технические, программные и организационные решения, предназначенные для повышения своевременности, точности и безопасности получения и анализа информации. Инновационный подход предполагает объединение в единую систему средств дистанционного наблюдения, беспилотных платформ, датчиков, каналов защищённой связи и алгоритмов компьютерного зрения.

Ключевую роль в получении информации играют сенсорные технологии. Современные датчики фиксируют визуальные, тепловые, акустические и радиотехнические параметры среды. Развитие микроэлектроники и фотоники способствует уменьшению размеров оборудования и повышению точности измерений. Обработка пространственных данных позволяет формировать цифровые карты и анализировать изменения местности. Неотъемлемым элементом являются защищённые системы связи, обеспечивающие конфиденциальность и целостность информации.

Развитие инновационных технологий опирается на взаимодействие научных организаций, вузов, промышленных предприятий и технологических компаний. В государственных программах предусматривается разработка беспилотных машин, интеллектуальных систем управления, оптических приборов и электронной компонентной базы.

Инновационные разработки в сфере разведки представляют собой комплексное направление, объединяющее беспилотные системы, сенсорику, цифровую обработку информации, искусственный интеллект и защищённые коммуникации. Для Республики Беларусь развитие этих направлений соответствует приоритетам научно-технической политики. Важнейшие условия – укрепление научно-производственной базы, подготовка кадров, повышение технологической самостоятельности и обеспечение кибербезопасности.

УДК 538.911

ДИНАМИКА ДИСЛОКАЦИЙ ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОМ УПРОЧНЕНИИ МАТЕРИАЛОВ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А. В. МАРКИДОНОВ
Кузбасский гуманитарно-педагогический институт
Кемеровского государственного университета
Новокузнецк, Россия

Плазменное воздействие на поверхность металлов и сплавов – эффективный метод модификации их физико-механических свойств. В частности, совместно с коллегами из Белорусско-Российского университета исследован процесс упрочнения сталей и сплавов при обработке плазмой тлеющего разряда [1, 2].

При воздействии плазмы на кристалл возможно образование ударных волн. Более того, этот процесс является одним из ключевых механизмов в ряде передовых технологий поверхностного изменения прочности металлов и сплавов [3]. Роль ударных волн в упрочнении связана с комплексом физических явлений, происходящих в материале при экстремально высоких скоростях деформации. В частности, в методе плазменной импульсной обработки поверхность покрывается сублимирующимся материалом, который затем испаряется под действием мощного плазменного потока, что приводит к генерации ударной волны [4].

Упрочняющий эффект является результатом нескольких процессов, инициируемых прохождением ударной волны. Так, ударная волна создает в материале значительные напряжения и скорости деформации (более 10^6 $с^{-1}$), что приводит к массовому зарождению, размножению и интенсивному движению дислокаций. Именно повышение плотности дислокаций и образование сложных дислокационных структур лежит в основе упрочнения. Поэтому понимание физических механизмов упрочнения требует детального исследования поведения дислокаций.

Для изучения этих быстропротекающих процессов, происходящих на атомарном уровне, активно используется метод молекулярной динамики. Поскольку ударная волна проходит через кристалл за пикосекунды и наносекунды, экспериментально отследить поведение отдельных атомов крайне сложно.

В настоящем исследовании выполнен анализ расчётной ячейки, имитирующей ГЦК-кристалл и содержащей краевую дислокацию [5]. Проведенное моделирование показало, что при инициировании ударных волн в расчётной ячейке наблюдается смещение расщеплённой дислокации в направлении источника волнового воздействия. Установлено, что кинетика дислокации определяется девиаторной компонентой тензора напряжений. Результаты компьютерного моделирования свидетельствуют о том, что максимальное нормальное

напряжение фиксируется в момент прохождения фронта ударной волны через расчётную область, тогда как максимум касательного напряжения наблюдается при распространении волны разгрузки. Релаксация касательных напряжений обусловлена миграцией дислокации.

Анализ механизмов пластической деформации и процессов самоорганизации дефектных структур на уровне единичных дефектов не позволяет составить исчерпывающую картину явлений, поэтому необходим переход к более сложным структурным образованиям. Проведённые исследования подтвердили, что ударные волны способны инициировать перемещение не только изолированных краевых дислокаций, но и простейших дислокационных ансамблей [6]. Процесс скольжения при этом характеризуется значительной сложностью и многофакторностью, обусловленными совокупным действием ряда силовых факторов. В ходе скольжения зафиксировано уменьшение ширины расщепленных дислокаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние плазменной обработки на структуру и свойства твердого сплава ВК10 / О. В. Обидина, В. М. Шеменков, Ф. М. Трухачев, А. В. Маркидонов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2015. – № 4 (12). – С. 482–487.

2. Влияние плазменной обработки на структуру и свойства быстрорежущих сталей Р6М5 и S390 / О. В. Обидина, В. М. Шеменков, А. Э. Липский [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2016. – № 4 (13). – С. 522–529.

3. Изменения механических свойств и текстуры поверхности сплавов на основе меди под действием импульсных радиационно-термических и ударно-волновых нагрузок, создаваемых в установке плазменный фокус / И. В. Боровицкая, В. Н. Пименов, С. А. Масляев [и др.] // Взаимодействие излучений с твердым телом : материалы 14 Междунар. конф., посвящ. 100-летию Бел. гос. ун-та. – Мн., 2021. – С. 141–145.

4. Теплофизические особенности процесса импульсной плазменной обработки сталей / И. Х. Исрафилов, А. Т. Галиакбаров, А. Т. Габдрахманов, А. Д. Самигуллин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 6-1. – С. 253–260.

5. Высокоскоростной массоперенос в двухмерном кристалле никеля при наличии дислокационных петель различной локальной плотности / М. Д. Старостенков, А. В. Маркидонов, Т. А. Тихонова, Н. Н. Медведев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2009. – № 6. – С. 57–60.

6. Перемещение дислокационных ансамблей в ГЦК кристалле при высокоэнергетическом внешнем воздействии / А. В. Маркидонов, М. Д. Старостенков, П. В. Захаров, О. В. Обидина // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2015. – № 3 (12). – С. 373–381.

УДК 621.787

СТРАТЕГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ, ПОСТРОЕННОЙ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ

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

Получение знаний интеллектуальной системой, построенной на основе функциональной семантической сети, обычно представляет собой процесс пополнения и уточнения сети на основе прямого ввода знаний экспертом или на основе обучения. Обучение такой системы заключается не только в запоминании новых фактов: система должна научиться выделять объекты и понятия, устанавливать связи между ними, определять важность и достоверность связей, формировать правила принятия решений, изменять существующие знания под воздействием новых данных, использовать накопленные знания для вывода новых фактов.

Поскольку функциональная семантическая сеть представляет собой не понятия и правила, а математические зависимости, её обучение заключается в построении или уточнении системы уравнений между переменными.

В такой сети узлами могут быть входные переменные, промежуточные величины, математические операции, параметры моделей, выходные значения, ограничения и целевые функции.

Возможно несколько вариантов обучения сети:

– настройка параметров (структура формул известна заранее, но коэффициенты неизвестны);

– выбор структуры (неизвестно, какие переменные связаны между собой);

– одновременное обучение структуры и параметров.

При выборе структуры система должна определить, какие входные параметры влияют на выходные, существуют ли промежуточные переменные, какие операции используются, являются ли зависимости линейными или нелинейными.

При одновременном обучении структуры и параметров система может искать и вид формулы, и её коэффициенты. В этом случае задача близка к символьной регрессии или к обучению вычислительного графа.

В общем случае обучение функциональной сети состоит из трёх основных процессов: выбора структуры зависимостей, оценки параметров формул, проверки ошибки и ограничений.

Таким образом, обучение функциональной семантической сети – это формирование и корректировка структуры знаний путем определения коэффициентов известных уравнений, а также выявления взаимосвязей между переменными. Наиболее эффективной стратегией получения знаний обычно является комбинированный подход – автоматическое обучение на данных с экспертной проверкой.

УДК 004.8:336.71

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АССИСТЕНТА ДЛЯ БАНКА НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕНЕРАТИВНОГО ИИ

Н. С. МОНТИК, Д. А. ИГНАТЮК
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

В данной работе рассматривается разработка интеллектуального ассистента для банковского обслуживания, предназначенного для автоматизации консультирования клиентов по банковским продуктам. Описываются архитектурные и технологические решения на основе подхода Retrieval-Augmented Generation (RAG), реализованный прототип системы, а также обосновывается практическая значимость работы. Особое внимание уделяется обеспечению информационной безопасности за счёт использования локальных моделей генеративного ИИ.

Цель работы – разработка прототипа интеллектуального ассистента для банковского обслуживания, обеспечивающего консультирование клиентов по вкладам, кредитам и картам без передачи данных в интернет. Система направлена на снижение нагрузки на контакт-центр и повышение скорости обработки типовых запросов.

Актуальность темы обусловлена необходимостью автоматизации клиентского обслуживания в банковской сфере при жёстких требованиях к информационной безопасности. Существующие облачные ИИ-решения (Gemini, DeepSeek, Claude) не могут быть использованы из-за риска утечки персональных данных. Альтернатива – локальные генеративные модели, работающие в закрытом контуре организации [1].

Существующие банковские ассистенты, как правило, работают по заранее заданным сценариям и не способны генерировать развёрнутые ответы на основе анализа документов. Использование подхода RAG позволяет преодолеть это ограничение за счёт объединения поиска информации и генерации ответа.

Программное средство реализовано в виде веб-приложения, построенного на основе клиент-серверной архитектуры. Архитектурное разделение системы на уровни представления, бизнес-логики и хранения данных обеспечивает модульность, упрощает сопровождение программного кода и позволяет независимо развивать отдельные компоненты системы.

Для реализации выбран подход RAG, объединяющий поиск информации в базе знаний и генерацию ответа на основе найденного контекста [1]. Система включает следующие компоненты:

– векторная база данных FAISS для семантического поиска документов;
– модель эмбеддингов bge-m3 для представления текстов на русском языке [2];
– языковая модель Qwen3.8-Flash-Next для генерации ответов [3];
– фреймворк Ollama для локального запуска моделей.

Входными данными для системы являются текстовые запросы клиентов на естественном языке. На выходе система предоставляет сгенерированный ответ на русском языке, содержащий конкретные условия и рекомендации.

Выбор языка Python обусловлен наличием развитой экосистемы библиотек для работы с ИИ (LangChain, FAISS). В дальнейшем возможна реализация на языке программирования, используемом в инфраструктуре банка.

База знаний формируется из публичных документов банка: условий вкладов, кредитов, карт и тарифов. Документы разбиваются на фрагменты и преобразуются в векторные представления с помощью модели bge-m3. Полученные векторы сохраняются в индексе FAISS, что позволяет выполнять семантический поиск – не по точному совпадению слов, а по смыслу запроса. При обработке запроса текст клиента также преобразуется в вектор, после чего находятся наиболее близкие по смыслу фрагменты документов. Они передаются в языковую модель вместе с системным промптом, задающим правила поведения ассистента. Модель формирует ответ, опираясь на предоставленный контекст, что снижает риск генерации недостоверной информации.

Разработанный прототип демонстрирует способность обрабатывать типовые клиентские запросы в рамках консультационного сценария. Архитектура системы позволяет заменять языковую модель на более тяжёлую без изменения программного кода, что открывает перспективы масштабирования при наличии вычислительных ресурсов.

На текущем этапе прототип имеет ряд ограничений: база знаний охватывает только публичные документы и не интегрирована с внутренними системами. Перспективы развития связаны с расширением базы знаний, интеграцией с CRM-системами банка и добавлением механизмов логирования диалогов.

В дальнейшем планируется проведение пилотного тестирования с участием сотрудников банка для оценки качества ответов и выявления нетипичных сценариев. Полученные результаты позволят уточнить требования к системе и определить направления её доработки перед промышленным внедрением.

Практическая значимость результатов состоит в возможности применения разработанного средства в деятельности банков для повышения эффективности клиентского обслуживания при сохранении информационной безопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks / P. Lewis, E. Perez, A. Piktus [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – Vol. 33. – P. 9459–9474.

2. BGE-M3: Multi-lingual, multi-functionality, multi-granularity text embeddings. – URL: https://bge-model.com/bge/bge_m3.html (date of access: 15.08.2026).

3. On the Design of Qwen3.8-Next Architecture: Evaluation, Efficiency, and Training Stability. – URL: https://arxiv.org/html/2608.30320 (date of access: 15.08.2026).

УДК 675.055.272

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ЗАТОЧКИ РАЗБИВОЧНЫХ НОЖЕЙ

А. М. НАБИЕВ, Г. Н. ЦОЙ, А. С. РОЗАХИНОВ
Институт механики и сейсмостойкости сооружений
им. М. Т. Уразбаева АН РУз
Ташкент, Узбекистан

С целью совершенствования конструкции разбивочной машины [1, 2] нами разработаны ножи с волнообразными лезвиями, которые после сборки закрепляются в пазах рабочего барабана. При износе лезвий ножи снимают с рабочего барабана и производят плановую заточку по схеме, рассмотренной на рис. 1.

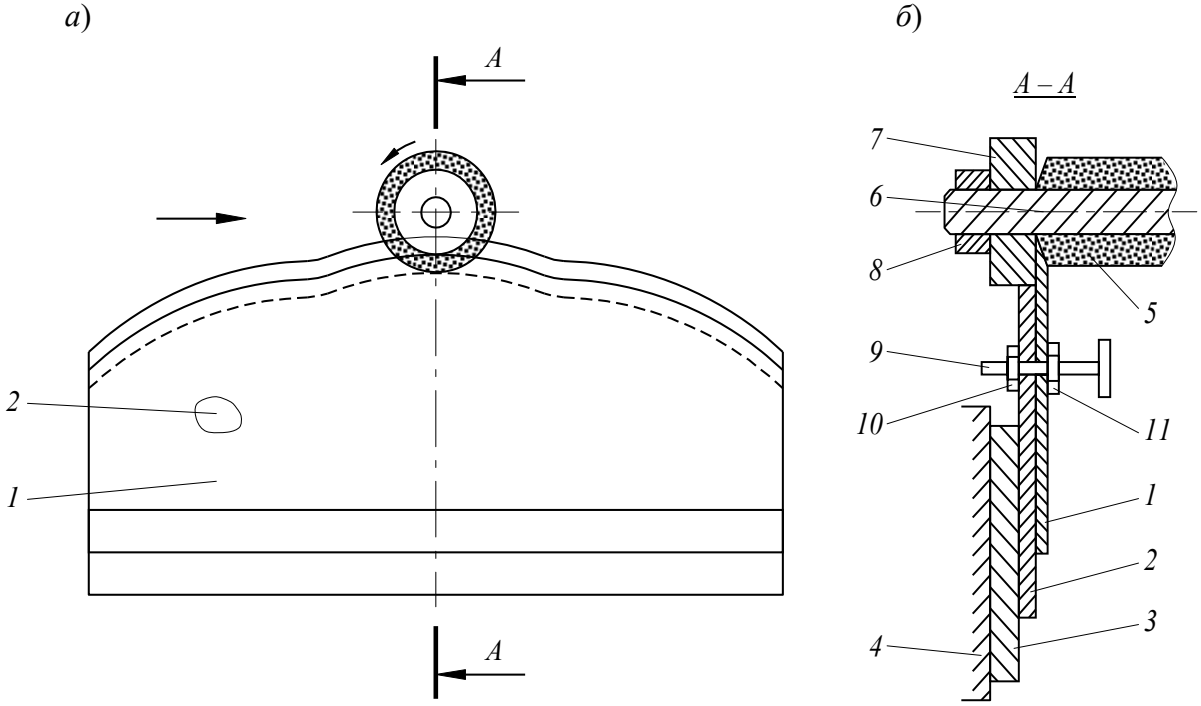


Рис. 1. Схема устройства для односторонней заточки ножей: *а* – вид спереди; *б* – вид *А–А*

Шаблон ножа накладывается эквидистантно первоначальному положению контура лезвия по двум базовым опорам. Это – боковая линия и перпендикулярная к ней нижняя линия ножа – и закрепляется. Затем по шаблону протачивают новый контур лезвия ножа [3, 4].

Устройство состоит из ножа *1*, шаблона *2*, направляющей *3*, станины *4*, фрезы или наждачного круга *5*, оси *6*, вращающегося ролика *7*, гайки *8*, болта *9* и гаек *10*, *11*. Шаблон *2* может быть выполнен из металлической пластины с криволинейной линией заточки и закреплен на ноже *1* болтом *9* и гайками *10*, *11*. На патрон фрезерного станка крепится ось *6* со шлифовальным кругом *5*. Нож *1* с шаблоном *2* подводят к ролику *7* и шлифовальному кругу *5*. Вращающийся

ролик *7* служит базовым упором для криволинейной линии ножа *1*. Второй базовый упор – боковая поверхность ролика *7* для нижней поверхности ножа *1* [5–7].

Заточное устройство работает следующим образом: нож *1* с шаблоном *2* подводят к ролику *7* до контакта, затем включают электродвигатель для вращения шлифовального круга *5*. Заточку начинают с одного торца, перемещая нож с шаблоном так, чтобы шаблон не отрывался от ролика и копировал топографию полосы заточки ножа. При этом предварительно контур затупленного лезвия ножа *1* восстанавливают на лазерном станке также по копиру. По шаблону можно заточить и два волновых лезвия ножей. Заточку ножей производят периодически после обработки 10–50 шкурок в зависимости от их размера.

Исследование выполнено за счет бюджетных средств Института механики и сейсмостойкости сооружений имени М. Т. Уразбаева АН РУз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Господариков, А. П.** Исследование процессов абразивного изнашивания футеровочных бандажей валковых дробящих агрегатов и методов повышения их износостойкости / А. П. Господариков, Д. А. Ефимов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 2. – С. 5–27.

2. **Бахадиров, Г. А.** Исследование параметров рабочих органов усовершенствованной конструкции разбивочной машины / Г. А. Бахадиров, А. М. Набиев, Г. Н. Цой // Автоматизация: проблемы, идеи, решения : сб. науч. тр. Нац. науч.-техн. конф. с междунар. участием, Тула, 7–9 окт. 2024 г. – Тула : Тульский гос. ун-т, 2024. – С. 136–141.

3. **Бахадиров, Г. А.** Разбивочная машина с управляемым приводом рабочего органа / Г. А. Бахадиров, А. М. Набиев, Г. Н. Цой // Машиностроение и техносфера XXI века : сб. тр. XXXII Междунар. науч.-техн конф., Севастополь, 15–21 сент. 2025 г. – Донецк : Донецкий нац. техн. ун-т, 2025. – С. 28–34.

4. **Бахадиров, Г. А.** Инновационные машины, устройства и механизмы для малых предприятий / Г. А. Бахадиров, А. М. Набиев // Машиноведение. – 2024. – № 2 (20). – С. 72–84.

5. **Иванов, В. А.** Некоторые вопросы теории заточки ножей строгальных машин / В. А. Иванов, В. В. Рашкин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2010. – № 1.

6. К определению угла заточки лезвий ножей измельчителей кормов, работающих в условиях абразивного изнашивания / Н. П. Аюгин, С. А. Яковлев, А. С. Кузин, И. А. Калашников // Агроинженерия. – 2026. – № 28 (1). – С. 54–63.

7. **Алифанов, А. В.** Разработка и сравнительный анализ методов заточки геликоидальных рубильных ножей по крайним и средней точкам режущей кромки лезвия / А. В. Алифанов, С. И. Русан, В. В. Цуран // Вестник Барановичского государственного университета. Серия : Технические науки. – 2015. – Вып. 3. – С. 10–16.

УДК 620.193:621.9.048.4

ГРАФЕНСОДЕРЖАЩИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

А. Е. ОВЧИННИКОВ[1], А. Ч. СВИСТУН[1], А. А. ВОЗНЯКОВСКИЙ[2], Е. И. ЭЙСЫМОНТ[1], Н. Н. КЕТРИК[1], А. А. САВИЦКИЙ[1]
[1]Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
Гродно, Беларусь
[2]Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург, Россия

Электроискровое легирование – эффективный метод локального поверхностного модифицирования материалов. Высокая локализация энергетического воздействия, возможность формирования металлургически связанных покрытий и сравнительно малое тепловое влияние на основу позволяют применять этот метод для повышения эксплуатационных свойств деталей [1]. Перспективным направлением является использование углеродных наноматериалов, в частности графена, способного изменять процессы массопереноса, кристаллизации и упрочнения поверхностного слоя [2].

Цель работы – установить влияние энергетических параметров электроискрового воздействия на морфологию, шероховатость и структурное состояние сформированных поверхностных слоев, а также оценить влияние графеновой добавки на их физико-механические характеристики.

В качестве материалов исследования использовали технически чистый алюминий А0 и деформируемый алюминиевый сплав Д16Т. Перед обработкой поверхность механически подготавливали и обезжиривали. Электроискровую обработку проводили на установке UR-121 при режимах Turbo 1, Turbo 3 и Norma 3, отличающихся энергией единичного импульса; максимальная энергия разряда достигала порядка 9 Дж. Для получения графенсодержащих покрытий на поверхность субстрата предварительно наносили слой малослойного графена, после чего проводили обработку графитовым электродом. Состояние поверхности оценивали по параметрам шероховатости, морфологию исследовали методом растровой электронной микроскопии, фазово-структурное состояние – методом рентгеноструктурного анализа.

Установлено, что увеличение энергии электрического разряда приводит к интенсификации массопереноса и увеличению объема локально расплавленного материала. При переходе от режима Turbo 1 к Turbo 3 и Norma 3 формируются более толстые покрытия с более развитым микрорельефом. При минимальной энергии разряда поверхность характеризуется сравнительно равномерным распределением продуктов кристаллизации и меньшей выраженностью микронеровностей. Повышение энергии сопровождается увеличением размеров отдельных кратеров, наплывов и участков повторной кристаллизации.

Анализ шероховатости показал, что электроискровое легирование графитовым электродом сопровождается увеличением параметров микрорельефа. При

повышении энергии разряда значения параметров шероховатости возрастают в среднем в 1,2–1,3 раза. Для сплава Д16Т данный эффект выражен сильнее, чем для технически чистого алюминия. Введение малослойного графена в зону обработки приводит к снижению шероховатости сформированных покрытий при сохранении общей зависимости параметров поверхности от энергии разряда. Полученная закономерность может быть связана с изменением условий теплопереноса и кристаллизации в зоне воздействия.

Результаты растровой электронной микроскопии показали, что морфология покрытий существенно зависит от энергетического режима. Для режима Turbo 1 характерна наиболее сглаженная топография с относительно небольшими размерами микронеровностей. При увеличении энергии до режимов Turbo 3 и Norma 3 поверхность приобретает более выраженный рельеф, включающий кратеры, наплывы и участки повторной кристаллизации.

Рентгеноструктурный анализ свидетельствует об изменении структурного состояния поверхностного слоя после электроискровой обработки. С увеличением энергии разряда наблюдается уменьшение размеров областей когерентного рассеяния, что объясняется измельчением структуры в условиях высокоскоростной кристаллизации. Одновременно отмечено увеличение степени кристалличности поверхностного слоя. Совокупность этих изменений отражает существенное влияние высокоэнергетического импульсного воздействия на процессы структурообразования.

Применение малослойного графена повышает микротвёрдость модифицированных поверхностных слоев. По результатам исследования увеличение значений микротвёрдости оценивается в 1,3–3 раза в зависимости от толщины покрытия.

Таким образом, сочетание графитового электрода и малослойного графена позволяет формировать на алюминии и сплаве Д16Т модифицированные поверхностные слои с изменёнными морфологией, структурным состоянием, шероховатостью и повышенной микротвёрдостью. Энергия единичного электрического импульса определяет интенсивность массопереноса, степень развития микрорельефа и особенности структурообразования, тогда как введение графена способствует снижению шероховатости и повышению твёрдости покрытия. Практический интерес представляет дальнейшая оптимизация энергетических режимов с учётом необходимости одновременно обеспечить требуемые толщину, микротвёрдость и качество поверхности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Овчинников, Е. В.** Электроискровые покрытия: структура, свойства, технология формирования / Е. В. Овчинников. – Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы, 2022. – 254 с.

2. Физико-механические характеристики нанокомпозиционных покрытий, формируемых методом электроискрового легирования / В. В. Михайлов, Е. В. Овчинников, Е. И. Эйсымонт [и др.] // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 45–53.

УДК 678.5:620.197.6

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАЛОСЛОЙНЫМ ГРАФЕНОМ

Е. В. ОВЧИННИКОВ[1], А. А. ВОЗНЯКОВСКИЙ[2], Д. А. ЛИННИК[1],
Е. И. ЭЙСЫМОНТ[1], А. П. МИКЛАШЕВИЧ[1]
[1]Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
Гродно, Беларусь
[2]Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург, Россия

Полиэфирные порошковые покрытия широко применяются для защиты металлических конструкций и деталей, используемых в строительстве и машиностроении, от воздействия окружающей среды, механических нагрузок и изнашивания. Одним из перспективных способов повышения их эксплуатационных характеристик является модифицирование полимерной матрицы высокодисперсными углеродными наноматериалами. Особый интерес представляет малослойный графен, обладающий высокой удельной поверхностью, механической прочностью и способностью изменять свойства полимерной матрицы при относительно небольшом содержании [1]. Эффективность модифицирования графеном определяется не только содержанием наноуглеродного наполнителя, но и характером его распределения в полимерной матрице, состоянием межфазной границы «графен – полимер» и особенностями формирования покрытия.

Цель работы – исследовать влияние малослойного графена на физико-механические и триботехнические свойства полиэфирных порошковых покрытий, сформированных методом электростатического осаждения, и определить оптимальную концентрацию наноуглеродного модификатора.

В качестве полимерной матрицы использовали полиэфирный порошок, в который вводили малослойный графен в концентрациях 0,01 мас. %, 0,1 мас. %, 0,5 мас. % и 1 мас. %. Для сравнения исследовали покрытие на основе исходного полиэфирного порошка без добавления графена. Полученные композиции наносили на металлическую подложку методом электростатического осаждения с последующей термической обработкой, обеспечивающей оплавление порошкового слоя и формирование сплошного полимерного покрытия. Оценку эффективности модифицирования проводили по комплексу физико-механических и поверхностных характеристик. Исследовали твердость и показатели сопротивления механическому воздействию, а также триботехнические характеристики сформированных покрытий. Дополнительно оценивали состояние поверхности методом измерения краевого угла смачивания. По значениям краевых углов с использованием метода ОВРК определяли свободную поверхностную энергию, а также её полярную и дисперсионную составляющие. Установлено, что введение малослойного графена заметно влияет на физико-механические характеристики полиэфирных покрытий. Характер изменения

исследованных параметров зависит от концентрации модификатора. При низком содержании графена эффект его введения проявляется уже при концентрации 0,01 мас. %, однако наиболее выраженное изменение комплекса исследованных характеристик наблюдается при увеличении концентрации до 0,1 мас. %. При концентрации 0,1 мас. % малослойного графена получено наиболее благоприятное сочетание физико-механических и триботехнических характеристик покрытия. Эта концентрация соответствует области оптимального содержания наноуглеродного модификатора в исследованном диапазоне. Дальнейшее увеличение концентрации графена до 0,5 мас. % и 1 мас. % не приводит к пропорциональному улучшению свойств покрытия, что указывает на выраженную зависимость эксплуатационных характеристик от количества введённого модификатора. Изменение физико-механических свойств сопровождается изменением поверхностного состояния полиэфирного покрытия. Результаты измерения краевых углов смачивания показывают, что введение малослойного графена влияет на характер взаимодействия поверхности с тестовыми жидкостями. Расчёт свободной поверхностной энергии методом ОВРК выявил зависимость энергетических характеристик поверхности от концентрации графена. Изменяются как суммарное значение свободной поверхностной энергии, так и соотношение её полярной и дисперсионной составляющих. Полученные результаты имеют значение для оценки триботехнического поведения покрытий, поскольку состояние поверхностного слоя непосредственно определяет характер контактного взаимодействия с контртелом. Введение малослойного графена изменяет свойства поверхностного слоя полиэфирной матрицы и оказывает влияние на сопротивление покрытия механическому воздействию и изнашиванию. Наиболее благоприятные характеристики комплекса свойств отмечены при концентрации графена 0,1 мас. %.

Таким образом, показано, что модифицирование полиэфирного порошка малослойным графеном в диапазоне концентраций 0,01 мас. %...1 мас. % позволяет целенаправленно изменять физико-механические, поверхностные и триботехнические характеристики сформированных покрытий. Установлена оптимальная концентрация модификатора – 0,1 мас. % малослойного графена, при которой достигается наиболее благоприятное сочетание исследованных свойств. Полученный результат свидетельствует о перспективности использования малослойного графена в качестве наноуглеродного модификатора полиэфирных порошковых покрытий для повышения их эксплуатационных характеристик при защите металлических конструкций и деталей от механического и трибологического воздействия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Получение защитных покрытий на основе частиц малослойного графена методом химической сшивки / А. А. Возняковский, А. П. Возняковский, С. И. Титова [и др.] // Журнал технической физики. – 2025. – Т. 95, № 2. – С. 304–309.

УДК 621.793.09

ВЛИЯНИЕ ГИБРИДНОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ

Е. В. ОВЧИННИКОВ, В. Ю. ФАЛЕСА, Е. И. АМИРХАНОВ,
Е. И. ЭЙСЫМОНТ, О. С. МУЛЯРЧИК, Е. Н. МАЗУР
Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
Гродно, Беларусь

Алмазоподобные углеродные покрытия перспективны для защитных и антифрикционных слоев благодаря высокой твёрдости, износостойкости и химической стойкости [1]. Дополнительная модификация поверхности позволяет изменять характеристики смачивания и межфазного взаимодействия.

Цель работы – установить влияние фторсодержащей модификации и температуры последующей термообработки на морфологию и физико-механические характеристики алмазоподобных покрытий [2].

Покрытия формировали на стали 45 осаждением из импульсной плазмы катодно-дугового разряда в среде паров углеводородов; толщина не превышала 2 мкм. Микротвёрдость измеряли на Mikrosize-uVicky(M) при нагрузке 100 г. Смачиваемость оценивали по краевому углу контакта с водой и вазелиновым маслом. Для гидрофобной модификации поверхность трижды обрабатывали 2-процентным раствором фторсодержащего олигомера (ФСО). Термообработку проводили при 293...573 К в течение 1 ч.

Удельную поверхностную энергию рассчитывали полуэмпирическим методом Owens – Wendt – Rabel – Kaelble (OWRK), представляя ее как сумму дисперсионной и полярной составляющих: $\gamma S = \gamma S^d + \gamma S^p$. Для расчета использовали уравнение $\gamma L(1 + \cos\theta) = 2(\sqrt{(\gamma S^d \gamma L^d)} + \sqrt{(\gamma S^p \gamma L^p)})$. Для воды принимали $\gamma L^d = 21{,}8$ и $\gamma L^p = 51{,}0$ мН/м, а для вазелинового масла – $\gamma L^d = 30{,}4$ и $\gamma L^p = 0$ мН/м. Следует отметить, что вазелиновое масло является многокомпонентной жидкостью, поэтому рассчитанные значения следует рассматривать как оценку удельной поверхностной энергии в рамках принятых параметров тестовых жидкостей.

Расчет показал, что для исходного покрытия свободная поверхностная энергия при 293 К составляет 37,81 мН/м, при 373 К – 45,16 мН/м, при 473 К – 41,97 мН/м и при 573 К – 63,36 мН/м. После модифицирования фторсодержащими олигомерами соответствующие значения составили 29,35; 24,10; 40,96 и 63,63 мН/м. Таким образом, при 293 К модификация снижает расчетную свободную поверхностную энергию примерно на 22 %, а при 373 К – почти на 47 %. При 473 К различие становится небольшим, а при 573 К значения практически совпадают. Фторсодержащая обработка снижала поверхностную энергию покрытия, что указывает на уменьшение адгезионного взаимодействия поверхности с контактирующей средой. При нагреве происходила перестройка модифицированного слоя, а при 573 К зафиксированы его деструкция и отслаивание покрытия от стальной подложки (рис. 1).

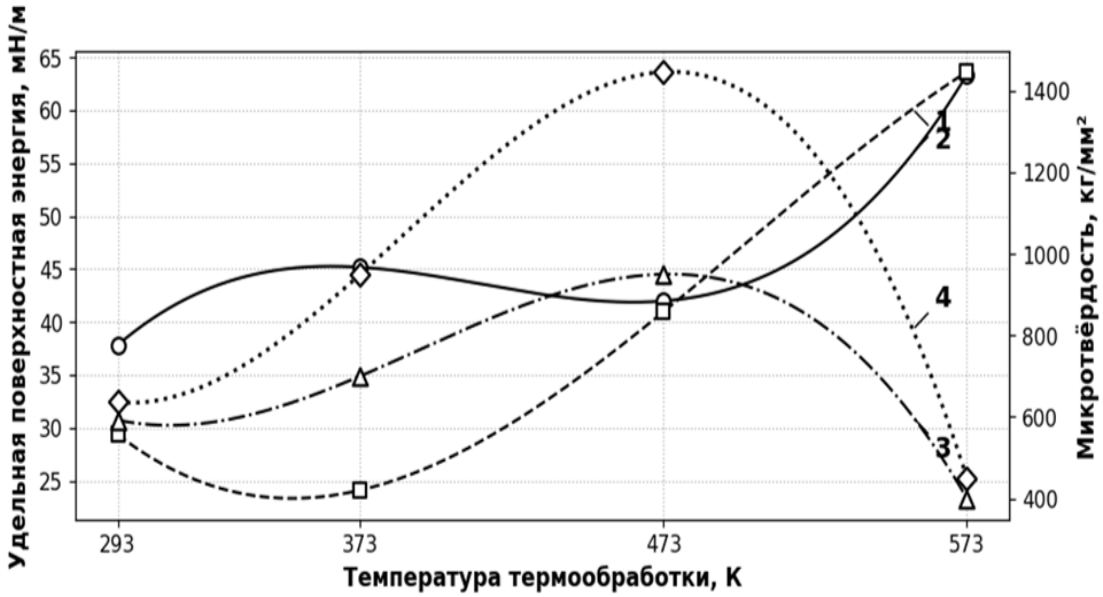


Рис. 1. Зависимость значений удельной поверхностной энергии и микротвердости алмазоподобных покрытий от режимов термообработки: *1* – удельная поверхностная энергия исходного алмазоподобного покрытия; *2* – удельная поверхностная энергия алмазоподобного покрытия, модифицированного ФСО; *3* – микротвёрдость исходного алмазоподобного покрытия (без фторсодержащей модификации); *4* – микротвёрдость алмазоподобного покрытия, модифицированного ФСО

Микротвёрдость зависела от состояния покрытия. Для исследованных образцов при 293 К значения составляли 478,2 и 706,3 кг/мм² без ФСО и 508,0 и 763,8 кг/мм² после модификации. При отдельных режимах термообработки микротвёрдость возрастала до 1266,2 и 1625,4 кг/мм². Наиболее высокие значения получены при 473 К, что может быть связано со структурной перестройкой поверхностного слоя. При 573 К наблюдалось снижение характеристик на участках разрушения покрытия.

Фторсодержащая модификация алмазоподобных покрытий повышает их гидрофобность и снижает поверхностную энергию. Термообработка вызывает структурную перестройку поверхности и изменение микротвёрдости. Наиболее выраженное повышение микротвёрдости наблюдается при умеренном нагреве, тогда как 573 К – критический режим, сопровождающийся деструкцией модифицирующего слоя и нарушением адгезии покрытия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Овчинников, Е. В.** Формирования тонкопленочных покрытий при воздействии технологических факторов / Е. В. Овчинников // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2013. – № 2 (45). – С. 197–205.

2. **Овчинников, Е. В.** Особенности формирования фторсодержащих покрытий на твердых субстратах / Е. В. Овчинников // Горная механика и машиностроение. – 2018. – № 1. – С. 68–80.

УДК 621.31:004.94

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В MATLAB/SIMULINK

Э. М. ОРАЗБЕРДИЕВА
Государственный энергетический институт Туркменистана
Мары, Туркменистан

Повышение энергоэффективности электротехнических систем требует совместного анализа источников, накопителей, преобразователей и переменной нагрузки. MATLAB/Simulink и Simscape Electrical позволяют объединять физические модели электрической части с алгоритмами управления и оптимизации, исследовать установившиеся и переходные режимы, а также оценивать энергопотребление при различных сценариях [1].

В работе рассматривается цифровая модель локальной системы «сеть – фотоэлектрический источник – аккумуляторная батарея – нагрузка». *Цель моделирования* – уменьшение энергии, потребляемой из внешней сети, за счет согласованного использования локальной генерации и накопителя. Структура модели приведена на рис. 1.

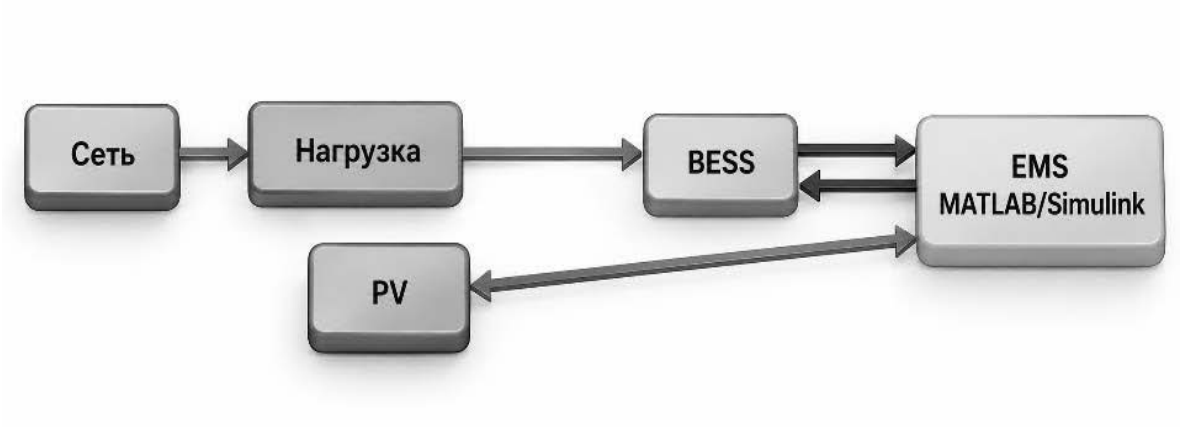


Рис. 1. Структура энергоэффективной электротехнической системы

Для каждого расчетного интервала энергетический баланс задается выражением

$$P_c(t) + P_{pv}(t) + P_b(t) = P_H(t) + P_П(t), \quad (1)$$

где P_c – мощность сети; P_{pv} – мощность фотоэлектрического источника; P_b – мощность аккумулятора; P_H – мощность нагрузки; $P_П$ – потери.

Критерием энергоэффективного управления выбран минимум энергии, получаемой из сети:

$$J = \sum P_C(k)\,\Delta t \to \min. \quad (2)$$

В Simulink модель может быть реализована блоками источника, преобразователя, нагрузки и BESS, а логика EMS – средствами MATLAB Function или Stateflow. Алгоритм в первую очередь использует солнечную генерацию для питания нагрузки, избыток направляет на заряд батареи, а в часы максимальной нагрузки разрешает разряд при соблюдении ограничений по мощности и состоянию заряда. Такой подход соответствует современным задачам EMS, в которых моделирование сочетается с прогнозированием и оптимизацией [1, 2].

Для демонстрационного вычислительного эксперимента сформирован суточный профиль с шагом 1 ч: базовая нагрузка 3 кВт с утренним и вечерним максимумами, пиковая мощность PV 4 кВт, емкость BESS 6 кВт·ч, допустимый диапазон SOC 20 %...90 %, предельная мощность заряда/разряда 2 кВт, КПД 0,95. Расчетный профиль не является результатом натурного эксперимента и используется для проверки алгоритма.

При питании только от сети суточное потребление составило 87,78 кВт·ч. Подключение PV без управления накопителем уменьшило сетевое потребление до 60,01 кВт·ч. Применение EMS с накопителем снизило его до 56,02 кВт·ч, т. е. на 36,18 % относительно исходного режима и дополнительно на 6,65 % относительно варианта с PV без управляемого BESS. Полученные значения относятся к заданному модельному профилю и не могут переноситься на реальные объекты без идентификации их параметров.

Цифровая модель позволяет варьировать мощность источника, емкость накопителя, график нагрузки и стратегию управления без перестройки физического стенда. Simscape Electrical предназначен для моделирования генерации, преобразования, передачи и потребления электрической энергии, а MATLAB/Simulink применяется для разработки EMS и оптимизационных алгоритмов [1, 3]. В современных исследованиях микросетей развитие EMS связывается с машинным обучением, IoT и цифровыми двойниками [2].

Таким образом, MATLAB/Simulink – эффективная среда цифрового исследования энергоэффективных электротехнических систем. Совместная модель источников, нагрузки и BESS позволяет количественно сравнивать режимы, выбирать параметры оборудования и проверять алгоритмы управления до создания физического прототипа. Перспектива работы – переход к реальным суточным данным, учет тарифов, потерь преобразователей и прогноз генерации и нагрузки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. MathWorks. Commercial Energy Management Systems with MATLAB, Simulink, and Simscape. – URL: https://www.mathworks.com/solutions/power-systems/commercial-energy-management.html (date of access: 16.09.2026).

2. A review of machine learning and IoT-based energy management systems for AC microgrids // Computers and Electrical Engineering. – 2025. – Vol. 127, part A. – Art. 110563.

3. MathWorks. Simscape Electrical: Model and simulate electronic, mechatronic, and electrical power systems. – URL: https://www.mathworks.com/products/simscape-electrical.html (date of access: 16.09.2026).

УДК 621.921.34

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО СПЕКАНИЯ КОМПОЗИТА АЛМАЗ – КУБИЧЕСКИЙ НИТРИД БОРА

А. М. ПАРНИЦКИЙ[1], Ю. А. МЕЛЬНИК[2]
[1]Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
[2]Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Свойства поликристаллических сверхтвердых материалов на основе алмазных микропорошков формируются в узком диапазоне параметров термобарической обработки, поэтому выбор режимов целесообразно вести на основе экспериментально-статистической модели.

В качестве шихты использовали микропорошок алмаза статического синтеза АСМ 14/10 с размером зерен 10...14 мкм (ГОСТ 9206–80), модифицированный кремнием отжигом в герметичном контейнере в парах кремнийсодержащих соединений при 950 °С с выдержкой 3 ч; содержание кремния в шихте составило около 10 мас. % [1]. Добавкой служил микропорошок кубического нитрида бора (КНБ) дисперсностью 5...7 мкм, повышающий термостойкость и химическую инертность композита. Спекание проводили в аппарате высокого давления «наковальня с лункой» на гидравлическом прессе ДО-138Б с усилием 6,3 МН. Давление калибровали по полиморфному превращению в реперном веществе Bi; температуру контролировали хромель-алюмелевой и платина-платинородиевой термопарами.

Задача состояла в установлении зависимости микротвердости HV композита от параметров процесса. Независимыми факторами приняты температура спекания T, давление P и содержание добавки КНБ $C_{КНБ}$ при фиксированной выдержке 15 с. Содержание добавки включено в число варьируемых факторов наравне с параметрами обработки. Уровни и интервалы варьирования приведены в табл. 1.

Табл. 1. Уровни и интервалы варьирования факторов

Фактор	Код	Интервал варьирования	Уровень фактора		
			нижний –1	основной 0	верхний +1
Температура спекания T, °С	x_1	300	1 500	1 800	2 100
Давление P, ГПа	x_2	1,0	5,5	6,5	7,5
Содержание добавки КНБ $C_{КНБ}$, мас. %	x_3	5	5	10	15

Реализован некомпозиционный план второго порядка, включающий 15 опытов, в том числе три в центре плана; в каждой точке выполнено по три параллельных определений отклика, что соответствует числу степеней свободы $f = 30$. Коэффициенты полинома второй степени рассчитывали по [2]. Дисперсия воспроизводимости по опытам в центре плана составила $s^2\{Y_{HV}\} = 3{,}523$. Сопоставление коэффициентов с доверительными интервалами ($t_m = 2{,}04$)

показало статистическую незначимость коэффициентов b_1, b_{12} и b_{23}, которые исключены из модели:

$$Y_{HV} = 57{,}267 - 1{,}650x_2 - 3{,}363x_3 - 3{,}700x_1x_3 - \\ - 2{,}708x_1^2 - 3{,}083x_2^2 - 3{,}808x_3^2. \quad (1)$$

Адекватность модели подтверждена по критерию Фишера: $F_p = 7{,}452 < F_m = 19{,}37$ при 5-процентном уровне значимости. После перехода к натуральным значениям факторов уравнение (1) принимает вид

$$Y_{HV} = -212{,}377 + 0{,}133T + 38{,}429P + 6{,}808C_{КНБ} - 0{,}002467T \cdot C_{КНБ} - \\ - 0{,}000030T^2 - 3{,}083P^2 - 0{,}152C_{КНБ}^2. \quad (2)$$

Наибольшее по модулю влияние на отклик оказывают содержание добавки КНБ ($b_3 = -3{,}363$) и парное взаимодействие температуры с содержанием добавки ($b_{13} = -3{,}700$), причем в исследованном интервале увеличение $C_{КНБ}$ приводит к снижению микротвердости. Наличие квадратичных членов обусловливает нелинейный характер зависимости: повышение температуры увеличивает твердость лишь до предела, после которого развивается графитизация алмаза и твердость снижается (рис. 1). Аналогичный экстремальный характер имеет зависимость отклика от давления.

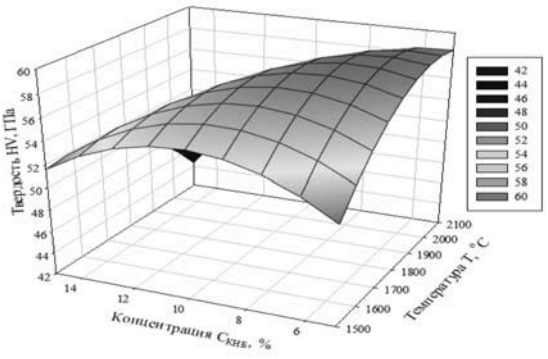


Рис. 1. Зависимость микротвердости от температуры T и содержания добавки $C_{КНБ}$ при $P = 6{,}5$ ГПа

На основании расчетно-экспериментального моделирования установлена рациональная область технологических режимов термобарического спекания: $T = (1950 \pm 30)$ °С, $P = (6{,}5 \pm 0{,}25)$ ГПа, $C_{КНБ} = (9{,}5 \pm 1)$ мас. %. Расчетный максимум твердости достигается при меньшем содержании добавки, однако указанный диапазон принят как компромиссный: КНБ повышает термостойкость, плотность и сопротивление изнашиванию композита при допустимом снижении твердости. Уравнение (2) может использоваться для выбора режимов спекания в пределах исследованных интервалов варьирования факторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Получение методом термобарического спекания композитов на основе алмаза и КНБ, модифицированных Si и SiC / Т. В. Сенють [и др.] // Порошковая металлургия : сб. науч. тр. – Мн. : Бел. наука, 2015. – Вып. 38. – С. 142–150.

2. **Спиридонов, А. А.** Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.

УДК 678.762.9

ОЦЕНКА КОАГУЛИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ СОЛИ ФОСФОНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАУЧУКОВ

И. А. ПИСАРЕВА, С. С. НИКУЛИН
Воронежский государственный университет инженерных технологий
Воронеж, Россия

Каучуки, получаемые эмульсионной полимеризацией, обладают повышенными нормативными показателями и широко применяются в различных промышленных отраслях [1, 2]. Совершенствование коагулирующих систем остается важной и актуальной проблемой. В представленной работе впервые в мировой практике для производства эмульсионных каучуков предложено использовать органические соединения, содержащие фосфор; исследована возможность применения для снижения агрегативной устойчивости латексных дисперсий в качестве коагулянта тетрафенилфосфоний бромида (ТФФБ).

ТФФБ представляет собой четвертичную фосфониевую соль и используется для извлечения тяжелых металлов из водных растворов в виде комплексов ионной ассоциации.

Коагуляцию бутадиен-стирольного латекса СКС-30 АРК проводили водными растворами ТФФБ с концентрацией 2 % и 2 % серной кислоты (подкисляющий агент). Используемый латекс имеет следующие характеристики: содержание связанного стирола – 22,5 мас. %, сухой остаток – 21,6 мас. %, поверхностное натяжение – 55,4 мН/м, pH латекса – 10,0.

Использование ТФФБ позволяет достичь полноты выделения каучука при расходе ТФФБ от 1,5 до 4,0 кг/т и определяется температурным режимом коагуляционного процесса. Наименьший расход ТФФБ отмечается при 1 °С...2 °С и составляет 1,5 кг/т каучука. Повышение температуры процесса до 20 °С и 60 °С приводит к возрастанию расхода ТФФБ до 2,0 и 4,0 кг/т каучука.

По своим показателям действие ТФФБ как коагулирующего агента соответствует катионному полиэлектролиту, содержащему азот, и катионному поверхностно-активному веществу [3].

Таким образом, коагулянт на основе ТФФБ может быть использован в технологии выделения каучука из латекса, поскольку обладает высокой коагулирующей способностью. Наименьший расход ТФФБ достигается при пониженных температурах и не превышает 1,5 кг/т каучука.

По своим показателям каучуки и вулканизаты на их основе соответствуют нормативно-техническим требованиям (ГОСТ 15627–2019).

Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Табл. 1. Влияние расхода ТФФБ и температуры на полноту выделения каучука из латекса СКС-30 АРК

Коагулянт	ТФФБ				
Температура 1 °С...2 °С					
Расход коагулянта, кг/т каучука	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0
Выход крошки каучука, %	65,7	78,1	90,0	97,1	97,3
Полнота коагуляции	кнп	кнп	кнп	кп	кп
Температура 20 °С					
Расход коагулянта, кг/т каучука	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Выход крошки каучука, %	72,4	87,6	89,2	96,0	96,6
Полнота коагуляции	кнп	кнп	кнп	кп	кп
Температура 60 °С					
Расход коагулянта, кг/т каучука	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Выход крошки каучука, %	58,7	80,6	89,2	94,8	95,2
Полнота коагуляции	кнп	кнп	кнп	кп	кп
Примечание – pH водной фазы (серума) – 2,5...3,0; расход серной кислоты – 15 кг/т каучука; кнп – коагуляция неполная; кп – коагуляция полная					

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Курдюмов, А. В.** Проблемы и тенденции развития производства синтетического каучука в мировой и российской практике / А. В. Курдюмов, М. Ю. Кожевникова // Вестник Академии знаний. – 2024. – № 1 (60). – С. 216–220.

2. **Папков, В. Н.** Бутадиен-стирольные каучуки. Синтез и свойства / В. Н. Папков, Э. М. Ривин, Е. В. Блинов. – Воронеж, 2015. – С. 4–7.

3. Investigation of the process of latex coagulation by cationic surfactants / S. Nikulin, V. Verezhnikov, T. Bulatetskaya, N. Nikulina // Bulletin of Karaganda university. – 2021. – № 2 (102). – P. 63–68.

УДК 538.975

МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ АТОМАРНО-ЧИСТЫХ ПОДЛОЖЕК Si

А. В. ПОЛЯКОВ, Д. В. ФОМИН, И. О. ШОЛЫГИН
Амурский государственный университет
Благовещенск, Россия

Атомарно-чистая поверхность подложек Si часто используется для эпитаксиального роста новых материалов [1–3]. Один из методов её подготовки – двухэтапная дегазация. Первая – 2 ч при 650 °С, а вторая – 3 с при 1 250 °С. Предварительная дегазация СВВ камеры составила в одном случае 6 ч, а в другом – 12 ч. На рис. 1 представлены результаты в виде спектров ЭОС.

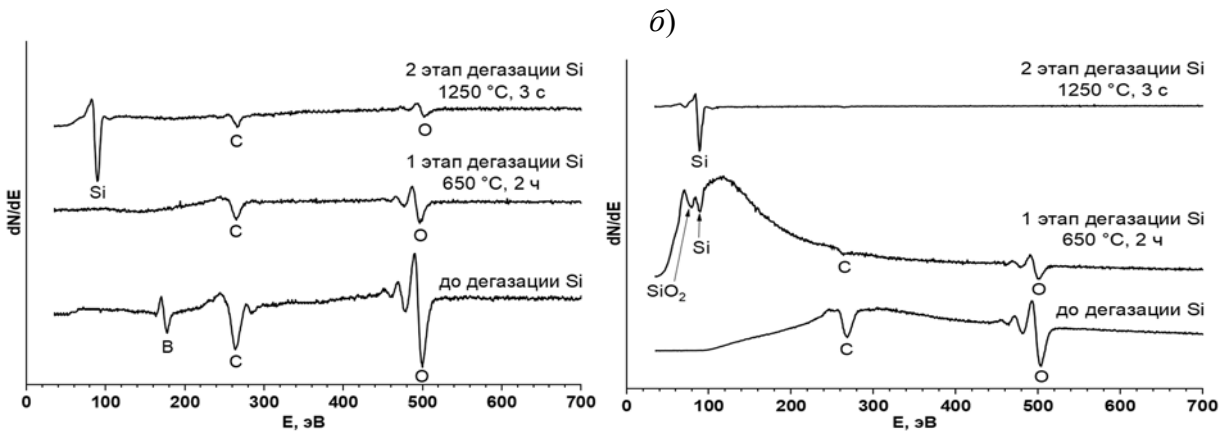


Рис. 1. Спектры ЭОС этапов дегазации подложки Si, включая дегазацию СВВ камеры в течение 6 ч (*а*) и 12 ч (*б*)

Анализ графиков показал, что на нижних спектрах видны пики при 272 (С), 503 (О) и 179 эВ (В). Причина появления последнего – боросиликатные смотровые стекла СВВ камеры. Установлено, что выделение бора происходит при её дегазации от 200 °С до 250 °С. При последующем отжиге камеры стекла были закрыты фольгой, что привело к отсутствию В на поверхности подложек (см. рис. 1, *б*).

На первом этапе дегазации подложек Si (см. рис. 1, средние спектры) задавали температуру 650 °С, что привело к десорбции атомов бора (см. рис. 1, *а*) и получению SiO_2 и Si (см. рис. 1, *б*, пики при 76 и 92 эВ соответственно). При этом на спектрах ЭОС первого этапа в обоих случаях наблюдаются пики углерода и кислорода (272 и 503 эВ), что свидетельствует о недостаточной дегазации подложек. Поэтому на втором этапе проводили дополнительный отжиг при 1 250 °С в течение 3 с (см. рис. 1, верхние спектры). При 6-часовой предварительной дегазации СВВ камеры этот отжиг привел к частичной десорбции атомов С и О и к появлению пика, соответствующего Si (см. рис. 1, *а*), тогда как при 12-часовой дегазации камеры произошла полная десорбция примесей (см. рис. 1, *б*).

По данным [4], дегазация в сверхвысоком вакууме при температуре выше 1 000 °С приводит к формированию встроенного *p–n*-перехода с двух сторон подложки. В [3] описана другая методика дегазации кремниевых подложек (при 900 °С). На основе этой методики авторы провели эксперименты при 870 °С и 910 °С в течение 20 мин после предварительной 12-часовой дегазации камеры. Результаты представлены в виде спектров ЭОС на рис. 2.

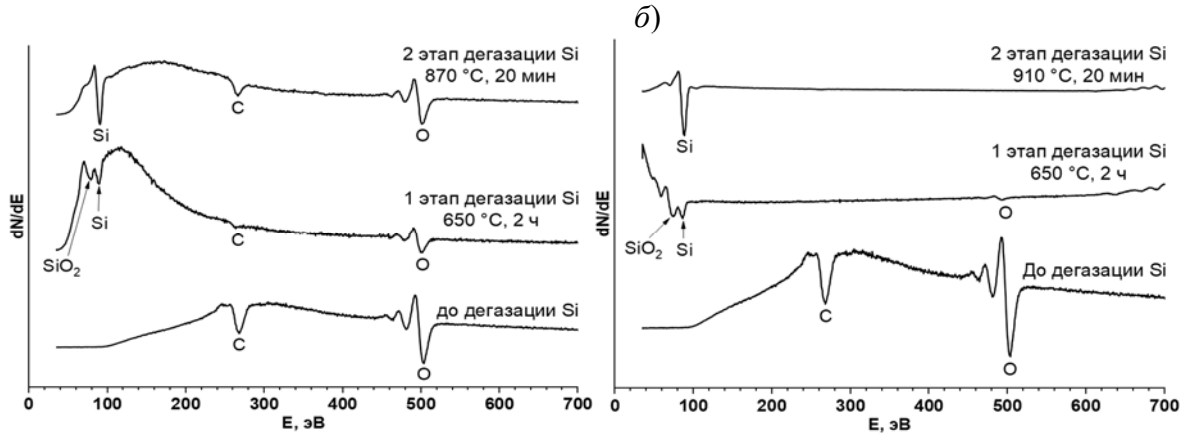


Рис. 2. Спектры ЭОС подложки Si после её дегазации: при 870 °С (*а*) и 910 °С (*б*)

Анализ спектров показал, что дегазация при 870 °С не позволяет получить атомарно-чистую поверхность подложки Si. Об этом свидетельствует наличие, помимо обратного пика Si (92 эВ), минимумов C (272 эВ) и O (503 эВ). Дегазация при 910 °С приводит к получению атомарно-чистой поверхности Si.

Таким образом, в работе представлены методы подготовки атомарно-чистой поверхности подложек Si, различающиеся назначением их дальнейшего использования. В первом случае это связано с формированием *p–n*-перехода, что может быть использовано при получении диодных структур [1, 2]. Во втором случае – формирование Si *n*-типа, который интересен для решения материаловедческих задач в области фотоники и термоэлектроники [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фотоэлектрические свойства диодов на основе полупроводникового силицида магния / Д. В. Фомин, И. О. Шолыгин, А. В. Поляков [и др.] // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2026. – Т. 19, № 1. – С. 19–29.

2. FeSi and $CrSi_2$ Thin Films as Transparent Conductive Layers for VIS/SWIR Sensitive Mg_2Si Films Grown on Si / I. M. Chernev, A. S. Gouralnik, E. Yu. Subbotin [et al.] // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2023. – Vol. 87, № S3. – P. S370–S374.

3. Si-Fe composites with embedded α-$FeSi_2$ nanocrystals: formation and thermoelectric properties / N. G. Galkin, K. N. Galkin, O. V. Kropachev [et al.] // St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics. – 2025. – Vol. 18, № S4.1. – P. 9–14.

4. Electrical properties of vacuum annealed Si surface / M. Liehr, M. Renier, R. A. Wachnik [et al.] // Journal of Vacuum Science and Technology A. – 1987. – Vol. 5, № 4. – P. 2131–2134.

УДК 62-233

ДЕМПФЕРЫ КРУТИЛЬНЫХ И ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КАРДАННЫХ ПЕРЕДАЧ

А. В. ПОПРУКАЙЛО[1], Г. А. КОСТЮКОВИЧ[1],
М. Е. КИПНИС[1], Е. В. ОВЧИННИКОВ[2]
[1]ОАО «Белкард»
[2]Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
Гродно, Беларусь

Для уменьшения колебаний и вибраций карданных передач при работе и динамических нагрузках в трансмиссиях применяют демпферы крутильных и изгибных колебаний. Различают демпферы силового типа (упругие муфты), передающие крутящие моменты (рис. 1, *а*), и инерционного типа, не передающие их (рис. 1, *б*).

а) *б*)

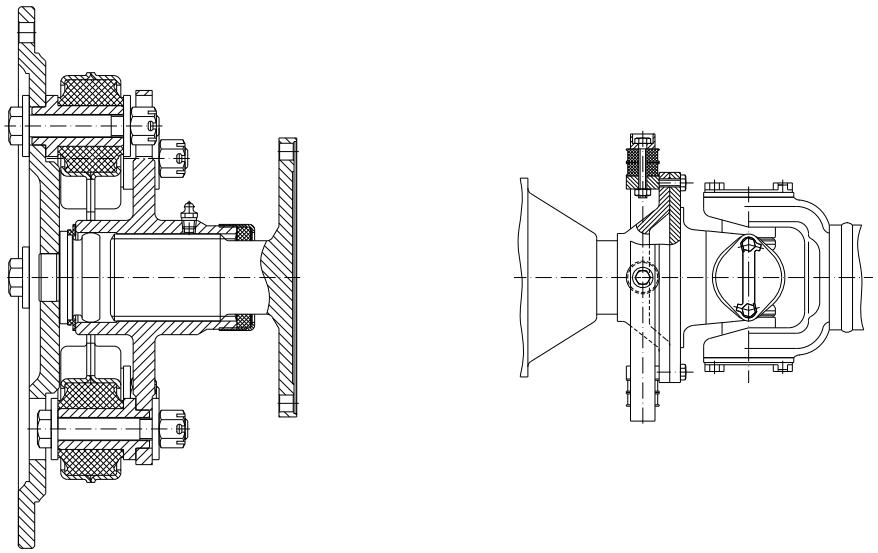


Рис. 1. Конструкции демпферов: *а* – силового типа; *б* – инерционного типа

У обоих типов демпферов упругие элементы чаще всего выполнены из резины, свойства которой позволяют эффективно рассеивать энергию колебаний и вибраций в трансмиссиях и карданных передачах. Проведенные экспериментальные исследования колебаний карданных передач и динамических нагрузок в трансмиссии автобуса при разгоне на высшей передаче и при трогании грузового автомобиля на низшей передаче показали эффективность упругой резиновой муфты силового типа конструкции, установленной в трехшарнирной карданной передаче у коробки передач вместо карданного шарнира неравной угловой скорости.

Упругие муфты силового типа, или упругие полукарданы, применяют в карданных передачах вместо карданных шарниров или в дополнение к ним. Упругие полукарданы различных конструкций наиболее часто применяют в трансмис-

сиях легковых автомобилей, автобусах, легких грузовых автомобилях, силовых установках водного транспорта, электрогенераторных установках. При использовании упругих полукарданов в скоростных трансмиссиях, максимальные частоты вращения которых свыше 1 000 мин$^{-1}$, необходимо, чтобы в этих конструкциях применялись жесткие центрирующие устройства, обеспечивающие центрирование валов, соединяемых упругими полукарданами, и устойчивость работы системы. Если упругие полукарданы используются в трансмиссиях на приводных валах, максимальные частоты вращения которых не превышают 1 000 мин$^{-1}$, то не требуется применять центрирующие устройства. В этом случае конструкции упругих элементов могут быть более разнообразными. Например, в виде резиновых колец, запрессованных между металлическими трубами, резиновых втулок, завулканизированных на шипы крестовины карданного шарнира, резиновых элементов, завулканизированных в зазоры зубчатого зацепления, резиновых колец, монтируемых в металлическую оболочку.

Кинематика большинства конструкций упругих полукарданов обеспечивает их работоспособность при перемещениях соединяемых ими валов – угловых до 3°, линейных до 3...4 мм, а угловые перемещения упругих полукарданов относительно оси их вращения под действием крутящих моментов могут быть до 15°...20°. Величины угловых перемещений упругих полукарданов под действием передаваемых крутящих моментов определяются жесткостью их упругих элементов. Зависимость углового перемещения упругого полукардана от передаваемого крутящего момента является его характеристикой упругости, которую определяют на стенде и используют для оценки возможной эффективности различных конструкций упругих полукарданов по уменьшению резонансов колебаний в трансмиссии, а также динамических нагрузок, возникающих при переходных режимах движения.

Таким образом, кинематические свойства упругих полукарданов влияют на свойства трансмиссии как колебательной системы, а свойства резины и некоторых полимеров, используемых в элементах упругих полукарданов, способствуют рассеиванию энергии колебаний.

Инерционные демпферы устанавливают на карданных или приводных валах. Эффективность инерционных демпферов по демпфированию колебаний и вибраций зависит от того, насколько точно демпфер настроен на частоту колебаний, которые необходимо погасить. Настройка осуществляется выбором величины инерционной массы и жесткости упругого элемента.

Необходимые величины инерционной массы и жесткости упругого элемента определяют конструкцию инерционного демпфера, т. е. геометрические параметры массы и конфигурацию упругого элемента. Обычно конструкция инерционного демпфера состоит из двух частей, соединяемых болтами при установке демпфера на вал.

Для инерционного демпфера так же, как и для упругого полукардана, важными параметрами являются определяемые в стендовых условиях характеристики упругости при линейных и угловых перемещениях, позволяющие оценить эффективность конструкции в гашении колебаний трансмиссии.

УДК 678.01:543.2:547.56

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ПОЛИФЕНОЛОВ В КАЧЕСТВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИЛАКТИДА

Н. Р. ПРОКОПЧУК, К. В. ВИШНЕВСКИЙ, О. А. КРОТОВА, Е. П. УСС
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Полилактид (PLA) – один из наиболее перспективных биоразлагаемых полимеров, однако его практическое использование в производстве упаковки ограничено высокой хрупкостью и низкой ударной вязкостью. В чистом виде PLA демонстрирует жесткое и хрупкое поведение при разрушении, что существенно сужает возможности его применения в упаковочной индустрии. Решением этой проблемы является пластификация – введение в полимер низкомолекулярных веществ, снижающих межмолекулярные силы и повышающих подвижность цепей. Пластификация позволяет значительно расширить области применения PLA, сохраняя его биоразлагаемые свойства [1].

В [1, 2] описано значительное количество пластификаторов, используемых для модификации PLA. Их выбор определяется эффективностью, совместимостью с полимером, безопасностью и – для упаковочных материалов – допустимостью контакта с пищевыми продуктами. Среди наиболее распространённых и перспективных можно указать:

1) цитратные пластификаторы – эфиры лимонной кислоты – одни из наиболее изученных пластификаторов для PLA. Их получают из природного сырья; они нетоксичны и одобрены для применения в материалах, контактирующих с пищевыми продуктами. Исследования показывают, что при введении таких эфиров можно достичь рекордных значений относительного удлинения при разрыве, однако это сопровождается значительным снижением прочности на разрыв;

2) глицерин и его производные, такие как триацетин, также рассматриваются как потенциальные пластификаторы для PLA благодаря своей нетоксичности. Однако их эффективность может уступать другим классам пластификаторов.

Также применяются дибутилсебацинат (DBS), поли(1,3-бутиленгликоль-адипат) (PBOH), ацетилглицерилмонолаурат (AGM), полипропиленгликоль (PPG) и другие соединения. Однако особое место среди пластификаторов занимает полиэтиленгликоль (PEG), который является одним из наиболее широко используемых и изученных пластификаторов для PLA по нескольким причинам [2]: биосовместимость и нетоксичность; широкий диапазон молекулярных масс от 200 до 5 000 г/моль и выше), что позволяет гибко регулировать свойства; совместимость с PLA; биоразлагаемость, что критически важно для сохранения экологических свойств упаковочного материала. Критическим параметром, определяющим эффективность пластификации PEG, является его молекулярная масса.

Добавление PEG оказывает комплексное воздействие на свойства PLA. С одной стороны, снижает температуру стеклования и температуру холодной кристаллизации, что является прямым эффектом пластифицирующего действия и повышения подвижности цепей, при этом увеличивает скорости кристаллизации и степень кристалличности PLA, повышает стойкость к ударным нагрузкам. С другой стороны, наблюдается снижение прочности и модуля упругости, что является типичным компромиссом при пластификации. Еще одним недостатком использования низкомолекулярных пластификаторов, включая PEG, является их склонность к миграции – процессу постепенного выделения пластификатора из материала с течением времени. Это может приводить к ухудшению свойств и потенциальному загрязнению упакованной продукции. Несмотря на мировой опыт, в Республике Беларусь подобных производств нет и готовых решений не разработано.

Цель работы – модификация свойств PLA для создания материала с необходимым комплексом свойств для упаковки нового поколения.

На начальном этапе изучено влияние PEG различной молекулярной массы на основные физические и механические свойства PLA. Установлено, что добавление 10 мас. % PEG приводит к значительному снижению температуры начала разложения (падение составляет до 70 °C в случае использования PEG400), а максимальная скорость разложения находится в интервале от 290 °C до 310 °C, однако при повышении молекулярной массы (PEG2000 и PEG4000) эффект менее значителен. При этом выявлено снижение температуры стеклования на 10 °C...24 °C в зависимости от используемого PEG.

Таким образом, для дальнейших исследований целесообразно использовать PEG2000 и PEG4000, поскольку в этом случае достигается необходимый баланс между эффектом пластификации и сохранением прочности. Дальнейшие исследования планируется проводить с учетом того, что для повышения стабилизирующих и антисептических свойств PLA будут использоваться полифенолы природного происхождения. В этом случае снижение температуры переработки до 160 °C...190 °C будет положительно влиять на сохранение свойств и структуры добавок природного происхождения.

Работа выполнялась в рамках совместного проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Вьетнамской академии наук и технологий «*БРФФИ – ВАНТ-2026*» *Т26В-003*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Enhancing Polylactic Acid Films With Polyethylene Glycol-Based Plasticizers : A Reactive Extrusion Approach / C. Lázaro-Hernández, J. Gómez-Caturla, M. P. Arrieta [et al.] // Macromolecular Rapid Communications. – 2025. – Vol. 46, № 14.

2. **Benaniba, M. T.** Thermal and Dynamic Mechanical Analyses of Poly (Lactic Acid) / Poly (Ethylene Glycol) Blends / M. T. Benaniba, K. Aouachria // Academic Perspective Procedia. – 2018. – Vol. 1, № 1. – P. 526–535.

УДК 621.83.06

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ РЕДУКТОРОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ПАКЕТНОГО САТЕЛЛИТА

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

Как показывает анализ технических характеристик современных электромеханических приводов, к наиболее востребованному диапазону передаточных отношений относится 30...100 при радиальных габаритных размерах передачи (редуктора), не превышающих 200 мм. Анализ конструкций малогабаритных редукторов показывает, что для достижения передаточных отношений 30…100 целесообразно применять специальные кинематические схемы. В циклоидальных передачах, в отличие от волновых, нет гибких элементов, что обеспечивает высокую жесткость и устойчивость к пиковым нагрузкам. При этом они обладают высоким КПД, малыми габаритными размерами и позволяют реализовать широкий диапазон передаточных отношений – от 2 до 100. Новым этапом развития циклоидальных передач стало появление редуктора RV – двухступенчатого планетарного механизма, который сочетает преимущества планетарной и циклоидальной передач, обеспечивая высокую точность, жесткость и нагрузочную способность в компактном корпусе.

Ключевые конструктивные особенности редуктора RV.

1. Два сбалансированных циклоидальных диска полностью компенсируют инерционные силы от вращающихся масс, обеспечивая высокую плавность хода и позволяя выдерживать большие нагрузки на высоких оборотах.

2. Многозонное зацепление. В любой момент времени в зацеплении с цевками находится около 30 %...40 % зубьев одного циклоидального диска. Это значительно увеличивает нагрузочную способность и износостойкость.

3. Выходной вал-водило опирается на подшипники качения, интегрированные прямо в корпус, что позволяет воспринимать большие опрокидывающие моменты без дополнительных опор.

4. Отсутствие механизма съема вращения с сателлита упрощает конструкцию редуктора и повышает его КПД.

Для повышения технологичности конструкции циклоидальной передачи, топологической оптимизации, реализации материаловедческих резервов и конструктивной оптимизации системы смазки предлагается изготавливать сателлит не как монолитную деталь, а в виде пакета (набора) дисков.

Преимущества такого подхода.

1. Повышение технологичности благодаря возможности изготавливать сателлит практически любой толщины без оборудования большой мощности.

2. Повышение демпфирующих свойств. Энергия ударных нагрузок гасится на границах слоев между дисками благодаря наличию клея или микрозазоров (если диски стянуты винтами).

3. Управление свойствами материала сателлита (гибридные материалы). Возможность создавать сателлит с комбинированными свойствами.

4. Ремонтопригодность. Можно заменять не всю шестерню, а часть дисков по мере износа или поломки.

5. Если в дисках выполнять специальные пазы или оставлять между ними зазоры, эти пазы (канавки) могут использоваться для удержания смазки в зоне контакта.

6. Возможность введения между дисками токопроводящих прокладок с тензорезистивным эффектом, что позволит реализовать «интеллектуальную шестерню» – контролировать нагрузку на зубья в реальном времени.

Предлагаемые конструктивные схемы изготовления сателлита в виде пакета (*набора*) *дисков*.

1. Биметаллический сателлит. Внутренние диски (ступицу) изготавливают из конструкционной стали (например, Ст3, 20), а наружные диски, формирующие зубья, – из износостойкой легированной стали (например, 20ХН3А).

2. Демпфирующий сателлит. Диски с зубьями из износостойкой легированной стали чередуются с тонкими прокладочными дисками из более мягкого демпфирующего материала (медь, латунь, полимер). Это снижает шум и вибрацию при работе передачи.

Рассмотрим конструкции сателлита в виде пакета (набора) дисков, представленные на рис. 1. На рис. 1, *а* приведена конструкция биметаллического сателлита, состоящего из внутренних и наружных дисков, которые соединены между собой посредством профильного соединения. На рис. 1, *б* приведена конструкция демпфирующего сателлита. На рис. 1, *в* приведен сателлит с дисками, имеющими внутренние полости (канавки), которые могут применяться для удержания смазки в зоне контакта или для установки датчиков (сенсорные слои).

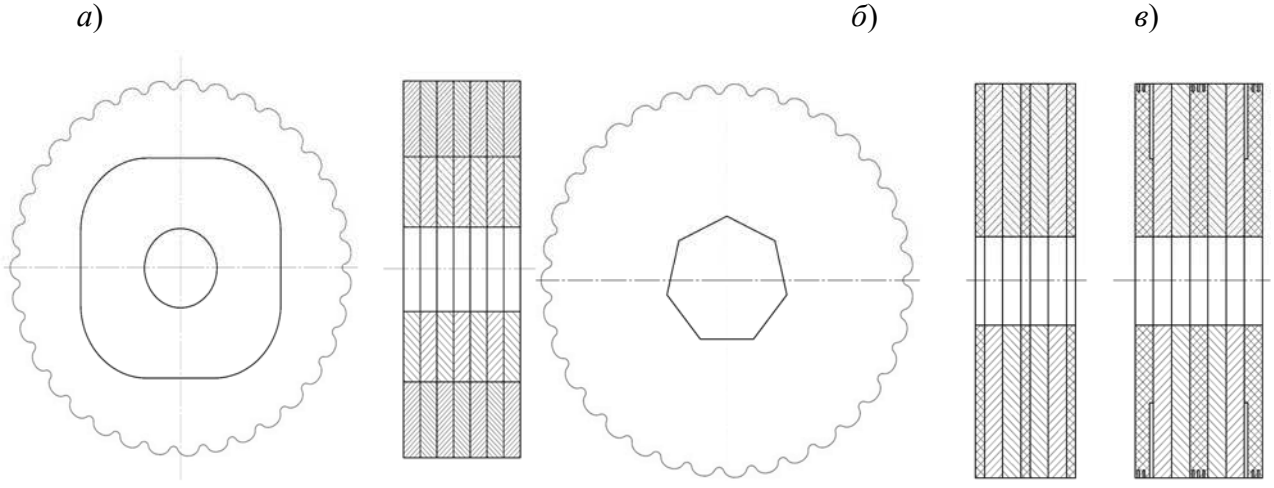


Рис. 1. Конструктивные схемы изготовления сателлита в виде пакета (набора) дисков

УДК 621.787

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ С ЭФФЕКТОМ ПОЛОГО КАТОДА НА ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

М. А. РАБЫКО[1], В. М. ШЕМЕНКОВ[2], Д. А. ПЛИСОВА[1], В. А. СИНИЦКИЙ[1]
[1]Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь
[2]Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Электронно-микроскопический анализ поверхностного слоя образцов проводили на сканирующем электронном микроскопе Tescan VEGA 2 SBA. Подготовка образцов осуществлялась по стандартной методике. Методика исследований аналогична описанной в [1, 2]. Образцы обрабатывали по трем основным режимам, подробно описанным в [1, 2].

На основании анализа полученных результатов (рис. 1) можно сделать вывод, что обработка стали 5Х3В3МФС тлеющим разрядом не приводит к видимым изменениям структуры.

а) *б*) *в*)

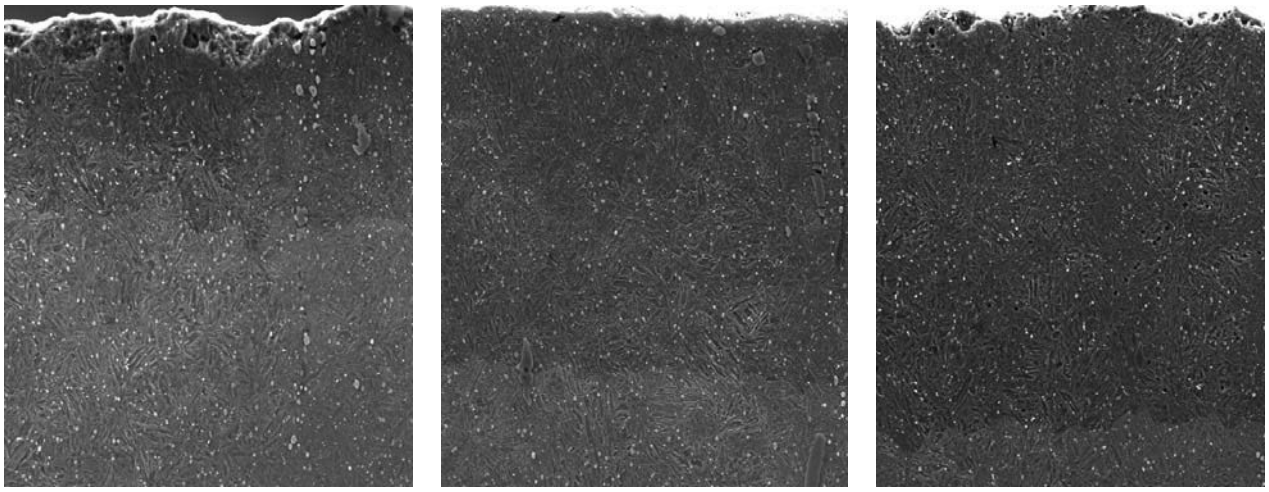


Рис. 1. Структура стали 5Х3В3МФС после обработки: *а* – тлеющим разрядом; *б* – тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем; *в* – тлеющим разрядом в магнитном поле с эффектом полого катода

Классическая обработка образцов тлеющим разрядом приводит к измельчению и перераспределению карбидной фазы в поверхностном слое глубиной до 75 мкм; упрочнение тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем и в магнитном поле с эффектом полого катода дает такие же результаты, как и обработка одним тлеющим разрядом, с той лишь разницей, что глубина слоя в первом случае достигает 100 мкм, а во втором – 110 мкм [3].

Металлографический анализ образцов из стали 40Х13 до обработки тлеющим разрядом показывает наличие структуры мартенсита закалки с кар-

бидными включениями.

Модифицирующая обработка стали 40Х13 приводит к измельчению и перераспределению карбидной фазы в поверхностном слое глубиной до 20, 45 и 55 мкм соответственно (рис. 2) [4].

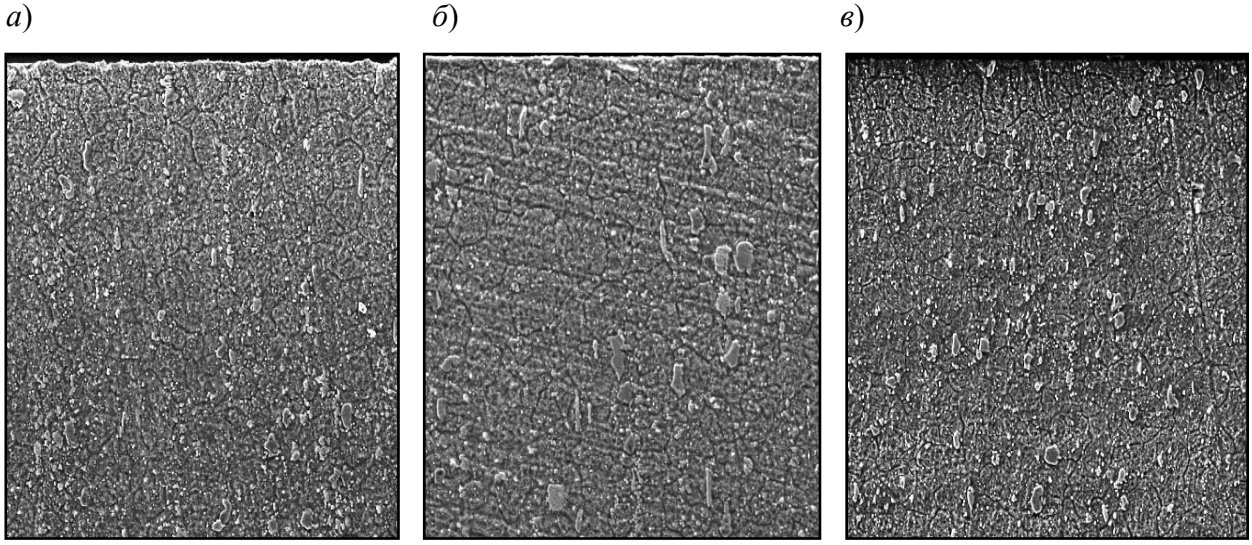


Рис. 2. Структура стали 40Х13 после обработки: *а* – тлеющим разрядом; *б* – тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем; *в* – тлеющим разрядом в магнитном поле с эффектом полого катода

На основании анализа данных, представленных выше, можно сделать вывод о том, что применение эффекта полого катода при обработке изделий тлеющим разрядом приводит к распылению поверхностного слоя, дополнительному росту микротвердости поверхностей (до 10 % по сравнению с образцами, упрочнёнными тлеющим разрядом в прикатодном магнитном поле), а также к увеличению глубины упрочненного слоя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рабыко, М. А.** Влияние прикатодного магнитного поля на структурно-фазовое состояние инструментальной штамповой стали 5Х3В3МФС при обработке ее тлеющим разрядом / М. А. Рабыко, В. М. Шеменков // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 3 (76). – С. 77–86.

2. Структурно-фазовое модифицирование инструментальных материалов тлеющим разрядом : монография / под общ. ред. В. М. Шеменкова. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2017. – 270 с. : ил.

3. **Шеменков, В. М.** Инженерия поверхностного слоя инструментальной оснастки тлеющим разрядом : монография / В. М. Шеменков, М. А. Рабыко, А. Н. Юманова. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2023. – 250 с.

4. Влияние обработки тлеющим разрядом в магнитном поле с эффектом полого катода на эксплуатационные свойства инструментальных сталей / В. М. Шеменков, М. А. Рабыко, А. Н. Юманова, А. Л. Шеменкова // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2026. – № 3 (92). – С. 86–101.

УДК 621.787

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ УПРОЧНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ С ЭФФЕКТОМ ПОЛОГО КАТОДА

М. А. РАБЫКО[1], В. М. ШЕМЕНКОВ[2],
Д. А. ПЛИСОВА[1], В. А. СИНИЦКИЙ[1]
[1]Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь
[2]Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Экспериментальные исследования и производственные испытания технологической оснастки из штамповых сталей 5Х3В3МФС, Х12МФ ГОСТ 5950–2000 и 40Х13 ГОСТ 5632–72, обработанной тлеющим разрядом с эффектом полого катода, работа которой сопровождается ударными воздействиями, выявили большие возможности повышения износостойкости оснастки, а следовательно – производительности и снижения себестоимости изготовляемых изделий.

Опытно-промышленную проверку проводили в инструментальных цехах предприятий ООО «Махина-ТСТ» (г. Могилев) и ООО «СКБ ДалС» (г. Могилев).

В сотрудничестве с ООО «СКБ ДалС» испытали изделия «Матрица для гибки хомута 32» из стали 40Х13 ГОСТ 5632–72 и «Пуансон для гибки хомута 32» из стали 5Х3В3МФС ГОСТ 5950–2000, которые упрочняли тлеющим разрядом с эффектом полого катода. Испытания штамповой оснастки проводились на гидравлическом прессе ДБ-2432. Скорость рабочего хода пресса составляла 15 мм/с. Процесс испытаний включал прямое выдавливание заготовок с оценкой напряженно-деформированного состояния инструмента. После упрочнения тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем штамповая оснастка показала повышенную износостойкость (в 4,2 раза у «Пуансона для гибки хомута 32» из стали 5Х3В3МФС ГОСТ 5950–2000 и в 2,7–3,2 раза у «Матрицы для гибки хомута 32» из стали 40Х13 ГОСТ 5632–72) и сохранила работоспособность в условиях циклического нагрева и высоких контактных нагрузок.

В ООО «Махина-ТСТ» испытали нож дисковый ONTEC 2.007.029 из стали 40Х13 ГОСТ 5632–72. В ходе испытаний было выявлено, что износостойкость ножа дискового для ONTEC 2.007.029 из стали 40Х13 ГОСТ 5632–72, подвергнутого структурно-фазовому модифицированию комплексной обработкой, основанной на тлеющем разряде с эффектом полого катода, оказалась выше (в 2,5–3,3 раза) по сравнению с немодифицированными образцами.

УДК 621.86.078.9

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСКИ КОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В. Д. РОГОЖИН, О. А. ПОНОМАРЁВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Работоспособность подвески колесного ТС (далее – ТС) напрямую связана с устойчивостью, тормозной динамикой и работой систем активной безопасности; оценка её технического состояния подлежит обязательному контролю, например при ГТО. Концепция предиктивного технического обслуживания колесных ТС предполагает количественную оценку наработки до предельного состояния и составление на этой основе графиков очередного ТО.

В качестве диагностического параметра выбран «коэффициент эффективности амортизатора» (далее – η), определяемый на вибростенде MAHA MSD 3000. Измерения величины η на стенде полностью автоматизированы; результаты сохраняются в протоколе, содержащем как значения η, так и пробег ТС. Величина коэффициента η обратно пропорциональна амплитуде колебаний на резонансе. Выборку значений η формировали на действующих СТО; данные структурированы в виде таблицы, где строки соответствуют ТС, а столбцы – номерам ТО [1]. Производитель вибростенда рекомендует пороговое значение η = 0,4.

Рассмотрены четыре класса моделей: линейная регрессия, полиномиальная регрессия 2-й степени, двухпараметрическая экспонента, трёхпараметрическая экспонента. Параметры определялись методом наименьших квадратов, для трёхпараметрической экспоненты применялась итерационная процедура Левенберга – Марквардта. В результате сравнения моделей по R^2, MAE, MAPE, AIC и BIC установлено, что при наличии не менее пяти точек после замены амортизаторов трёхпараметрическая экспонента обеспечивает наилучшее качество аппроксимации (R^2 до 0,97; MAE ≈ 3,4 тыс. км) [1]. При меньшем числе точек предпочтительнее двухпараметрическая экспонента.

Точечная оценка остаточного ресурса амортизаторов ТС не отражает статистическую неопределённость, обусловленную ограниченным объёмом наблюдений, погрешностью измерений и вариабельностью условий эксплуатации. Для практического применения необходима интервальная оценка.

Статистическую погрешность оценок параметров (a, b, c) регрессионной модели рассчитывают методом линеаризации, при котором дисперсия оценки критического пробега приближённо определяется через матрицу ковариаций оценок параметров модели Σ и вектор частных производных J:

$$\sigma^2_{L_{кр}} \approx J^T \Sigma J, \tag{1}$$

где $J = [\partial L_{кр}/\partial a, \partial L_{кр}/\partial b, \partial L_{кр}/\partial c]$.

Для трёхпараметрической экспоненты частные производные имеют вид

$$\frac{\partial L_{кр}}{\partial a} = \frac{1}{b \cdot a} \frac{1}{\left(\eta_{пор} - c\right) / a}; \tag{2}$$

$$\frac{\partial L_{кр}}{\partial b} = \frac{1}{b^2} \ln \frac{\eta_{пор} - c}{a}; \tag{3}$$

$$\frac{\partial \mathrm{L_{кр}}}{\partial c} = -\frac{1}{b \cdot \left(\eta_{пор} - c\right)}. \tag{4}$$

Ковариационная матрица Σ получается в процедуре нелинейного метода наименьших квадратов (это матрица, обратная информационной матрице Фишера). Доверительный интервал с уровнем значимости α:

$$L_{кр} \pm t_{\alpha/2, n-k} \cdot \sigma_{L_{кр}}, \tag{5}$$

где t – квантиль распределения Стьюдента с $n - k$ степенями свободы (n – число наблюдений; k – число параметров модели).

На скорость деградации влияют также условия эксплуатации ТС, поэтому вводится дополнительная составляющая дисперсии:

$$\sigma_{\Delta L} \approx \sqrt{RMSE^2 + \left(\Delta L \cdot CV_{усл}\right)^2}, \tag{6}$$

где $CV_{усл}$ – коэффициент вариации, зависящий от преобладающих условий эксплуатации (для городских условий $CV_{усл} \approx 0{,}15...0{,}20$; для смешанного цикла $CV_{усл} \approx 0{,}10...0{,}15$; для загородных $CV_{усл} \approx 0{,}05...0{,}10$).

Итоговый доверительный интервал

$$\Delta L_{дов} = \Delta L \pm z_{1-\alpha/2} \cdot \sigma_{\Delta L}, \tag{7}$$

где z – квантиль нормального распределения.

Разработанный программный модуль с используемыми в его алгоритме формулами (1)–(7) рассчитывает интервал, в котором с заданной вероятностью произойдёт достижение предельного состояния элементов подвески ТС, что предоставляет возможность заранее планировать посещение СТО с целью замены амортизаторов в ТС. Пользовательский интерфейс модуля реализован в виде набора диалоговых окон; для наглядности результатов прогнозирования предусмотрен экспорт отчёта в PDF и DOCX.

Повышение точности прогнозирования предполагает апробацию на большей выборке данных с учётом типа подвески и условий эксплуатации ТС, а также интеграцию с моделями машинного обучения, что позволит адаптировать прогнозирование остаточного ресурса элементов подвески к реальным условиям эксплуатации ТС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рогожин, В. Д.** Методика автоматизированного прогнозирования остаточного ресурса элементов подвески транспортных средств категории М1 / В. Д. Рогожин, О. А. Пономарёва // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2026. – № 3. – С. 55–62.

УДК 621.787

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЧУГУНА

Д. М. СВИРЕПА, А. А. КУРАШОВ, Н. Д. СВИРЕПА, Б. Б. СКАРЫНО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Методы поверхностно-пластического деформирования (ППД) при обработке чугунных заготовок имеют ряд особенностей. Это связано со структурой чугуна, содержащего включения графита и обладающего низкой пластичностью по сравнению со сталью.

Особенности деформации и структуры.

1. Повышение плотности: микроструктура металла становится более однородной и плотной.
2. Ограниченная пластичность: чугун хрупок, поэтому пластическая деформация происходит в очень тонком слое.
3. Упрочнение матрицы: измельчаются зерна феррита или перлита, что повышает твердость.

Технологические режимы.

1. Сила деформирования. При статических методах обработки применяются пониженные силы прижатия инструмента во избежание выкрашивания.
2. Ограничение натягов. Для методов ППД, предусматривающих постоянный контакт с обрабатываемой поверхностью, величина натяга при раскатывании жестко лимитируется.
3. Высокие требования к СОЖ. Требуется обильный полив для вымывания графитовой пыли.
4. Контроль шероховатости. Исходная поверхность должна быть чистой, иначе дефекты могут быть закатаны в поверхностный слой детали.

Влияние на свойства чугуна.

1. Рост износостойкости. Износостойкость деталей возрастает в 1,5–2 раза.
2. Снижение сил трения. Заглаживание выходов графита создает увеличенную опорную поверхность и снижает коэффициент трения за счет свойств графита.
3. Удержание смазки. Микрокапилляры от графита сохраняют способность удерживать масло, что является преимуществом при обработке деталей пар трения, к которым относятся гильзы цилиндров.

Ограничения методов.

1. Опасность шелушения. При перенаклепе, вызванном значительными силами деформирования, поверхностный слой чугуна начинает отслаиваться.
2. Чувствительность к марке обрабатываемого материала. Высокопрочный чугун (с шаровидным графитом) обрабатывается легче серого.
3. Ограничение по глубине. Глубина упрочненного слоя обычно не превышает 0,1...0,25 мм.

УДК 621.787

МЕТОД МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО РАСКАТЫВАНИЯ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

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

В машиностроении ряд деталей изготавливают из высокопрочного чугуна. Так, гильзы цилиндров из высокопрочного чугуна обладают высокой износостойкостью и прочностью, что важно для увеличения срока службы изделия. Для изготовления таких изделий традиционно применяют следующие методы обработки: растачивание, внутреннее шлифование и хонингование. Процесс хонингования позволяет создать на поверхности гильз сетку пересекающихся рисок, необходимых для удержания масла при эксплуатации. Дополнительное чистовое хонингование притупляет вершины рисок, увеличивая площадь опорной поверхности. При всех преимуществах недостаток – длительное время операций.

Для решения этой проблемы предлагается метод магнитно-динамического раскатывания для модифицирования внутренних цилиндрических поверхностей деталей из высокопрочного чугуна, в основе которого лежит комплексное магнитно-силовое воздействие на обрабатываемую поверхность деформирующими шарами и магнитным полем. Деформирующие шары разгоняются в кольцевой камере раскатника под воздействием источников магнитного поля в виде постоянных магнитов. При этом деформирующие шары совершают комбинированное движение как в окружном, так и в радиальном направлениях. Динамическое воздействие на модифицируемую поверхность обусловлено периодическим превышением центробежной силы над магнитной составляющей. Частота магнитного воздействия на деформирующие шары и обрабатываемую поверхность зависит от диаметра детали, количества источников магнитного поля и скорости вращения раскатника и составляет: для деталей диаметром от 50 до 100 мм – от 140 до 2 000 Гц, диаметром св. 100 до 150 мм – от 400 до 3 400 Гц, диаметром св. 150 до 200 мм – от 680 до 4 700 Гц, диаметром св. 200 до 250 мм – от 940 до 6 000 Гц.

Метод магнитно-динамического раскатывания для модифицирования внутренних цилиндрических поверхностей деталей из высокопрочного чугуна позволяет создавать маслоудерживающий микрорельеф на обрабатываемой поверхности, обладающий значительной опорной поверхностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

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

УДК 625.7

ОСОБЕННОСТИ «УМНЫХ ДОРОГ» И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В БЕЛАРУСИ

А. М. СЕРГЕЕВА, Т. А. ПОЛЯКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современные тенденции улучшения качества автомобильных дорог и прилегающих территорий направлены на внедрение новых материалов и интеллектуальных транспортных систем (ИТС), обеспечивающих быстрое, удобное и безопасное передвижение автомобилей.

Наиболее ярким достижением для дорожной отрасли является разработка и внедрение в практику так называемых «умных дорог». Конструкция «умной дороги» включает ряд физических и цифровых компонентов, которые можно объединить в три группы.

Первая – сенсорные элементы. Это датчики, собирающие информацию об интенсивности движения и составе транспортного потока, состоянии покрытия и его температуре, а также погодных условиях. Получаемые данные необходимы для предотвращения образования заторов и возникновения аварийных ситуаций.

Вторая – системы связи. Здесь выделяют технологии 5G, RFID, DSRC и каналы связи с малым радиусом действия, которые позволяют мгновенно передать данные с дороги на бортовой компьютер автомобиля.

Третья – инновационные энергетические установки. Они позволяют заряжать электромобиль во время движения, использовать солнечные панели для освещения, как элементы покрытия, и для защиты от шума.

Проекты с использованием элементов «умной дороги» реализованы во многих странах мира, включая Беларусь. Например, летом 2025 г. на участке трассы Р-39 Рогачев – Жлобин по осевой и краевым линиям разметки вмонтировали маячки, которые днем заряжаются от солнца (система полностью автономна), а в темное время превращают эти линии в светящийся контур. Маячки обеспечивают видимость границ полос движения не только при хороших погодных условиях, но и при таких явлениях, как туман и ливень.

Предлагаем в ближайшее время внедрить на дорогах Беларуси машиночитаемые дорожные знаки с использованием инструмента HD-картографии и QR-кодов, которые преобразуют визуальные дорожные знаки в структурированные данные и дают ссылку на соответствующий пункт ПДД, что в целом повысит безопасность движения.

Развитие «умных дорог» будет направлено на оборудование отдельных полос движения плотной сетью датчиков для беспилотных автомобилей. В долгосрочной перспективе умные дороги могут стать платной услугой премиум-класса, обеспечивающей гарантированное время прибытия и безопасность, в то время как обычные дороги останутся бесплатной, но менее эффективной альтернативой.

УДК 536.2:519.63:004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

Х. СОЛТАНОВ
Национальный институт образования Туркменистана
Ашхабад, Туркменистан

Численное моделирование температурных полей применяется при проектировании теплообменных аппаратов, электронных устройств, элементов энергетического оборудования и конструкций из материалов с различными теплофизическими свойствами. Метод конечных разностей (МКР) позволяет заменить дифференциальную задачу системой алгебраических соотношений и реализовать вычислительный эксперимент в MATLAB. Двумерные задачи теплопроводности остаются актуальным объектом развития разностных методов, включая высокоточные и нелинейные постановки [1, 2].

Рассмотрим нестационарное распределение температуры $T(x,y,t)$ в однородной прямоугольной пластине без внутренних источников тепла:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right), \tag{1}$$

где a – коэффициент температуропроводности, $a = \lambda/\rho c$.

Для равномерной сетки $\Delta x = \Delta y = h$ явная схема FTCS имеет вид

$$T_{i,j}^{n+1} = T_{i,j}^{n} + r\left(T_{i+1,j}^{n} + T_{i-1,j}^{n} + T_{i,j+1}^{n} + T_{i,j-1}^{n} - 4T_{i,j}^{n}\right), \tag{2}$$

где $r = a\Delta t/h^2$.

Для двумерной явной схемы при одинаковом шаге по координатам условие устойчивости имеет вид $r \le 1/4$. Оно непосредственно связывает пространственное и временное разрешение модели.

Вычислительный эксперимент выполнен для квадратной пластины $0{,}10 \times 0{,}10$ м при $a = 1{,}0\cdot 10^{-4}$ м^2/с, $h = 0{,}01$ м и $\Delta t = 0{,}20$ с. В этом случае $r = 0{,}20$, что удовлетворяет условию устойчивости. Начальная температура внутренних узлов принята равной 20 °C; на границах заданы постоянные температуры: слева – 100 °C, справа – 40 °C, сверху – 60 °C, снизу – 20 °C. Расчёт реализуется последовательным обновлением матрицы температуры в MATLAB; аналогичные 2D FTCS-модели используются для визуализации теплопроводности.

Численный расчёт показывает постепенное распространение тепла от наиболее нагретой левой границы к внутренней области. Температура центрального узла составляет 21,9 °C при $t = 2$ с, 47,4 °C при $t = 10$ с, 54,9 °C при $t = 30$ с. Поле на рис. 1 имеет выраженный двумерный характер: на значение T одновременно влияют условия по координатам x и y. Полученные числа являются результатом указанного модельного эксперимента, а не натурных измерений.

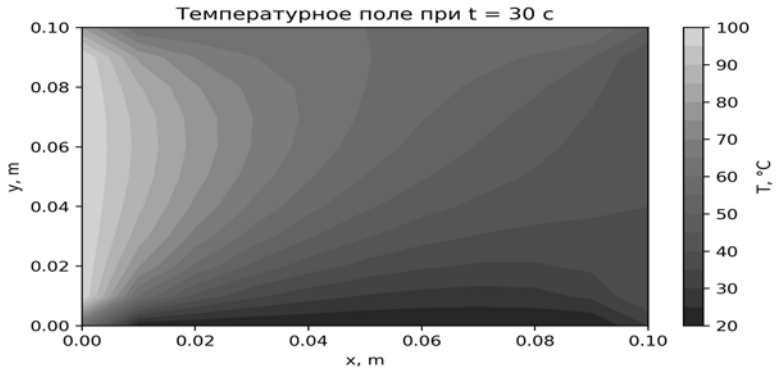


Рис. 1. Температурное поле пластины при $t = 30$ с

Преимущество МКР состоит в прозрачной связи между физической постановкой, сеткой и алгоритмом. Изменяя *a*, граничные температуры, h и Δt, можно исследовать скорость выравнивания температуры и чувствительность результата к параметрам. При уменьшении h явная схема требует соответствующего уменьшения Δt, что увеличивает вычислительные затраты. Для более крупных временных шагов целесообразно переходить к неявным схемам или схеме Кранка – Николсона; современные исследования 2D теплопроводности развивают компактные схемы повышенного порядка и эффективные алгоритмы решения [1].

Развитие модели связано с учётом внутренних источников $Q(x,y,t)$, температурной зависимости $\lambda(T)$, неоднородности материала и конвективного теплообмена на границах. Для нелинейной двумерной теплопроводности с температурно-зависимой теплопроводностью применяются комбинированные численные методы, ориентированные на повышение точности и устойчивости длительного моделирования [2].

Таким образом, метод конечных разностей позволяет построить наглядную цифровую модель двумерного температурного поля и исследовать влияние теплофизических и сеточных параметров. MATLAB обеспечивает удобное матричное представление $T(x,y,t)$, автоматизацию временного цикла и визуализацию результатов. Предложенная модель может служить базой для анализа тепловых режимов инженерных объектов и дальнейшего перехода к неоднородным и нелинейным задачам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fourth-Order Compact Finite-Difference Scheme with Discrete Sine Transform for Solving 2D Heat Conduction Equation with DBCs // Mathematics. – 2026. – Vol. 14, № 6. – Art. 949.

2. **Sun, W.** A hybrid numerical method for non-linear transient heat conduction problems with temperature-dependent thermal conductivity / W. Sun, H. Ma, W. Qu // Applied Mathematics Letters. – 2024. – Vol. 148. – Art. 108868.

УДК 620.179.152.1:004.932.2

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ РАДИОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ФОРМАТЕ DICONDE

А. В. СУДАРЕВ, В. С. КУВШИННИКОВ, Е. Е. КОВШОВ
АО «НИКИМТ-Атомстрой»
Москва, Россия

Внедрение цифровых технологий, в частности искусственных нейронных сетей (ИНС), в отрасль радиационного неразрушающего контроля значительно затруднено отсутствием достаточного количества датасетов и обучающих выборок [1]. Однако помимо количества обучающих данных необходимо обеспечить их качество и релевантность.

В [2] предложены общий подход к детерминированной оценке качества радиографических изображений в формате DICONDE и структура данных для хранения фактографической информации. Подход предполагает проверку целостности тегов (метаданных), расчет объективных метрик изображения – сигнал-шум (SNR – Signal-to-Noise Ratio) и контраст-шум (CNR – Contrast-to-Noise Ratio) – и применение классических алгоритмов компьютерного зрения для сегментации стандартных объектов: индикаторов качества изображения (ИКИ), ограничительных меток и маркировочных знаков. Для финализации системы автоматизированной оценки качества детерминированными методами необходимо разработать модуль, оценивающий различимость минимального видимого элемента ИКИ.

Нормативная документация, регламентирующая проведение радиационного неразрушающего контроля, в вопросах оценки качества радиографических изображений опирается на зрительную систему человека. При этом объективный критерий вводится только для двухпроволочного эталона чувствительности, что позволяет автоматически определить различимость каждой проволочки в паре. Оценка проволочного, канавочного и пластинчатого ИКИ остается субъективной и требует разработки объективного критерия. Задача оценки различимости объектов на изображениях в целом является нетривиальной и зависит от ряда факторов: интенсивности фона и объекта, размера объекта, пространственного разрешения изображения и особенностей работы зрительной системы отдельных индивидов.

Для формализации различимости объектов сформирована выборка из 16 смоделированных изображений. Каждое изображение содержит однородный фон с известной интенсивностью и 9 объектов, отличающихся от фона на заданную интенсивность и имеющих предопределенные размеры. Различимость объектов на каждом фоне определяли методом экспертных оценок: эксперты оценивали объекты по трехбалльной шкале, где 0 – «не видно», а 2 – «отлично видно». Результаты опроса агрегированы с помощью языка программирования Python и библиотеки для работы с данными Pandas (рис. 1).

Для оценки качества эксперимента рассчитана согласованность экспертов. В качестве метрики выбрана альфа Криппендорфа – мера согласия между экспер-

тами при кодировании набора единиц анализа несколькими значениями. Значение метрики составило 0,767, что свидетельствует о достаточно высокой степени согласованности между экспертами и качественном проведении эксперимента.

	bg	intensity	width	Эксперт_1	Эксперт_2	Эксперт_3	Эксперт_4	Эксперт_5	Эксперт_6	Эксперт_7	Эксперт_8	Эксперт_9	mean_score	sum_score
0	30	1	5	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1.444444	13
1	30	1	3	0	2	2	2	1	1	2	2	1	1.444444	13
2	30	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0.777778	7
3	30	2	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.000000	18
4	30	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.000000	18

Рис. 1. Структура данных для обработки результатов метода экспертных оценок

Для определения среднего значения оценок, соответствующего порогу различимости, рассчитан одновыборочный критерий Вилкоксона и на его основе определена статистическая значимость оценок для каждого объекта. Зависимость доли статистически значимых объектов от различных значений порога приведена на рис. 2.

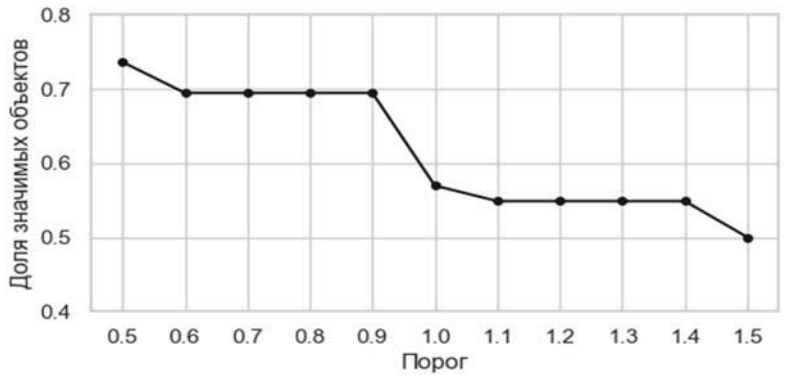


Рис. 2. Зависимость доли статистически значимых объектов от порога различимости

Исходя из графика, выбран порог различимости, равный 0,9. Полученное значение позволяет разделить исходные данные на два класса (0 – «не видно», 1 – «видно») и обучить на них бинарный классификатор, например логистическую регрессию. После обучения F1-мера логистического регрессора оказалась равной 0,9369, что говорит о высокой способности классификатора различать классы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Корчагин, В. Д.** Критериальный анализ моделей обработки данных радиационного неразрушающего контроля / В. Д. Корчагин, В. С. Кувшинников, Е. Е. Ковшов // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12, № 4. – С. 23–31.

2. **Сударев, А. В.** Инструментальные методы и средства автоматизированной оценки качества радиографических изображений в формате DICONDE / А. В. Сударев, В. С. Кувшинников, Е. Е. Ковшов // Контроль. Диагностика. – 2025. – Т. 28, № 12. – С. 30–39.

УДК 621.787

КОМБИНИРОВАННАЯ МАГНИТНАЯ И УДАРНО-ДЕФОРМАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ВАЛОВ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

И. А. ТАРАДЕЙКО, С. А. СУХОЦКИЙ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Долговечность современных машин различного технологического назначения во многом определяется эксплуатационными свойствами входящих в них ответственных деталей. Непрерывно возрастающие требования по повышению технико-экономических показателей работы машин привели к резкому росту действующих нагрузок, вибраций, сил и скоростей скольжения в узлах трения и, как следствие, к повышенному износу ряда ответственных деталей.

В работе современных технических систем для передачи вращательного движения в большинстве случаев применяются сплошные и полые валы, к рабочим поверхностям которых предъявляются высокие требования по износостойкости, усталостной прочности и коррозионной стойкости. Достаточно широкая номенклатура таких валов различного целевого назначения изготавливается на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь в условиях мелко- и среднесерийного производства в количестве более 20 % общего объема выпускаемых изделий.

Анализ литературных источников показывает, что существенным резервом повышения долговечности машин является применение технологий модифицирования поверхностного слоя входящих в них деталей, в том числе валов различного назначения, включая технологии динамического поверхностного пластического деформирования, позволяющих повысить характеристики качества и эксплуатационные свойства упрочненного поверхностного слоя [1, 2]. Однако традиционные методы динамического поверхностного пластического деформирования (вибронакатывание, центробежно-ударная, пневмовибродинамическая обработки и др.) исчерпали свои технологические возможности по повышению значений указанных параметров. В связи с этим сегодня требуется разработка новых инновационных методов модифицирования поверхностного слоя деталей машин, основанных на комбинации энергетических воздействий, обеспечивающих формирование упрочненного поверхностного слоя с уникальными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Предложен новый метод модифицирования поверхности комбинированной магнитной и ударно-деформационной обработкой, предназначенный для упрочнения поверхностей валов широкой номенклатуры с различными диаметральными размерами, изготавливаемых в условиях мелко- и среднесерийного

производства на предприятиях машиностроительного комплекса Республики Беларусь [3].

Согласно методу, вращающуюся поверхность вала последовательно упрочняют: в начале – смещаемым в осевом направлении импульсным магнитным полем; затем – совмещенной отделочно-упрочняющей обработкой ударным деформированием и импульсным магнитным полем, подводимым в очаг деформации ферромагнитными деформирующими шарами инструмента при их периодическом контакте с деталью; в конце – переменным магнитным полем (с изменением направления силовых линий), создаваемым индуктором инструмента. При осуществлении инновационного метода модификации поверхности обеспечивают магнитное воздействие на упрочняемую поверхность вала с индукцией 0,05...1,2 Тл с частотой от 120 до 1 600 Гц [3, 4].

Комбинированная обработка валов разработанным способом позволяет снизить шероховатость упрочненных поверхностей по параметру *Ra* с 6,8...1,4 до 0,3...0,1 мкм [5], получить рельеф в виде сетки пересекающихся микролунок [6], увеличить глубину модификации поверхностного слоя в 1,6–3,1 раза, сформировать наноструктурированный поверхностный слой толщиной до 4,5 мкм [7] и повысить износостойкость поверхностей в 2,5–4,1 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Довгалев, А. М.** Магнитно-динамическое и совмещенное накатывание поверхностей нежестких деталей : монография / А. М. Довгалев. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2017. – 266 с.

2. **Торбило, В. М.** Методы обработки поверхностным пластическим деформированием : учеб. пособие / В. М. Торбило. – Пермь : ППИ, 1975. – 48 с.

3. Патент BY 23295, МПК B24B 39/04 (2006.1). Способ комбинированной отделочно-упрочняющей обработки наружной цилиндрической поверхности детали : № a 20180518 : заявлено 17.12.2018 : опубл. 30.08.2020 / Довгалев А. М., Тарадейко И. А. ; заявитель Бел.-Рос. ун-т. – 7 с.

4. Патент BY 23127, МПК B24B 39/04 (2006.1). Устройство для отделочно-упрочняющей обработки наружной поверхности вращения : № a 20180534 : заявлено 26.12.2018 : опубл. 30.08.2020 / Довгалев А. М. , Тарадейко И. А. ; заявитель Бел.-Рос. ун-т. – 4 с.

5. **Шелег, В. К.** Влияние параметров процесса комбинированной магнитно-динамической обработки на шероховатость поверхности валов / В. К. Шелег, А. М. Довгалев, И. А. Тарадейко // Горная механика и машиностроение. – 2025. – № 3. – С. 25–34.

6. **Шелег, В. К.** Исследование микрорельефа поверхности валов, упрочненных комбинированной магнитно-импульсной и ударно-деформационной обработкой / В. К. Шелег, А. М. Довгалев, И. А. Тарадейко // Горная механика и машиностроение. – 2026. – № 1. – С. 63–73.

7. Инструменты для комбинированной магнитно-динамической обработки поверхности валов / В. К. Шелег, А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа, И. А. Тарадейко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2025. – № 3. – С. 83–91.

УДК 621.83

ЭМПИРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПАРЫ «САТЕЛЛИТ – РОЛИК» МУЛЬТИПЛИКАТОРА

И. В. ТРУСОВ, П. Н. ГРОМЫКО, Н. С. КОРНЕЕВ, А. Д. КОРОВКИНА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Развитие возобновляемой энергетики требует постоянного повышения эффективности и снижения стоимости генерирующего оборудования. Одной из ключевых технических проблем при проектировании ветроэнергетических и приливных установок является несоответствие между низкой частотой вращения природного ротора (10...20 об/мин) и высокими оборотами стандартных электрогенераторов (1 500...1 800 об/мин).

Главным связующим звеном в этой цепи выступают механические мультипликаторы. Они обеспечивают трансформацию колоссального крутящего момента в высокую частоту вращения, позволяя использовать более компактные, легкие и доступные серийные генераторы.

Для расчета параметров зацепления и габаритных размеров элементов мультипликатора необходимо знать величину контактных напряжений в сопрягаемых парах. Формула Герца позволяет рассчитать напряжение, возникающее в месте соприкосновения отверстий сателлита и неподвижных роликов. Она описывает максимальное контактное напряжение σ_H как функцию нормальной силы на единицу длины контакта, модуля упругости и радиусов кривизны.

Предварительно для определения нормальной составляющей силы N_B воспользуемся расчетной схемой сателлитного колеса AB (рис. 1), основанной на уравнении равновесия моментов сил относительно точки A.

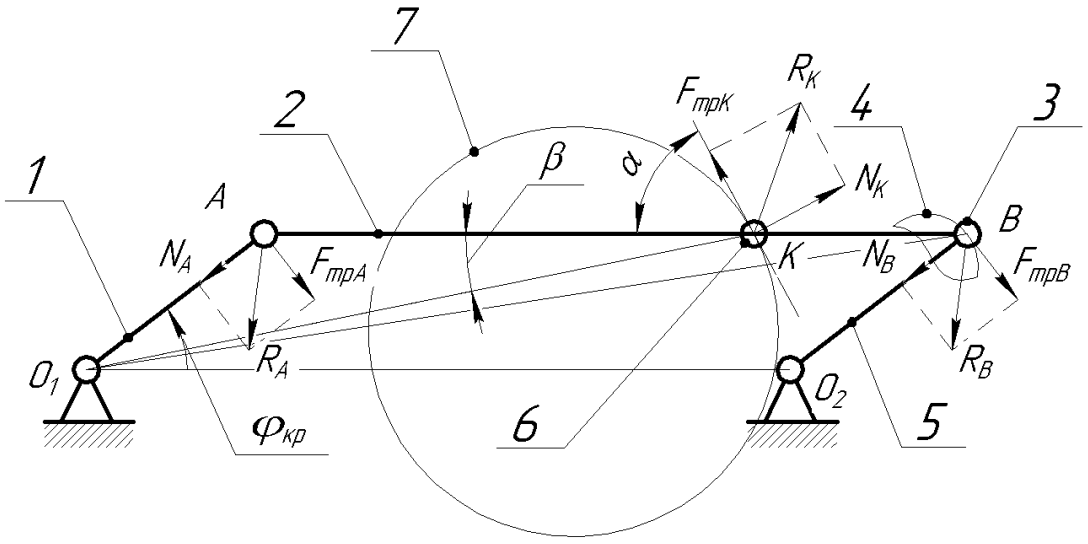


Рис. 1. Схема мультипликатора для определения нормальной силы N_B: *1* – кривошип; *2* – сателлитное колесо; *3* – шарнир *B*; *4* – отверстие неподвижного диска; *5* – дополнительный кривошип; *6* – условная точка контакта зубьев сателлитного колеса; *7* – условный профиль зуба центрального колеса

Тогда контактные напряжения между сателлитом и роликом определяют по зависимости

$$\sigma_H = \left[\left(2 \cdot E \cdot \frac{M_{вых} \cdot r_K}{i \cdot k_z \cdot \sqrt{e^2 + r_K^2 + 2 \cdot e \cdot r_K \cdot \cos\left(\varphi_{кр} + \frac{\varphi_{кр}}{z} \right)} \cdot r_B \cdot \left(\sin\left(\varphi_{кр} \right) + f_{трB} \cdot \cos\left(\varphi_{кр} \right) \right)} \times \right. \right.$$

$$\left. \left. \times \frac{f_{трK} \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)}{\left(f_{трK} \cdot \sin\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{e \cdot \sin \varphi_{кр}}{r_K} \right) \right) + \cos\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{e \cdot \sin \varphi_{кр}}{r_K} \right) \right) \right)} \right) / \pi \cdot L \cdot \rho_{ПР} \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где $M_{вых}$ – крутящий момент на выходном валу; $f_{трB}$ – коэффициент трения в точке B; r_B – расстояние, определяющее длину AB; i – число потоков мощности; k_z – коэффициент, учитывающий многопарность зацепления; $f_{трK}$ – коэффициент трения в точке контакта эксцентрикового зацепления сателлита и центрального колеса; α – угол наклона вектора силы трения относительно горизонтали; e – эксцентриситет, равный длине кривошипа O_1A; r_K – расстояние, определяющее длину AK; z – число зубьев сателлитного колеса; $\varphi_{кр}$ – угол поворота кривошипа O_1A; E – приведенный модуль упругости; L – длина цилиндра или ширина контакта; $\rho_{ПР}$ – приведенный радиус кривизны, который для цилиндра в отверстии равен

$$\rho_{ПР} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 - R_2}; \quad (2)$$

R_1 – радиус цилиндра; R_2 – радиус отверстия сателлита.

Согласно требованию обеспечения контактной прочности должно соблюдаться условие

$$[\sigma_H] > \sigma_H, \quad (3)$$

где $[\sigma_H]$ – допускаемое контактное напряжение.

Полученные зависимости (1)–(3) позволяют определить основные размеры элементов мультипликатора сопрягаемой пары «сателлит – ролик», удовлетворяющие требованиям контактной прочности. Полученные эмпирические данные подтверждены прочностным расчетом методом конечных элементов при компьютерном моделировании указанной контактной пары.

УДК 621.923

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ РАБОЧЕГО БАРАБАНА ШЛИФОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ

Л. Э. ТУРСУНБОЕВ, Х. Н. РАХМОНОВ
Институт механики и сейсмостойкости сооружений
им. М. Т. Уразбаева АН РУз
Ташкент, Узбекистан

В работе выполнен анализ прочности рабочего барабана барабанной шлифовальной машины для кожи. В качестве барабана рассматривается цилиндрический вал, вращающийся под действием груза. В процессе шлифования кожи на поверхность барабана действуют силы трения и иногда неравномерно распределенные нагрузки. Поскольку барабан постоянно вращается, на его стенке возникают центробежная сила, возникающая от вращения, контактное давление с кожей, изгиб от нагрузок, передаваемых на ось барабана, и крутящее напряжение от момента, передаваемого через вал [1]. Поэтому барабан необходимо анализировать как сложную механическую систему.

Рассмотрим небольшую часть вала, представив барабан вращающимся кольцом. Выделим очень маленький элемент радиуса r, толщины a, ширины b. Материал элемента принят однородным, его плотность обозначена через ρ. При вращении на этот элемент действует центробежная сила [2] (рис. 1).

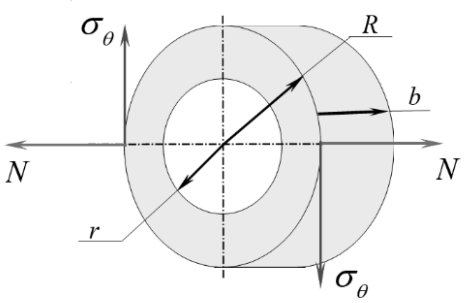


Рис. 1. Схема отрезка от шлифовального барабана: r – внутренний радиус кольца; R – внешний радиус кольца; a – толщина кольца

Элементарная масса

$$dm = \rho \cdot 2\pi r \cdot a \cdot b, \tag{1}$$

где r – радиус; a – толщина; b – ширина; ρ – плотность материала.

В процессе вращения на эту элементарную массу действует центробежная сила инерции [3]. Центробежная сила определяется по законам классической механики и выражается следующим образом:

$$dF_{цб} = dm \cdot \omega^2 \cdot r, \tag{2}$$

где ω – угловая скорость барабана.

$$(1)=>(2) => dF_{цб} = \rho \cdot 2\pi r \cdot a \cdot b \cdot \omega^2 \cdot r = 2\pi\rho \cdot \omega^2 r^2 a \cdot b. \quad (3)$$

На следующем этапе определяется площадь поперечного сечения кольца:

$$A = a \cdot b\,. \quad (4)$$

Под действием центробежной силы в сечении возникают силы внутреннего сопротивления [4], выражаемые касательным (тангенциальным) напряжением. Поэтому нормальная сила в сечении записывается следующим образом:

$$N = \sigma_\theta \cdot a \cdot b, \quad (5)$$

где σ_θ – касательное напряжение.

Поскольку вдоль диаметра кольца имеются две площади сечения, сумма внутренних сил в состоянии равновесия должна быть равна центробежной силе:

$$2N = dF_{цб}; \quad (6)$$

$$2\sigma_\theta \cdot a \cdot b = 2\pi\rho \cdot \omega^2 r^2 a \cdot b; \quad (7)$$

$$\sigma_\theta = \rho \cdot \omega^2 \cdot r^2 \cdot \pi. \quad (8)$$

Уравнение (8) описывает касательное напряжение, возникающее во вращающемся кольцевом элементе под действием центробежных сил [5, 6]. Из формулы видно, что касательное напряжение зависит от плотности материала, угловой скорости и квадрата радиуса и резко возрастает с увеличением скорости вращения. Следовательно, при проектировании высокоскоростных машин эти напряжения необходимо учитывать.

Исследование выполнено за счет бюджетных средств Института механики и сейсмостойкости сооружений имени М. Т. Уразбаева АН РУз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Gere, J. M.** Mechanics of Materials / J. M. Gere, B. J. Goodno. – 8 th ed. – Boston : Cengage Learning, 2012. – 912 p.

2. **Budynas, R. G.** Shigley’s Mechanical Engineering Design / R. G. Budynas, J. K. Nisbett. – 10 th ed. – New York : McGraw-Hill Education, 2015. – 1104 p.

3. **Баранов, В. А.** Технология переработки кожевенного, овчинно-шубного и пушно-мехового сырья : учеб. пособие / В. А. Баранов. – Казань : КГАВМ имени Н. Э. Баумана, 2018. – 56 с.

4. **Бахадиров, Г. А.** Расширение технико-эксплуатационных возможностей шлифовальных материалов / Г. А. Бахадиров, А. М. Набиев, Л. Э. Турсунбоев // Научный журнал по механике и технологии. – 2025. – № 1.

5. **Бахадиров, Г. А.** Техника и технология для обработки кожсырья / Г. А. Бахадиров, Г. Н. Цой, А. М. Набиев. – Новосибирск : Сиб. акад. книга, 2023. – 214 с.

6. **Прушак, В. Я.** Анализ конструктивных особенностей барабанов машин непрерывного действия / В. Я. Прушак, О. Л. Миранович // Наука и техника. – 2007. – № 4.

УДК 656.2:004.94

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА КАК ВИРТУАЛЬНОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ

Р. Ю. УПЫРЬ
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутск, Россия

Переход к организации движения беспилотных грузовых поездов меняет не только технологию управления локомотивом, но и саму логику организации перевозочного процесса. Перед допуском таких поездов на реальную инфраструктуру железных дорог целесообразно иметь среду, позволяющую безопасно и многократно воспроизводить их движение, варьировать условия и оценивать последствия управленческих решений. Эту роль выполняет цифровой двойник железнодорожного участка в концепции виртуального цифрового полигона, воспроизводящего профиль пути, средства сигнализации и технологию организации движения поездов.

В работе представлен опыт разработки цифрового двойника двухпутного перегона, предназначенного для организации движения беспилотных грузовых поездов в среде имитационного моделирования Anylogic [1]. На рис. 1 представлена структурная модель трех блок-участков с трехзначной автоблокировкой, как базового класса для разработки модели железнодорожного участка.

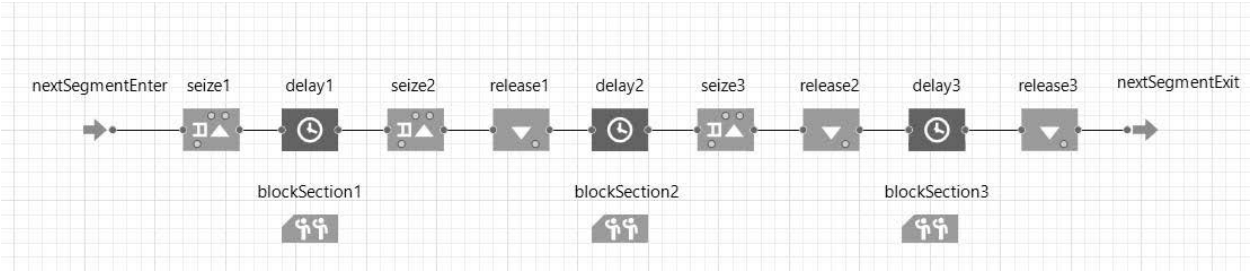


Рис. 1. Структурная модель трех блок-участков с трехзначной автоблокировкой (разработано автором в Anylogic)

Виртуальный цифровой полигон позволяет воспроизводить движение поездов по перегону с учётом реальных ограничений автоблокировки [2], наблюдать динамику заполнения участка и подходов к нему при разных режимах отправления, проверять гипотезы о влиянии интервалов отправления на устойчивость движения без риска для действующей инфраструктуры и служить базой для оценки управленческих сценариев, включая режимы интервального регулирования.

Цифровой двойник не заменяет натурные испытания, а предваряет их, выделяя заведомо неоптимальные варианты и подготавливая обоснованные рекомендации.

Базовая конфигурация модели – двухпутный участок, ограниченный двумя техническими станциями и оборудованный трёхзначной автоблокировкой, по которому организовано движение только грузовых поездов. Участок состоит из 30 блок-участков, длина каждого принята равной 2 000 м, что соответствует типовому диапазону значений в интервале от 1 000 до 2 600 м. Логика организации движения отражает базовые требования автоблокировки, когда в границах блок-участка не может находиться более одного состава. Показания проходных светофоров связаны с состоянием впереди лежащих участков, что и определяет допустимую скорость движения. Такой подход позволяет моделировать движение без остановок на перегоне, сохраняя эффект снижения скорости при ухудшении показаний светофора, что важно, поскольку остановки на перегоне внесли бы в картину дополнительные факторы, не связанные с исследуемой задачей.

На рис. 2 представлена зависимость времени достижения критического рабочего парка технической станции от времени отправления грузовых поездов на перегон.

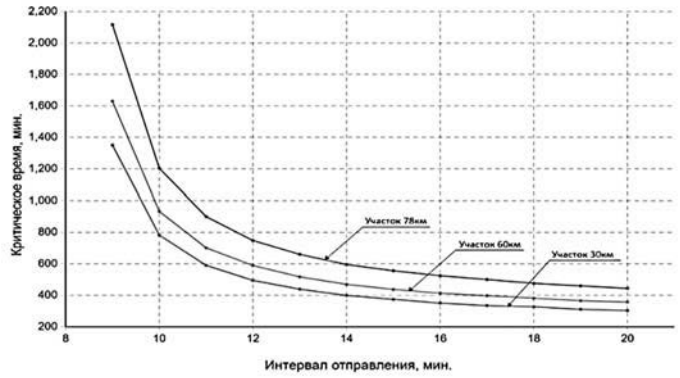


Рис. 2. Зависимость времени достижения критического рабочего парка технической станции от времени отправления грузовых поездов на перегон

Разработанный цифровой двойник позволяет перейти к сценарному анализу влияния интервалов отправления, наблюдать перераспределение вагонного парка между направлениями [3] и определять момент, когда запас вместимости станции оказывается исчерпанным, что делает его полноценным виртуальным полигоном для проверки гипотез о движении беспилотных грузовых поездов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Upyr, R.** Digital twin of railline / R. Upyr // Anylogic-Models. – URL: https://github.com/RomanUpyr/Anylogic-Models (date of access: 17.09.2026).

2. **Хабаров, В. И**. Создание имитационной модели движения поездов с использованием мультиагентного и дискретно-событийного подходов на примере Западно-Сибирской железной дороги / В. И. Хабаров, К. В. Красникова // Известия Транссиба. – 2017. – № 3 (31). – С. 143–154.

3. **Упырь, Р. Ю.** Методика пропуска поездов на ограничивающем перегоне в режиме «Виртуальная сцепка» как задача динамической оптимизации вагонного парка / Р. Ю. Упырь // Известия Транссиба. – 2026. – № 2 (66). – С. 46–53.

УДК 622.73:001

ПРОВЕДЕНИЕ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА В КОНУСНЫХ ДРОБИЛКАХ СРЕДНЕГО ДРОБЛЕНИЯ

Ю. М. ФАДИН, А. А. ОБЕРНИХИН, Е. И. ВЛАСЕНКО, Н. А. КАРТАЛОВ
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

В горнодобывающей и перерабатывающей промышленности ключевую роль играют машины для измельчения горных пород. Среди них особое место занимают конусные дробилки среднего дробления материалов различной прочности.

Эффективность таких дробилок напрямую зависит от качества инженерных расчетов на этапе проектирования и модернизации оборудования. Современные подходы к анализу базируются на применении численных методов и трехмерного моделирования [1].

Конусные дробилки рассматриваемого типа состоят из нескольких основных узлов. В нижней части корпуса размещается эксцентриковый механизм, обеспечивающий колебательные движения рабочего органа. Подвижный дробящий элемент опирается на сферическую опору, а неподвижная броня закреплена в верхней части станины. Передача вращательного движения от электродвигателя осуществляется через конический редуктор.

На сегодняшний день главным инструментом для проведения инженерных изысканий служит метод конечных элементов (рис. 1). Подход реализуется в специализированных программных комплексах, позволяющих создавать детализированные компьютерные модели.

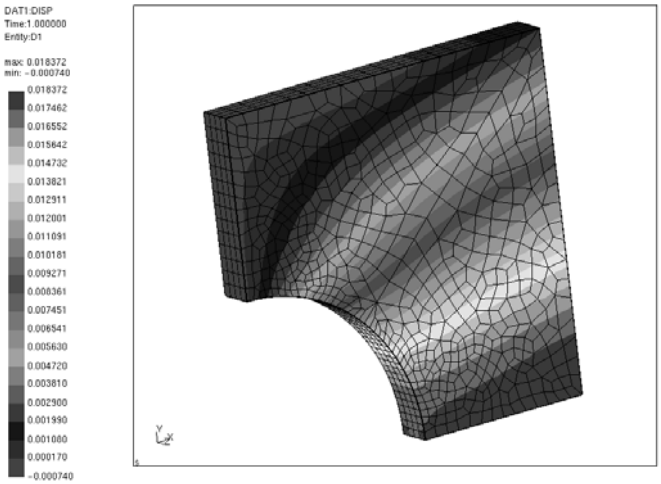


Рис. 1. Метод конечных элементов

Суть метода – разбиение исследуемой геометрии на множество мелких элементов с последующим решением системы уравнений, описывающих поведение конструкции под нагрузкой.

Особое внимание уделяется статическим расчетам, в ходе которых определяются возникающие напряжения, деформационные перемещения и опорные реакции. Такая информация критически важна для оценки работоспособности узлов и выявления зон возможного разрушения.

Разработка расчетной схемы с рассмотрением нескольких рабочих положений механизма; упрощение геометрической модели для оптимизации вычислительных затрат; проведение расчета и сравнение полученных результатов с допустимыми значениями для применяемого материала. Такая методика позволяет конструкторам выявлять слабые места еще до изготовления опытного образца и своевременно корректировать проектную документацию.

Инженерный анализ не ограничивается прочностными задачами. Важнейшее направление – расчет технологических характеристик, определяющих производительность и энергоэффективность дробилки.

Примером удачного решения является внесение изменений в профиль подвижного конуса с добавлением специального выступа у основания. Такое усовершенствование предотвращает преждевременное выпадение плоских кусков породы из рабочей зоны и увеличивает полезный объем камеры [2].

Обработка экспериментальных данных методами математической статистики позволяет получать регрессионные уравнения. Эти зависимости дают возможность определять режимы, обеспечивающие максимальную производительность при минимальных энергетических затратах.

Дальнейшее совершенствование методов инженерного анализа связано с внедрением систем автоматизированного проектирования и цифровых двойников. Активно разрабатываются алгоритмы адаптивного управления, позволяющие в реальном времени корректировать параметры работы агрегата в зависимости от свойств поступающего сырья.

Инженерный анализ конусных дробилок среднего дробления – многогранный процесс, объединяющий прочностные расчеты, математическое моделирование и оптимизационные исследования. Использование современных программных продуктов и численных методов позволяет значительно сократить сроки проектирования и повысить надежность выпускаемого оборудования. Наиболее актуальное направление – развитие цифровых технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Богданов, В. С.** Основные процессы в производстве строительных материалов : учеб. пособие / В. С. Богданов, А. С. Ильин, И. А. Семикопенко. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2008. – 551 с.

2. **Сапожников, М. Я.** Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий : учебник / М. Я. Сапожников. – М. : МАШГИЗ, 1962. – 520 с.

УДК 621.926.54

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВНУТРИКАМЕРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛА В ТРУБНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Ю. М. ФАДИН, Н. В. РАЗИНЬКОВ, А. С. БОЧАРНИКОВА, А. В. ЩИПЦОВ
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Один из основных агрегатов для тонкого измельчения материалов в цементной, горнорудной и химической промышленности – трубные шаровые мельницы [1]. Эффективность их работы во многом определяется качеством внутримельничной классификации – разделения измельчаемого материала по крупности непосредственно в рабочей камере. Недостаточная классификация приводит к переизмельчению материала и образованию застойных зон, что снижает качество готового продукта [2].

В [2] предложено конструктивное решение, устраняющее указанные недостатки за счет усовершенствования внутрикамерных перегородок (рис. 1).

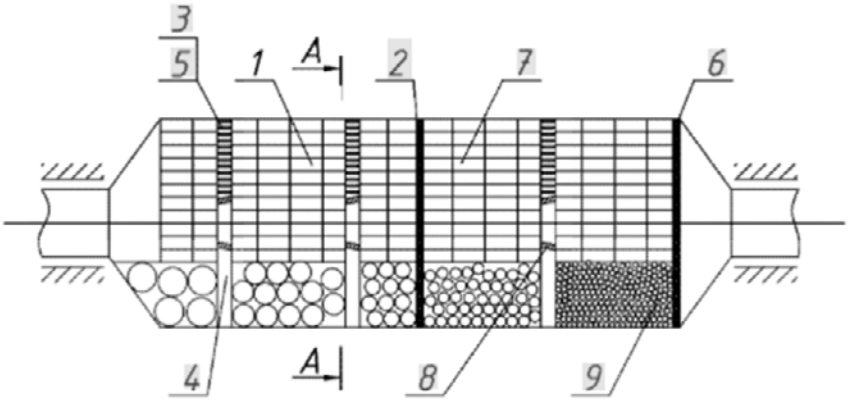


Рис. 1. Поперечное сечение мельницы с полками перегородки: *1* – барабан; *2* – межкамерная перегородка; *3* – перфорированная полка; *4* – сплошная полка; *5* – отверстия в перфорированной полке; *6* – выходная решетка; *7* – футеровка; *8* – конусовидное кольцо; *9* – мелющие тела

Отличительная черта конструкции – внутрикамерная перегородка, которая не дает мелющим телам перемещаться по всей длине корпуса мельницы и включает в себя перфорированные полки *3*; благодаря им подходящий материал по крупности продвигается в следующую камеру для дальнейшего измельчения. Внутрикамерная перегородка включает также сплошные полки *4*: вдоль них крупные фракции поступают обратно на домол; полки одним концом сопрягаются с футеровкой *7*, а другим присоединяются к конусовидному кольцу *8* (рис. 2).

Процесс измельчения может осуществляться в разных режимах, в зависимости от камеры, в которой находится материал. В камере грубого помола мелющие тела совершают свободное падение, а в камере тонкого помола работают в каскадном режиме.

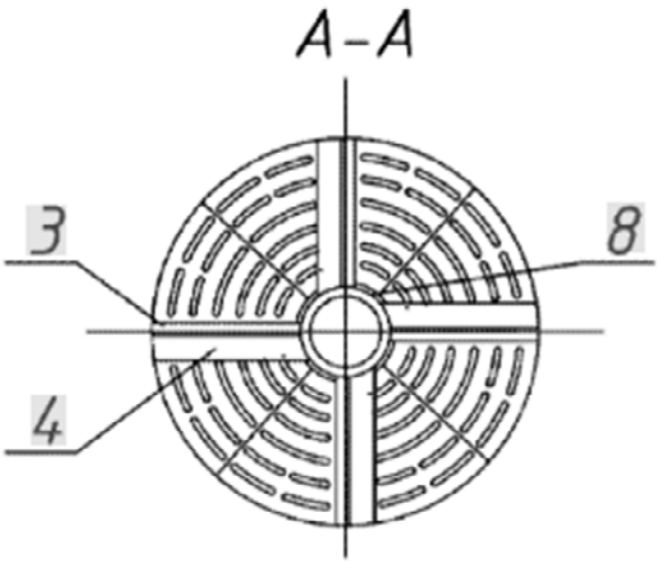


Рис. 2. Разрез *А–А*: *3* – перфорированная полка; *4* – сплошная полка; *8* – конусовидное кольцо

Измельчение происходит за счет удара мелющих тел и их истирания.

Отверстия в перфорированных полках важны: благодаря им материал поэтапно сортируется, поэтому крупные частицы не покидают зону дробления преждевременно.

В результате внутрикамерной классификации материала в ТШМ достигается наиболее эффективное измельчение: благодаря новой конструкции межкамерной перегородки материал разделяется на крупные частицы и частицы, которые снова отправляются на домол. В данном изобретении почти исключен перемол материала, что впоследствии гарантирует стабильный гранулометрический состав конечного продукта. Внутрикамерные перегородки спроектированы так, чтобы предотвратить образование застойных зон в камере, что положительно сказывается на помоле материала [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубная мельница / Ю. М. Фадин, В. Б. Герасименко, О. С. Василенко [и др.] // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов : межвуз. сб. ст. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2019. – Вып. XVIII. – С. 481–484.

2. **Фадин, Ю. М.** Внутрикамерные перегородки трубной шаровой мельницы / Ю. М. Фадин, Е. В. Лазько, Д. А. Якимов // Наукоемкие технологии и инновации (XXIV научные чтения). – 2021. – С. 266–269.

3. Патент RU 199892 U1, МПК B02C 17/00. Трубная шаровая мельница : № 2020116511 : заявлено 20.05.2020 : опубл. 24.09.2020 / Юдин К. А., Тимашев М. В., Лазько Е. В., Ромашова Е. А., Фадин Ю. М. ; заявитель Белгород. гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова. – 6 с.

4. Внутримельничная классификация материала в трубной шаровой мельнице / Е. В. Лазько [и др.] // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, Белгород, 1–20 мая 2019 г. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2019. – С. 1670–1674.

УДК 621.926.5

КОНУСНО-ВОЛНИСТАЯ КАБЛУЧКОВАЯ ФУТЕРОВКА В ТРУБНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Ю. М. ФАДИН, Н. В. РАЗИНЬКОВ, А. В. ЩИПЦОВ, И. М. ЯКШИН
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Трубная мельница – ключевой агрегат технологических линий цементной, горно-обогатительной, химической и строительной промышленности. Ее широко применяют для помола клинкера, гипса, шлака, известняка, руд цветных и черных металлов, а также для приготовления суспензий и шламов. Для увеличения срока службы мельницы в нее устанавливают футеровку – защитную облицовку внутренней поверхности барабана. Футеровка выполняет две основные функции – защитную и технологическую.

Защитная функция: футеровочные плиты защищают металлический корпус барабана от преждевременного износа, вызванного интенсивным абразивным воздействием измельчаемого материала и мелющих тел (шаров). Без защитного слоя корпус мельницы быстро истончится, что приведет к нарушению герметичности и последующему выходу из строя.

Технологическая функция – управление режимом движения мелющей загрузки: профиль футеровочных плит определяет характер движения шаров внутри барабана (каскадный, водопадный или смешанный). Правильно подобранный профиль обеспечивает подъем мелющих тел на необходимую высоту для последующего удара по материалу, что положительно сказывается на производительности мельницы.

На рис. 1 и 2 представлена конусно-волнистая каблучковая футеровка [1].

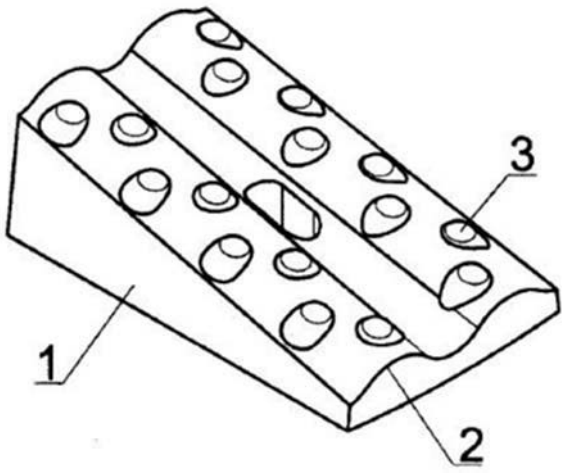


Рис. 1. Конусно-волнистая каблучковая футеровка (вид сбоку): *1* – плита; *2* – волна; *3* – конусно-сферический каблучок

Футеровка выполнена в виде плиты переменного сечения с двумя волнами, скаты которых расположены по её длине и обеспечивают распределение мелю-

щих тел с уменьшающимся размером в направлении движения материала. На скатах волн в шахматном порядке выполнены конусно-сферические каблучки – бугорки с углом при вершине 78°...80° (рис. 3).

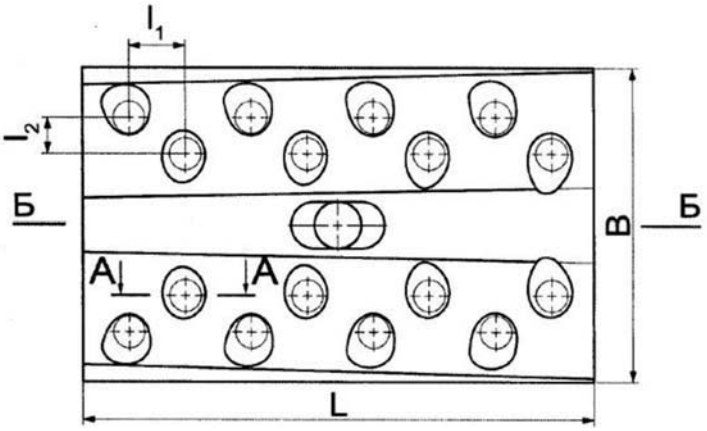


Рис. 2. Конусно-волнистая каблучковая футеровка (вид сверху)

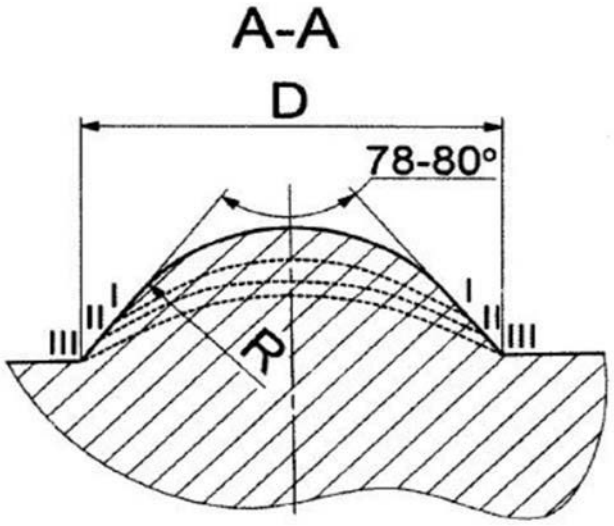


Рис. 3. Каблучок в сечении

Такая геометрия каблучков способствует равномерному износу рабочей поверхности по всей высоте каблучка, предотвращает заклинивание мелющих тел между элементами футеровки и обеспечивает свободное прокатывание шаров максимального диаметра, что уменьшает проскальзывание мелющих тел по поверхности плиты и износ футеровки.

Применение такой футеровки положительно сказывается на долговечности и эффективности мельницы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент RU 160708, МПК B02C 17/18. Конусно-волнистая каблучковая футеровка барабанной шаровой мельницы : № 2015132536 : заявлено 01.09.2015 : опубл. 27.03.2016 / Богданов В. С., Фадин Ю. М., Латышев С. С., Хахалев П. А., Харин Н. П. ; заявитель Белгород. гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова. – 8 с.

УДК 621.9

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДОГРЕВА КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА ИХ СЫПУЧЕСТЬ

А. С. ФЕДОСЕНКО, В. А. БЕЛЯКОВИЧ, С. А. СУХОЦКИЙ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Плазменное газотермическое напыление керамических материалов позволяет формировать покрытия с комплексом ценных свойств: высокой износостойкостью, термической стабильностью, коррозионной стойкостью и низкой электропроводностью. Помимо этого, использование современных методов напыления, таких как суспензионное плазменное напыление, позволяет получать слои, отличающиеся низкой шероховатостью и высокой плотностью, что обеспечивает дополнительное повышение их эксплуатационных характеристик.

Благодаря низкому коэффициенту трения и высокой износостойкости покрытия на основе Al_2O_3 востребованы для упрочнения поверхностей, подверженных абразивному воздействию и интенсивному трению. Их наносят на валы, плунжеры, направляющие, ролики, лопатки, гребные винты и другие детали, эксплуатирующиеся в экстремальных условиях.

Для повышения эффективности нанесения плазменных керамических покрытий прибегают к различным технологическим приемам, включая использование материалов в виде суспензий, применение шнуровых материалов и другие, что во многом обусловлено сложностью подачи порошка в высокотемпературный поток. Это связано с физическими и реологическими характеристиками материалов: для напыления необходимы мелкодисперсные порошки, склонные к комкованию, зависанию в дозирующих устройствах и застреванию в подающих каналах и т. д.

В ходе лабораторных исследований было установлено, что предварительная обработка керамического порошка, основанная на введении органической добавки с последующей сушкой и прокаливанием при температуре до 350 °С, позволяет существенно увеличить сыпучесть материала.

Исследования проводили на композициях состава Al_2O_3–13 % TiO_2. Использовали порошок оксида алюминия со средним размером частиц 24 мкм и диоксид титана с размером частиц не более 0,5 мкм.

Сыпучесть изучали по углу естественного откоса, поскольку стандартный метод с воронкой Холла в данном случае неэффективен по ряду причин. Для определения изменения угла естественного откоса с изменением температуры использовали платформу диаметром 50 мм и стальной цилиндр. Цилиндр устанавливали на платформу, а в образовавшуюся полость засыпали исследуемый порошок. Разборную емкость помещали в печь. После нагрева в течение 30 мин ее извлекали из печи и устанавливали на горизонтальную поверхность, медленно поднимали цилиндр – порошок свободно высыпался на платформу, образуя конусообразную горку с определенным углом естественного откоса.

Исследования показали, что повышение температуры порошка существенно изменяет его реологические характеристики. Это выражается в переходе из состояния несыпучего материала с углом откоса относительно горизонтали более 50° (рис. 1, *а*) в хорошо текучий, угол естественного откоса в котором составляет менее 40° (рис. 1, *б*). Существенное снижение угла естественного откоса с повышением температуры, вероятно, связано с уменьшением сил взаимодействия между отдельными керамическими частицами – об этом свидетельствует практически полное отсутствие комков в нагретых материалах.

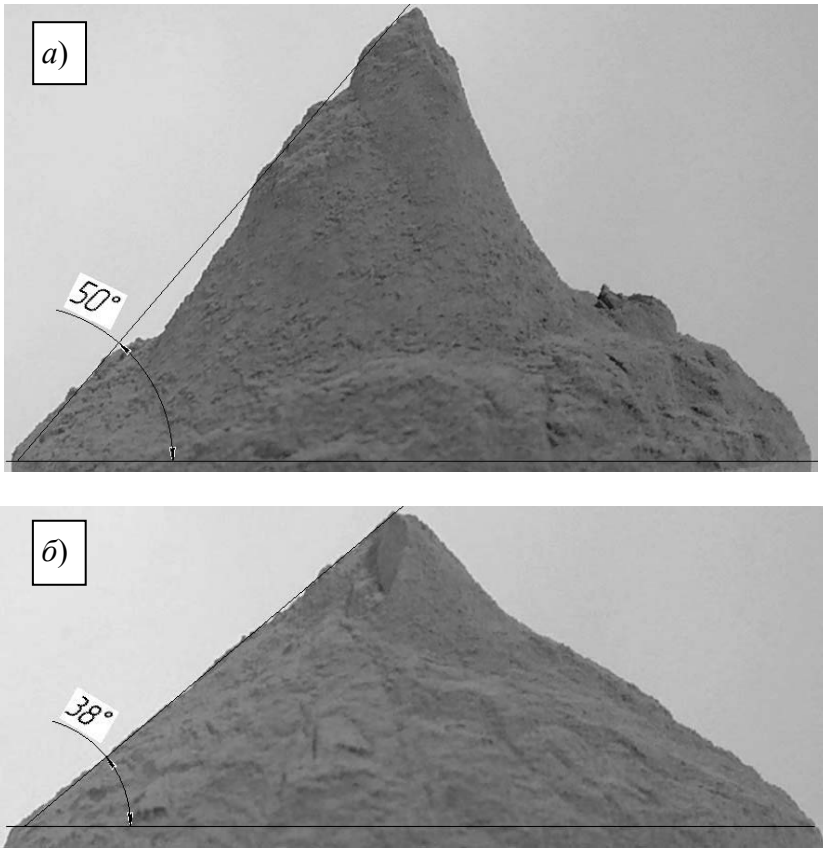


Рис. 1. Изменение угла естественного откоса порошка в зависимости от температуры нагрева: *а* – 100 °С; *б* – 200 °С

Увеличение температуры подогрева материала до 300 °С снижает угол естественного откоса на 38 % по сравнению с углом откоса порошка при комнатной температуре.

Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, однозначно свидетельствуют о высокой эффективности выбранного способа предварительной подготовки композиционных керамических порошков. Его применение на практике позволит увеличить стабильность подачи порошка и значительно расширить химический состав композиционных порошков, которые можно эффективно использовать для формирования слоев плазменным напылением.

Для максимального эффекта от предлагаемой технологии необходимы дополнительные исследования влияния на сыпучесть типа органического вещества и режимов термообработки.

УДК 621.9

ПОРОШКИ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ЖАРОПРОЧНОСТИ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕХАНИЧЕСКИМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

А. С. ФЕДОСЕНКО, А. С. ОЛЕНЦЕВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Жаропрочность позволяет стали сохранять прочность и сопротивляться деформации при высоких температурах в течение длительного времени. В связи с этим данная характеристика является ключевой для деталей, работающих в условиях постоянного нагрева под нагрузкой. Из материалов этой группы изготавливают лопатки, диски и роторы газовых и паровых турбин и авиационных двигателей, теплообменники, реакторы, змеевики установок нефтепереработки и другие изделия, работающие при высоких температурах.

Наиболее часто для улучшения жаропрочности в сталь вводят легирующие элементы, такие как хром (9 %...12 %), молибден, вольфрам, ванадий, ниобий, что позволяет сохранять прочность до 620 °С...650 °С. Современной промышленности требуются материалы, способные работать при более высоких температурах. Это достигается применением сталей с дисперсными включениями термодинамически стабильных упрочняющих фаз – карбидов, оксидов, боридов, нитридов и т. д. При этом наибольшую эффективность показывают оксиды, присутствие которых в стали позволяет сохранять механические свойства сплавов до 750 °С и выше [1].

Перспективными областями применения жаропрочных дисперсно-упрочненных сталей являются аддитивные технологии и лазерная наплавка, в которых зачастую в качестве сырья используются порошки. Материалы можно применять для изготовления готовых изделий или восстановления поверхностей изношенных деталей.

Один из наиболее эффективных методов получения дисперсно-упрочненных материалов – реакционное механическое легирование, позволяющее синтезировать материалы с уникальной структурой и повышенным комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств.

В ходе проведения лабораторных исследований были получены образцы порошков высоколегированных жаропрочных сталей конструкционного назначения, включая марки 20Х12Н2В2МФ, 55Х20Г9АН4, 30Х13Н7С2, 18Х11МНФБ, 30Х13, 15Х1М1Ф. Исследованы гранулометрический состав материалов, микроструктура, а также изменение микротвердости после длительного нагрева при температурах до 900 °С.

Установлено, что при повышении температуры механосинтеза с 20 °С до 80 °С средний размер частиц увеличивается, а количество высокодисперсной фракции (менее 25 мкм) существенно снижается.

Исследование влияния длительности механосинтеза при повышенной температуре (80 °С) на гранулометрический состав низкоуглеродистых сталей

показало отсутствие связи между временем обработки и распределением частиц по фракциям (рис. 1).

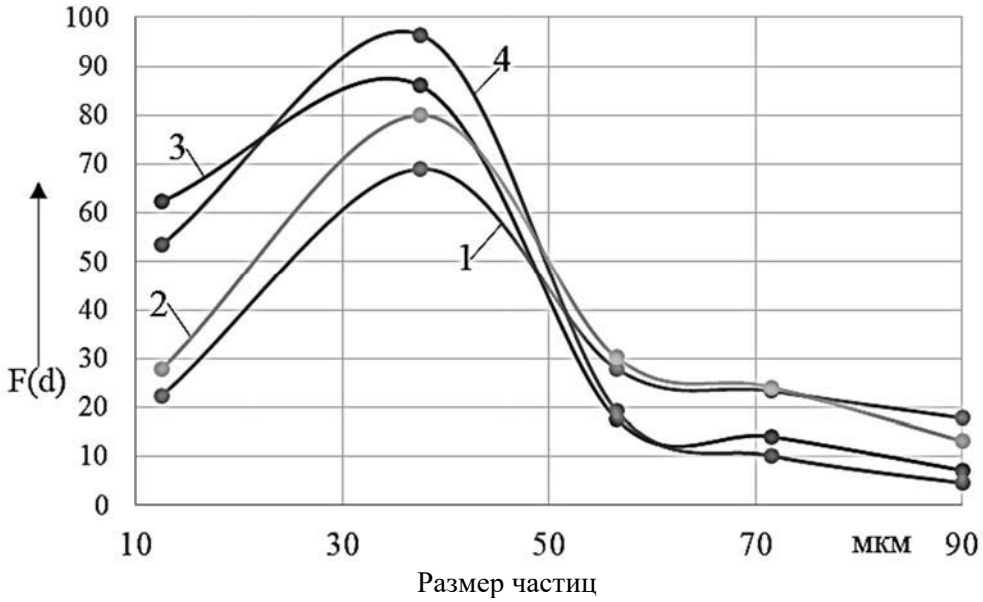


Рис. 1. Влияние длительности механосинтеза на гранулометрический состав синтезируемых порошков: *1*, *2* – сталь 18Х11МНФБ; *3*, *4* – сталь 20Х12Н2В2МФ. Длительность механосинтеза: *1*, *3* – 8 ч; *2*, *4* – 12 ч

В то же время для сталей, содержащих более 0,3 % углерода, характерно смещение среднего размера частиц в сторону мелких фракций.

Микротвердость синтезированных порошков существенно выше, чем у сталей, получаемых классическим металлургическим способом. Независимо от длительности обработки и температуры рабочей камеры ее значение для всех композиций превышает 500 HV_{25}. Нагрев и длительная выдержка при 300 °С сопровождаются повышением микротвердости, что, вероятнее всего, связано с активацией взаимодействия между компонентами в результате увеличения подвижности атомов кристаллической решетки, сопровождающегося распадом пересыщенных твердых растворов и инициацией химических реакций между легирующими элементами. Это, в свою очередь, вызывает развитие комплексного упрочнения – твердорастворное, дисперсионное и дисперсное. Наличие последнего косвенно подтверждается высокой микротвердостью частиц после отжига при 600 °С...900 °С. Ряд образцов сохранил твердость на уровне значений до термообработки.

Частицы порошков имеют плотную однородную микроструктуру независимо от условий обработки и температуры отжига.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ловшенко, Г. Ф.** Наноструктурные механически легированные материалы на основе металлов : монография / Г. Ф. Ловшенко, Ф. Г. Ловшенко, Б. Б. Хина ; под ред. Ф. Г. Ловшенко. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2008. – 679 с.

УДК 621.791.763

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДИССОЦИАЦИИ CO_2 В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБЛАСТИ ДУГОВОГО ПРОМЕЖУТКА ПРИ СВАРКЕ В ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ АТМОСФЕРЕ

Е. А. ФЕТИСОВА, А. О. КОРОТЕЕВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Для изготовления металлических сварных конструкций широко применяется дуговая сварка в защитных газовых смесях на основе углекислого газа. Для данного способа сварки характерно протекание процессов диссоциации CO_2 в высокотемпературной области дугового промежутка с последующим образованием кислорода. Именно эти процессы определяют количество O_2, поступающего в зону сварки. Избыточное содержание кислорода в наплавленном металле может стать причиной ухудшения его механических свойств и снижения эксплуатационной надежности сварного соединения.

Модификация состава защитной газовой среды может изменить характер диссоциации её компонентов, а следовательно, и качественный и количественный состав образующихся продуктов.

В работе проведено термодинамическое моделирование взаимодействия компонентов защитной смеси Ar 82 % + CO_2 18 % + SF_6 с целью определить влияние газообразного модификатора SF_6 на диссоциацию углекислого газа – основного источника кислорода в зоне сварки.

Сложностью при моделировании являлось то, что защитная среда является гетерогенной системой. Поэтому для оптимизации процесса приняты допущения о стационарности среды (без учета движения) и её равномерном нагреве. Моделирование поведения компонентов защитной газовой атмосферы выполняли при помощи программного продукта FactSage, как наиболее обладающего объемом данных по термодинамическим свойствам индивидуальных веществ.

На рис. 1 и 2 представлены результаты термодинамического моделирования части продуктов диссоциации CO_2 в диапазоне температур 500...5 000 К. Данные по составу защитной газовой атмосферы, используемые для моделирования, представлены в табл. 1.

По результатам графического анализа установлено, что в температурном диапазоне 800...3 000 К продукты диссоциации CO_2 (в частности кислород) активно реагируют с парами металлов. Это взаимодействие протекает до температуры 3 000 К, при которой завершается распад компонентов, после чего отмечается резкий рост содержания атомарного кислорода из-за разрушения оксида железа (спад кривой FeO(c)).

Повышение количества газообразного модификатора SF_6 в составе защитной атмосферы Ar 82 % + CO_2 18 % в температурном диапазоне 1 000...3 000 К приводит к росту молярной доли диоксида углерода и, как следствие, к снижению содержания CO и FeO(c). Данный эффект обусловлен взаимодействием

продуктов диссоциации SF_6 с влагой окружающего воздуха, инжектируемого в струю защитной газовой атмосферы, сопровождающимся связыванием водорода фтором в химически стойкие соединения HF с последующим высвобождением кислорода.

Табл. 1. Состав защитной газовой атмосферы при относительной влажности воздуха 60 %

В массовых долях

Рисунок	SF_6	Ar	CO_2	Пары Fe	N	O	H_2O
1	0	68,112	16,438	13,673	1,236	0,379	0,163
2	0,753	67,573	16,308	13,598	1,229	0,377	0,162

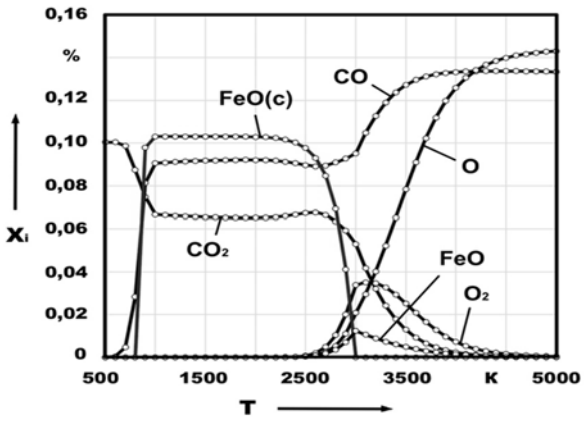


Рис. 1. Результаты термодинамического моделирования равновесного состава газовой смеси в мольных долях (SF_6 отсутствует)

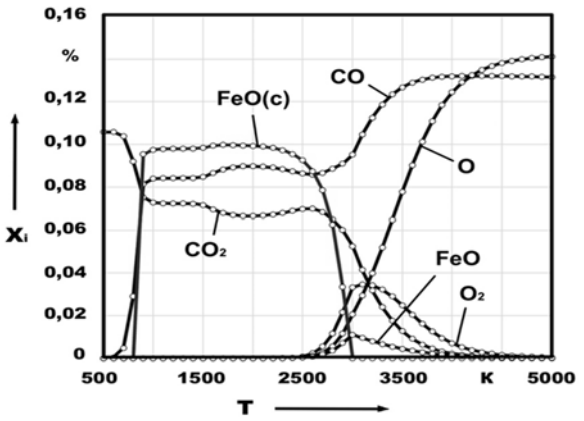


Рис. 2. Результаты термодинамического моделирования равновесного состава газовой смеси в мольных долях (массовая доля вводимого SF_6 – 0,753 %)

Проведено термодинамическое моделирование систем защитной газовой атмосферы Ar 82 % + CO_2 18 % + SF_6 при относительной влажности воздуха 70 % и 80 %. Анализ графических зависимостей показал схожий характер изменения кривых. Отличие отмечено только в количественных значениях образовавшихся продуктов.

По результатам термодинамического моделирования установлено, что введение SF_6 в состав защитной смеси Ar 82 % + CO_2 18 % способствует интенсификации выделения атомарного кислорода в высокотемпературной области дуги, что может увеличить его количество. Однако сера и фтор, входящие в состав гексафторида серы, способны вступать в реакции взаимодействия с кислородом с образованием газообразных соединений, способствующих снижению его окислительной способности по отношению к легирующим элементам, находящимся в расплавленном металле сварочной ванны, что является немаловажным эффектом при сварке высоколегированных сталей.

УДК 621.791

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ И ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ СВАРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ СТАЛИ Р91

М. Н. ФИЛИППОВ
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Актуальность. Жаропрочная сталь Р91 (9Cr-1Mo-V-Nb) широко применяется для изготовления элементов котлов и паропроводов, работающих под давлением пара до 31 МПа и при температурах до 650 °С. Однако эксплуатационный ресурс сварных конструкций из этой стали значительно снижается из-за повышенной диффузионной ползучести, обусловливающей образование трещин III и IV типов в зоне термического влияния (ЗТВ). Одной из ключевых причин трещинообразования является наличие остаточных растягивающих напряжений, возникающих после сварки. Традиционная технология предполагает нормализацию и двойную нормализацию как до, так и после сварки. Однако такой подход не всегда эффективен для снижения уровня остаточных напряжений. Перспективной альтернативой является применение термоциклической обработки (ТЦО) – многократных нагревов и охлаждений в определённых температурных диапазонах.

Цель работы – сравнительное компьютерное моделирование влияния режимов классической нормализации и термоциклической обработки на формирование и релаксацию остаточных напряжений в сварных соединениях труб 48,5 × 5,08 мм из стали Р91.

Методика моделирования. Моделирование выполняли в программном комплексе ANSYS/LS-DYNA с использованием конечно-элементной модели сварного соединения трубы 48,5 × 5,08 мм из стали Р91. Рассмотрены следующие режимы термической обработки.

1. *Классическая обработка*: нормализация или двойная нормализация в диапазоне 20 °С...1 050 °С с выдержкой при 1 050 °С, предсварочный подогрев до 270 °С, многопроходная TIG-сварка в четыре прохода, затем повторная нормализация или двойная нормализация.

2. *Термоциклическая обработка* (*ТЦО*): высокотемпературная трехкратная или пятикратная ТЦО в диапазоне 700 °С...1 050 °С со скоростью нагрева 100 °С/мин и выдержкой при 1 050 °С, сварка, затем высокотемпературная трёхкратная или пятикратная ТЦО [1].

Результаты моделирования. Сравнительный анализ полученных полей остаточных напряжений показал следующее.

Распределение остаточных напряжений после сварки. Моделирование показало, что эквивалентные остаточные напряжения после сварки без термической обработки концентрируются в зоне сварного шва и ЗТВ, достигая максимальных значений порядка 285 МПа. Напряжения распределены асимметрично относительно оси шва: продольная составляющая (в направлении сварки) имеет большее значение и большую зону влияния по сравнению с поперечной.

Влияние классической термической обработки (*нормализации*). Проведение нормализации и двойной нормализации после сварки позволяет снизить уровень остаточных напряжений: для нормализации – до 50 МПа, для двойной нормализации – до 45 МПа. Нормализация не обеспечивает полного снятия растягивающих напряжений в ЗТВ, что сохраняет риск трещинообразования при эксплуатации.

Влияние термоциклической обработки (*ТЦО*). Применение ТЦО демонстрирует более высокую эффективность в снижении остаточных напряжений. Многократные циклы нагрева–охлаждения способствуют более полной релаксации напряжений за счёт активизации диффузионных процессов и перераспределения микронапряжений при фазовых превращениях. Кроме того, ТЦО выравнивает микротвёрдость по сечению соединения, что косвенно свидетельствует о более однородном напряжённом состоянии; снижение напряжений достигает до 35 МПа.

Выводы. На основе результатов компьютерного моделирования можно выделить следующее.

1. Остаточные напряжения после сварки трубы 48,5 × 5,08 мм из стали Р91 концентрируются в зоне шва и ЗТВ, достигают 285 МПа и требуют обязательной досварочной и послесварочной термической обработки.

2. Классическая нормализация и двойная нормализация снижают уровень остаточных напряжений, однако их эффективность ограничена, и они не гарантируют полного устранения растягивающих напряжений в критических зонах.

3. Термоциклическая обработка – более эффективный метод релаксации остаточных напряжений благодаря многократным термическим циклам, способствующим более полному снятию напряжений и выравниванию свойств по сечению соединения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пантелеенко, Ф. И.** Исследование механизма разрушения стали Р91 на ударный изгиб после предварительной термообработки до сварки / Ф. И. Пантелеенко, В. А. Зеленин, А. Л. Миньков // Литье и металлургия. – 2024. – № 4. – С. 85–94.

УДК 629.78

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ГИРОСКОПИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Д. В. ФОМИН, А. Е. ВОРОНКОВ, С. П. КУДАК, Р. А. БУЗИКОВ
Амурский государственный университет
Благовещенск, Россия

К классическим исполнительным органам систем ориентации и стабилизации малых космических аппаратов (МКА) относятся реакционные маховики, широко применяемые для трёхосной стабилизации и точного управления угловым положением спутника. Несмотря на широкое распространение и высокую точность управления, реакционные маховики имеют ряд ограничений [1]. Так, при достижении предельной частоты вращения происходит насыщение маховиков, вследствие чего требуется разгрузка накопленного кинетического момента с помощью дополнительных исполнительных органов. При необходимости увеличить запас кинетического момента маховика одно из возможных решений – повышение его момента инерции, что, как правило, ведет к росту массогабаритных характеристик. Стремление к миниатюризации маховика при сохранении требуемого кинетического момента требует увеличения частоты вращения, что сопровождается ростом энергопотребления. При работе в области малых угловых скоростей могут проявляться нелинейные эффекты из-за трения.

Одно из перспективных направлений совершенствования реакционных маховиков – применение конструкций с изменяемым моментом инерции. Так, в [2] предложены маховики с изменяемой геометрией и перераспределяемой массой, позволяющие изменять кинетический момент не только за счёт повышения частоты вращения маховика, но и за счёт увеличения момента инерции. Такой подход расширяет диапазон регулирования кинетического момента маховика и снижает вероятность насыщения, но усложняет конструкцию.

Другое перспективное направление – миниатюризация силовых гиродинов [3]. В таких исполнительных органах ротор вращается с постоянной частотой, а управляющий момент формируется за счёт изменения направления вектора кинетического момента. Это позволяет создавать значительные управляющие моменты и обеспечивать быстрое выполнение угловых манёвров. Однако применение гиродинов связано с возможностью возникновения сингулярных конфигураций, при которых формирование требуемого управляющего момента в отдельных направлениях становится невозможным.

Ещё одно перспективное направление – реакционные сферы [4]. Такой исполнительный орган содержит сферический ротор, способный вращаться вокруг произвольно ориентированной оси. Управляющий момент формируется

за счёт изменения частоты вращения ротора и направления его оси вращения, что позволяет одному устройству обеспечивать трехосное управление ориентацией МКА. Вместе с тем реализация реакционных сфер связана со сложностью создания привода и системы опор, обеспечивающих свободное вращение ротора вокруг произвольной оси. Так, контактные опоры сопровождаются трением и износом. Аэростатические и гидростатические опоры удерживают ротор без механического контакта благодаря подаче воздуха или жидкости под давлением. Их использование требует дополнительного оборудования для подачи рабочей среды, а в условиях космического вакуума – еще и герметизации системы. Магнитный подвес также позволяет исключить контактное трение, но при его совместном использовании с электромагнитным приводом взаимное влияние полей может создавать возмущающие моменты и усложнять управление вращением ротора.

Наряду с рассмотренными направлениями определенную перспективу имеет совмещение функций управления ориентацией и стабилизацией МКА с регулировкой его центра масс. Для этого авторами предложена конструкция, в которой блок из четырёх реакционных маховиков размещён на подвижной платформе (подана заявка в Роспатент № 2026120850). Электромеханический винтовой привод обеспечивает её движение по направляющим вдоль заданной оси. Перемещение блока позволяет использовать массу исполнительных органов системы ориентации и стабилизации МКА для динамической корректировки положения центра масс.

Таким образом, развитие гироскопических систем МКА связано с расширением их функциональных возможностей при ограниченных массогабаритных и энергетических ресурсах. Выбор исполнительных органов требует учёта точности управления, конструктивной сложности и эксплуатационных ограничений. В частности, предложенную авторами схему целесообразно применять для МКА, требующих компенсации смещения центра масс при движении элементов конструкции вдоль продольной оси аппарата, например при выдвижении объектива камеры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ismail, Z.** A study of reaction wheel configurations for a 3-axis satellite attitude control / Z. Ismail, R. Varatharajoo // Advances in Space Research. – 2010. – Vol. 45, № 6. – P. 750–759.

2. **Keshtkar, S.** Design of New Attitude Control and Momentum Storage device with Variable Moment of Inertia / S. Keshtkar, H. Kojima // 15th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE 2024). – Zagreb : Croatia, 2024.

3. **Gaude, A.** Design and Structural Analysis of a Control Moment Gyroscope (CMG) Actuator for CubeSats / A. Gaude, V. Lappas // Aerospace. – 2020. – Vol. 7, № 5. – Art. 55.

4. **Zhu, L.** Review of reaction spheres for spacecraft attitude control / L. Zhu, J. Guo, E. Gill // Progress in Aerospace Sciences. – 2017. – Vol. 91. – P. 67–86.

УДК 621.762

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ МОДИФИКАТОРОВ ПЕРВОЙ ГРУППЫ, СИНТЕЗИРУЕМЫХ МЕТОДАМИ РЕАКЦИОННОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

А. И. ХАБИБУЛЛИН, Н. Б. КИСЕЛЕВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Метод реакционного механического легирования порошковых композиций позволяет создавать широкий спектр жаропрочных дисперсно-упрочненных материалов на основе различных металлов. Кроме создания жаропрочных материалов, этот метод позволяет создавать порошковую шихту, используемую в качестве модификаторов первой группы при литье различных сплавов. В процессе внутреннего окисления легирующих элементов синтезируются тугоплавкие соединения нанометрических размеров, выполняющие функцию готовых центров кристаллизации. Универсальными тугоплавкими соединениями, применяемыми для литья черных и цветных металлов и сплавов, являются оксиды и нитриды активных металлов, магния или алюминия, являющихся сильными восстановителями.

К основным преимуществам разработанных модификаторов можно отнести следующие показатели. Прежде всего можно указать высокую термодинамическую стабильность синтезируемых соединений, что не позволяет им растворяться в металлической основе и дает возможность выполнять функцию центров кристаллизации. Это свойство позволяет сохранять высокую электропроводность сплавов на основе меди и алюминия: образование твердых растворов резко повышает электросопротивление.

Важным фактором, отличающим разработанную шихту от существующих модификаторов, являются размеры синтезируемых соединений. Ни один из существующих модификаторов не имеет размеров менее 20 нм, а это гарантирует существенное измельчение зерна основы. Синтез химических соединений завершается на стадии литья, что препятствует флотации тугоплавких соединений малой плотности.

К достоинствам процесса нужно отнести дешевизну и доступность исходных материалов, простоту оборудования и всего технологического процесса реакционного механического легирования.

Модифицирование разработанной шихтой отличается экономным расходом материала: для обработки 250 кг расплава стали использовалась шихта с содержанием алюминия в количестве 24 г, что позволило повысить предел прочности стали 45Л на 5,5 %, а относительное удлинение – на 22 %.

Основным недостатком процесса является большая продолжительность обработки шихты, составляющая 6 ч.

УДК 621.926.2

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОПИСАНИЙ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛА ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ РЕШЕТ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКЕ

С. И. ХАНИН, Д. Д. ГАРБУЗОВ
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Одна из основных задач при измельчении материалов в агрегатах различного назначения – своевременный вывод продукта, частицы которого достигли требуемой крупности. Это позволяет снизить переизмельчение, обеспечить требуемую равномерность гранулометрического состава, уменьшить износ рабочих органов машины и удельный расход энергии. С этой целью разработана конструкция молотковой дробилки с камерами дробления, включающими как плоские, так и цилиндрические просеивающие поверхности [1].

Математическое описание процесса классификации материала через отверстия решет, применяемых в камерах рассматриваемого оборудования, позволяет определить рациональные конструктивные и технологические параметры для получения продукта необходимого гранулометрического состава. Существует немало подходов к формированию такого описания.

Феноменологические модели [2] рассматривают процесс классификации с точки зрения переноса всей массы материала без оценки кинематического взаимодействия конкретных частиц друг с другом и решетом. Модель не учитывает геометрические параметры частиц материала и явление изменения живого сечения сита со временем, однако отличается простотой.

Континуально-диффузионные модели [3] позволяют описать перемещение частиц внутри слоя материала. Такие модели содержат допущение, согласно которому частица материала моментально проходит в отверстие сита при контакте с ним, что идет вразрез с реальной кинетикой процесса.

Вероятностно-геометрические подходы описывают процесс классификации с точки зрения вероятности прохождения отдельно взятой частицы материала через квадратную ячейку сита с известными геометрическими параметрами [4]. Данные модели не учитывают фактор стеснённых условий и эффект экранирования частиц мелкой фракции более крупными.

Стохастические модели на основе теории цепей Маркова, напротив, применяются для моделирования стеснённых взаимодействий [5]. Модели, построенные на основе матрицы вероятностей, обладают высокой скоростью расчета, однако не учитывают геометрические размеры частицы.

Модель на основе пуассоновских процессов [6] решает вопрос учета геометрии частицы и позволяет определить вероятность пребывания части-

цы *j*-й фракции на сите. В этой модели геометрия частицы учитывается коэффициентом формы и ориентацией относительно вектора скорости через эллиптические интегралы.

Методика В. Ф. Першина [7] предполагает деление поперечного сечения массива материала на решете на концентрические подслои равной объемной производительности с определёнными радиусами границ. Методика объединяет кинетику отсева с кинетикой сдвиговой сегрегации, но рассчитана преимущественно на гравитационное падение и не учитывает ударные импульсы, характерные для измельчителей ударного действия.

Проведенный анализ существующих математических описаний процесса классификации частиц материала через отверстия плоских и цилиндрических решет позволил сделать вывод о необходимости формирования математического описания процесса классификации материала через просеивающие поверхности разработанной конструкции молотковой дробилки, учитывающего как различную форму и расположение поверхностей просеивания, так и особенности взаимодействия измельчаемого материала с ее рабочими органами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решение о выдаче патента на изобретение от 26.02.2025 по заявке № 2026105147/10(011020) // Официальный сайт Роспатента. – URL: rospatent.gov.ru (дата обращения: 05.09.2026).

2. **Андреев, С. Е.** Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых : учебник / С. Е. Андреев, В. А. Перов, В. В. Зверевич. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1980. – 415 с.

3. **Огурцов, В. А.** Исследование распределения частиц мелкой фракции в слое сыпучего материала на поверхности сита виброгрохота / В. А. Огурцов, А. В. Огурцов, А. Ф. Галиева // Вестник ИГЭУ. – 2008. – № 3.

4. **Левенсон, Л. Б.** Дробление и грохочение полезных ископаемых : учебник для горных втузов / Л. Б. Левенсон, Г. И. Прейгерзон. – М. ; Л. : Гостоптехиздат, 1940. – 772 с.

5. **Алешина, А. П.** Исследование процессов виброгрохочения песчано-гравийных смесей с высоким содержанием частиц мелких фракций : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Алешина Анна Павловна ; Иванов. гос. политехн. ун-т. – Иваново, 2015. – 127 л.

6. **Ахмадиев, Ф. Г.** Стохастическое моделирование процесса разделения зернистых материалов по крупности на ситовых классификаторах / Ф. Г. Ахмадиев, Р. Ф. Гиззятов // Теоретические основы химической технологии. – 2020. – Т. 54, № 5. – С. 554–564.

7. **Першин, В. Ф.** Методы расчета и новые конструкции машин барабанного типа для переработки сыпучих материалов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.04.09 / Першин Владимир Федорович. – Тамбов, 1994. – 428 л.

УДК 627.8:626.01:693.5

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ СХЕМ АРМИРОВАНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ ГАЭС

Н. В. ХАНОВ, Н. В. СЕРМАВБРИН
Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева
Москва, Россия

Напорные водоводы – одни из наиболее ответственных сооружений гидроузлов: при их разрушении может произойти затопление не только здания ГАЭС, но и прилегающей территории. Обоснование новых схем армирования напорных водоводов является важнейшей задачей для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации гидроузлов.

Имеются особые участки сталежелезобетонных напорных водоводов, называемые компенсационными (в зонах перехода напорных водоводов из плотины в здание ГЭС; входные участки в здание ГАЭС свободно лежащих водоводов и др.). В пределах таких участков внутренняя стальная оболочка водовода отделена от окружающего железобетона низкомодульной прокладкой – для обеспечения свободных деформаций при взаимных перемещениях сооружений [1–4].

Действующие нормативные документы практически не содержат положений о компенсационных участках сталежелезобетонных напорных водоводов, в том числе об их армировании. В окружающей внешней железобетонной оболочке, полностью отделенной низкомодульной прокладкой от внутренней стальной, армирование предполагается назначать из конструктивных соображений, а не расчетным путем, поскольку существует ошибочное представление о том, что давление воды полностью воспринимается внутренней стальной оболочкой без передачи на окружающую внешнюю железобетонную оболочку.

В действительности внешняя железобетонная оболочка на компенсационном участке воспринимает часть нагрузки от внутреннего давления воды, в первую очередь вблизи зон начала и окончания расположения низкомодульной прокладки.

Возникла необходимость расчетных исследований напряженно-деформированного состояния и прочности сталежелезобетонных конструкций на компенсационных участках на основе усовершенствованной автором методики – в том числе для обоснования новых схем армирования.

Обоснование новых решений схем армирования сталежелезобетонных конструкций напорных водоводов ГАЭС проводилось на основе математических конечно-элементных моделей в соответствии с усовершенствованной методикой расчетных исследований напорных сталежелезобетонных водоводов, при разра-

ботке которой был учтен опыт моделирования сталежелезобетонных конструкций напорных водоводов [5–8].

Моделировались трещины в железобетонной оболочке водоводов, которые были получены расчетным путем в зонах действия максимальных растягивающих напряжений в бетоне, превышающих сопротивление бетона растяжению. Расчеты проводились итерационным путем. На каждом последующем этапе расчетов выполнялась корректировка конечно-элементных моделей (включая схемы армирования) на основе полученных на предыдущих этапах расчетов результатов.

При моделировании стержневой кольцевой арматуры железобетонной части учитывали нарушение сцепления арматуры с бетоном в зонах раскрывшихся трещин и контактное взаимодействие внутренней стальной и внешней железобетонной оболочек.

Анализ новых решений схем армирования сталежелезобетонного напорного водовода ГАЭС показал, что напряжения во внутренней стальной оболочке и в кольцевой арматуре не превышают нормативных значений сопротивления стали оболочки (345 МПа) и арматуры (500 МПа), что свидетельствует об обоснованности этих схем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Архипов, А. М.** Турбинные водоводы с оболочками, усиленными железобетоном и скальными массивами / А. М. Архипов. – Л. : Энергия, 1973. – 99 с.

2. Исследование напряженного состояния и прочности высоконапорного сталежелезобетонного турбинного водовода при различном армировании железобетонной оболочки / А. М. Архипов, В. М. Власов, А. Г. Линдес, Е. С. Любашевский // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 1988. – Т. 204. – С. 87–93.

3. **Мордовина, А. Н.** Высоконапорные водоводы больших диаметров и их развилки / А. Н. Мордовина, О. И. Зеегофер // Сборник научных трудов Гидропроекта. – 1970. – Вып. 18. – С. 239–245.

4. **Рубин, О. Д.** Расчет прочности напорных водоводов Богучанской ГЭС / О. Д. Рубин, С. Е. Лисичкин // Труды ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 1996. – Т. 232. – С. 433–445.

5. Особенности расчета и проектирования сталежелезобетонных напорных водоводов / С. Е. Лисичкин, О. Д. Рубин, Б. А. Николаев, Н. М. Камнев // Гидротехническое строительство. – 1999. – № 1. – С. 37–44.

6. Расчетная оценка прочности высоконапорных водоводов большего диаметра гидроузла «Три Ущелья» / О. Д. Рубин, С. Е. Лисичкин, Б. А. Николаев, О. Б. Ляпин // Гидротехническое строительство. – 1999. – № 4. – С. 40–45.

7. Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния и прочности сталежелезобетонных напорных водоводов к зданию Зарамагской ГЭС-1 / С. Е. Лисичкин, Д. И. Пономарев, Р. З. Мукашов, С. В. Богаченко // Безопасность энергетических сооружений : науч.-техн. и производств. сб. – М. : НИИЭС, 2010. – Вып. 17. – С. 136–149.

8. Расчетные исследования напорных водоводов и спиральных камер высоконапорных ГЭС / С. Е. Лисичкин, Г. Л. Козинец, А. В. Ивонтье [и др.] // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2011. – Т. 264. – С. 110–118.

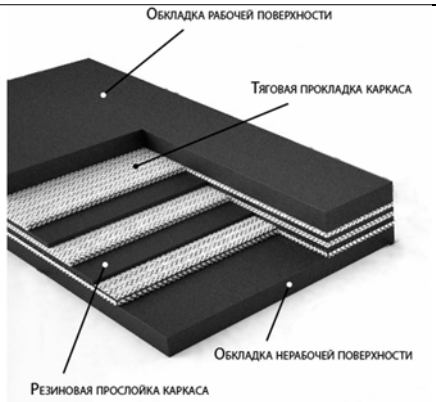
УДК 621.92

ТОНКОСТЕННОЕ РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ АППАРАТОВ

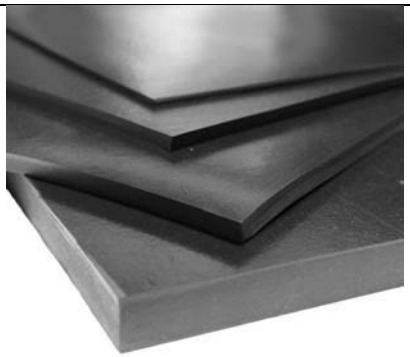
Ю. М. ХАРИТОНОВ, С. Ф. ШАШЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рассматриваемые волновые аппараты предназначены для комплексной переработки сырья и материалов с высокой неоднородностью структуры и физико-механических свойств. Волновые аппараты повышают эффективность процессов как при переработке неоднородных по составу и свойствам материалов (грохот), так и при приготовлении из различных компонентов однородных по качеству смесей с сохранением оптимальной производительности (смеситель), за счет наличия в своей конструкции тонкостенной оболочки, которая выполняет функцию рабочей камеры.

В смесителе тонкостенная оболочка выполняется из гибкого листового (неперфорированного) сплошного материала. В качестве материала можно использовать отрезок конвейерной ленты, резиновое или полиуретановое полотно. Рабочее оборудование смесителя представлено на рис. 1.



конвейерная лента



резиновое полотно



полиуретановое полотно

Рис. 1. Рабочее оборудование смесителя

В грохоте тонкостенная оболочка выполняется из гибкого листового перфорированного материала: плетёного сита из проволоки, резиновых сит, перфо-

рированного металлического листа, полиуретановых сит. Рабочее оборудование грохота представлено на рис. 2.

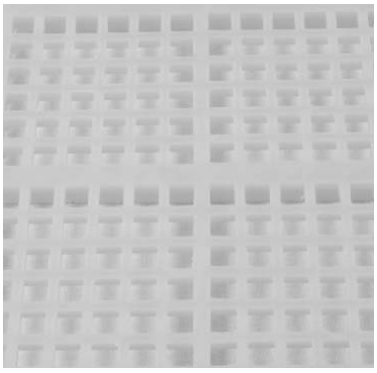
	
плетёное сито из проволоки	резиновые сита
	
перфорированный металлический лист	полиуретановые сита

Рис. 2. Рабочее оборудование грохота

В волновом аппарате, выполняющем функцию грохота, исходный продукт подается в верхнюю часть рабочей камеры, закрепленной на рамке; рамка шарнирно подвешена на раме и совершает качательное движение от кривошипно-шатунного механизма. В рабочей камере происходит разделение готового продукта на подрешётный и надрешётный. Аппарат, выполняющий функцию смешивания, отличается от грохота тем, что его рабочая камера выполняется из гибкого сплошного неперфорированного материала.

Оценивая работу волновых аппаратов, отметим: разделение по крупности (грохочение) применимо при производстве строительных материалов и добыче полезных ископаемых, а перемешивание зернистых материалов (смешивание) – при приготовлении силикатных формовочных смесей или комбикорма. Технические преимущества: низкая металлоёмкость, повышенная удельная производительность, самоочищаемость, отсутствие необходимости в дорогостоящих материалах (броневых плитах, пластинах, твердосплавных элементах) и уплотнительных устройств. Эти волновые аппараты позволяют создавать новые технологические линии и встраивать в уже существующие, повышая эффективность технологических процессов и увеличивая производительность с наименьшими затратами.

УДК 621.833

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗУБЧАТОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ

С. Н. ХАТЕТОВСКИЙ, П. Н. ГРОМЫКО, М. А. ГАЛЮЖИН,
В. М. ПУСКОВА, Е. С. КАСТРИЦА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Оценка контактных напряжений в зубчатом зацеплении играет важнейшую роль в общей методике его проектирования. После синтеза зубчатого зацепления необходимо проверить его работоспособность. Если зубчатое зацепление удовлетворяет заданным критериям, расчет прекращают, в противном случае изменяют параметры зацепления и повторяют анализ. В частности, если в зубчатом зацеплении контактные напряжения превосходят определенный уровень, то такое зацепление не будет удовлетворять требованиям прочности и долговечности. Таким образом, при анализе необходимо иметь предельный уровень контактных напряжений и методику их оценки. Предельный уровень контактных напряжений, как правило, определяется по эмпирическим данным, а методика – по теоретическим исследованиям, которые также требуют экспериментального подтверждения.

Сейчас разработаны методики оценки контактных напряжений для ограниченного числа зубчатых зацеплений, в основном тех, которые стандартизированы и широко используются в технике. Пример – эвольвентное зацепление. В основном эти методики построены на теории Герца и ее производных, таких как теоретические построения Штаермана для точечного контакта зубьев. Заслуживают внимания исследования Литвина, который пришел к результатам, полученным Герцем и Штаерманом, но использовал иной подход. В частности, Литвин доказал, что площадка контакта в зубчатом зацеплении в пределе стремится по форме к некоторой области, ограничивающей зону виртуального бесконечно малого взаимопересечения зубьев.

На наш взгляд, подход Литвина является более общим, а ввиду доступности в настоящее время инструментария метода конечных элементов в среде различных САПР – наиболее перспективным для развития в законченную теорию.

В любом случае теоретические исследования вопроса оценки контактных напряжений в зубчатом зацеплении требуют учета различных эффектов деформации. Например, теория Герца для некоторых случаев контакта формулировалась применительно к бесконечным телам, а в реальности всегда имеем дело с ограниченными телами. В этом аспекте теория Герца должна дополняться краевыми эффектами деформации, что представляет собой труднейшую задачу.

УДК 621.9

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

М. Л. ХЕЙФЕЦ, Н. Л. ГРЕЦКИЙ
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Комплексы технологического станочного оборудования прошли в своем развитии ряд этапов. По сравнению с универсальным станочным оборудованием современное производство, использующее компоненты искусственного интеллекта, позволяет повысить эффективность в десятки раз при обеспечении все более возрастающих требований к качеству продукции.

Началом первого этапа развития технологических комплексов можно обозначить автоматизацию 1970-х гг. на основе числового программного управления (ЧПУ). В постиндустриальных странах с середины 1980-х гг. наметился переход от обрабатывающих центров к гибким производственным системам с элементами интеллектуального производства.

Развитие средств микроэлектроники явилось базой для создания мехатронных систем, которые включают как электромеханическую, так и электронно-управляющую части. Новые этапы развития гибкой автоматизации производственных систем связаны прежде всего с предельной концентрацией средств производства и управления, а также с сокращением сроков конструирования, проектирования, технологической подготовки и изготовления изделий. В результате мехатронные технологические комплексы объединяются в гибридное компактное интеллектуальное производство (CIM – Compact Intelligent Manufacture), основанное на сочетании различных интенсивных, в том числе аддитивных, технологий, прогрессивного оборудования и интегрированной системы управления.

Современный уровень развития информационных технологий в промышленности обеспечил переход к использованию технологий создания, поддержки и применения единого информационного пространства во времени на всех этапах жизненного цикла продукции: от ее проектирования до эксплуатации и утилизации, т. е. к CALS-технологиям (Continuous Acquisition and Life-cycle Support). Единое информационное пространство позволяет разрозненным комплексам компактного производства интегрироваться в виртуальное предприятие, создаваемое из различных пространственно удаленных подразделений, которые обладают единой информационной ERP-системой (Enterprise Resource Planning) для использования в компьютерной поддержке этапов жизненного цикла продукции. После пространственно-временной интеграции производственных процессов и жизненного цикла изделий следуют этапы, обеспечивающие компактность производства на основе технологий аддитивного производства (AM – Additive Manufacturing). Аддитивные технологии синтеза композиционного материала и формообразования изделия обеспечивают высокую эффективность

за счет сокращения длительности и числа производственно-технологических этапов жизненного цикла изделий.

Анализ производства и адресной поставки кастомизированных изделий с учетом внешней и внутренней логистики предприятий можно дополнить прогнозом на ближайшее будущее, которое обусловлено новой парадигмой производства, связанной с промышленным интернетом вещей (IIoT – Industrial Internet of Things) и называемой «Индустрия 4.0». В основе зарождающихся этапов новой эпохи лежит массовая компьютеризация и глобализация интернета. Дальнейшее развитие производства прогнозируют на базе машинного обучения (ML – Machine Learning) и искусственного интеллекта (AI – Artificial Intelligence). Сочетание робототехники и 3D-печати на основе машинного обучения с интернетом вещей в глобальной сети и искусственным интеллектом уже сегодня позволяет создавать полностью автоматизированные производства. Одновременно с эволюцией производственных технологий идет прогресс биомедицинских технологий, с которыми связывают «Индустрию 5.0». По прогнозам, носимая электроника начнет замещаться имплантами, в 2030-х гг. 3D-принтеры приступят к печати новых органов, а к 2040-м гг. нанороботы начнут ремонтировать организм на клеточном уровне.

Рассматривая комплекс технологического станочного оборудования с позиций компьютеризации производственной деятельности, его модули, узлы и детали следует проектировать как устройства компьютерной периферии, построенные по той же архитектуре, что и ЭВМ. Анализ процессов производства деталей без формообразующей оснастки (3D-печати) в зависимости от агрегатного состояния исходного материала, размерности потоков формообразующей среды и последовательности технологических операций позволяет описывать совокупность методов прямого «выращивания» изделий в виде диаграммы структурных связей.

Диаграмма структурных связей представляет собой направленный замкнутый граф и описывает автомат с конечным числом состояний. Вершины графа изображают процессы создания изделий без формообразующей оснастки и представляют логические операции: трансляцию информации; движение потоков вещества и энергии; запуск и остановку автоматического цикла. Описание алгоритмами в соответствии с терминами логических операций процессов 3D-печати дает возможность по диаграмме структурных связей анализировать существующие и разрабатывать новые методы прямого «выращивания» изделий. Проведенный анализ методов прямого «выращивания» деталей машин показал особую перспективность разработки процессов послойного синтеза с управляемым формированием свойств материала потоками энергии.

Организация обратных связей при управлении технологическим оборудованием через степени свободы инструментов, частиц наносимого материала и удаляемого слоя посредством дополнительных воздействий потоками энергии позволяет управлять устойчивостью процессов формирования поверхностного слоя.

УДК 675.055.272

МАШИНА С АДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ СКОРОСТЬЮ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Г. Н. ЦОЙ, А. М. НАБИЕВ, Б. С. ИГАМБЕРДИЕВ
Институт механики и сейсмостойкости сооружений
им. М. Т. Уразбаева АН РУз
Ташкент, Узбекистан

Разработана валковая отжимная машина (рис. 1), обеспечивающая обработку постоянных и переменных толщин обрабатываемого пакета, например мокрых кожевенных полуфабрикатов [1, 2].

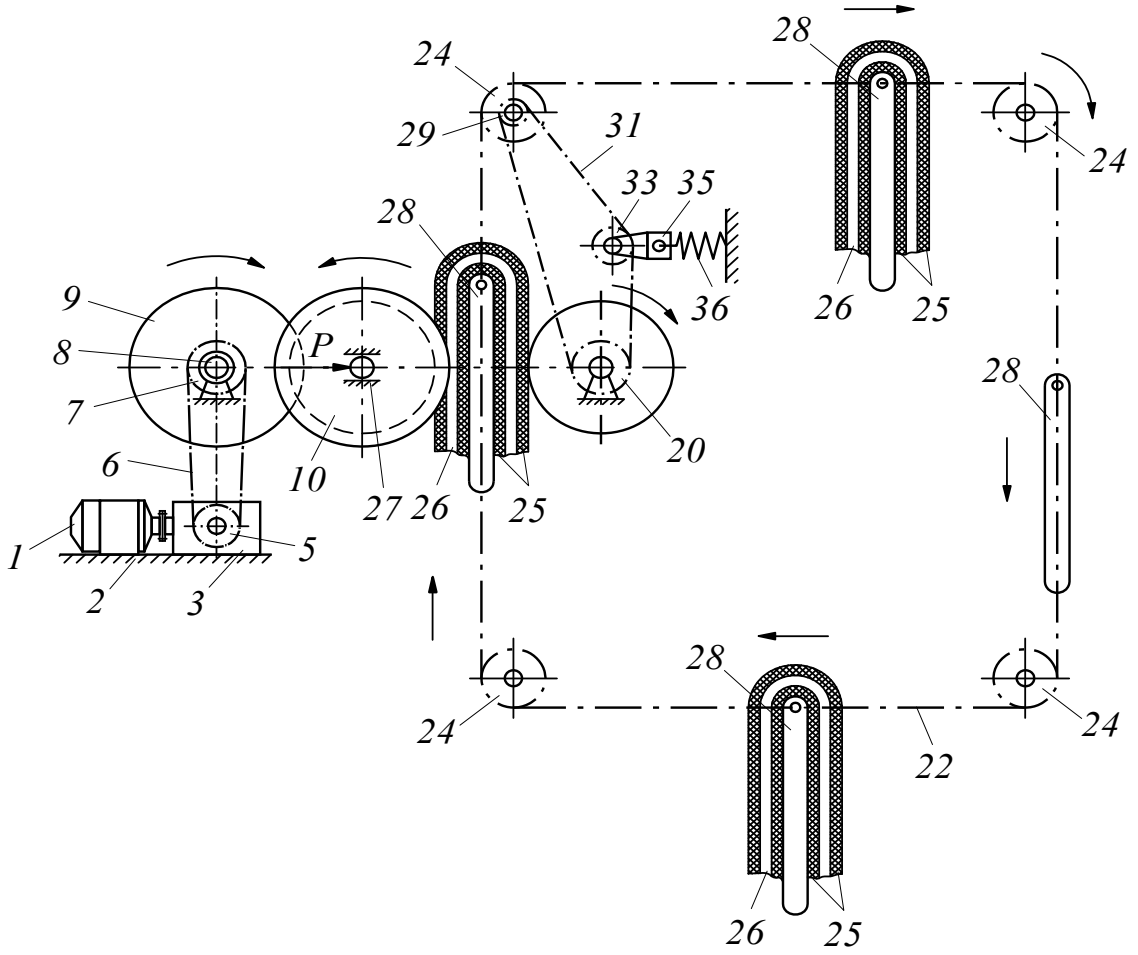


Рис. 1. Схема валковой машины

Перед работой машины гидроцилиндрами устанавливают требуемое давление на рабочие валы *11*, *12*. При включении электродвигателя *1* вращение вала передается через редуктор *3*, звездочки *5*, цепи *6* и звездочки *7* на фрикционные диски *9*, которые передают вращение фрикционному диску *10* на конце рабочего вала *11*. Рабочий вал *11* вращает звездочки *14*, *16*, *17* и через цепь *18*

и звездочку *15* передает вращение на неподвижный вал *12*. Звездочки *20* и *21* на неподвижном рабочем валу *12* с цепями *31* и *32* вращают звездочки *29* и *30* на осях звездочек *24*, расположенных над рабочим валом *12*. При этом звездочки *24* вращают цепи *22* и *23* на осях, на которых закреплены опорные плиты *28* с кожевенным полуфабрикатом *25* и влагоотводящим материалом *26* [3–5].

При отжиме влаги, если толщина пакета (опорная плита *28* с кожевенным полуфабрикатом *25* и с влагоотводящим материалом *26*) увеличивается из-за роста толщины полуфабриката *25*, подвижный рабочий вал *11* вместе с подвижными фрикционными дисками *9* перемещается в сторону неподвижных фрикционных дисков *10*. При этом уменьшается радиус подвижного фрикционного диска *10*. Это снижение скорости вала *11* передается через звездочки *14*, *16*, *17* и цепи *18* к звездочке *15* и на неподвижный рабочий вал *12*. Если при отжиме влаги уменьшается толщина пакета из-за уменьшения толщины полуфабриката *25*, подвижный рабочий вал *11* с фрикционными дисками *10* перемещается в сторону неподвижного рабочего вала *12*. При этом радиус контакта подвижных фрикционных дисков *10* с неподвижными фрикционными дисками *9* увеличивается [6].

Таким образом, повышаются производительность и качество отжима, обеспечивается надежность привода рабочих валов и улучшается качество последующих технологических процессов.

Исследование выполнено за счет бюджетных средств Института механики и сейсмостойкости сооружений имени М. Т. Уразбаева АН РУз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Балакин, П. Д.** Механические системы с адаптивными свойствами / П. Д. Балакин // ОмГТУ. – 2014. – № 1.

2. **Николаева, О. И.** Конструкции и расчеты валковых машин для переработки полимеров : учеб. пособие / О. И. Николаева, В. А. Бурмистров ; под ред. О. И. Койфмана. – Иваново : Иванов. гос. хим.-технол. ун-т, 2014. – 116 с.

3. **Бахадиров, Г. А.** Инновационные машины, устройства и механизмы для малых предприятий / Г. А. Бахадиров, А. М. Набиев // Машиноведение. – 2024. – № 2 (20). – С. 72–84.

4. Исследование зоны между валковыми парами для обработки штучных изделий из волокнистого материала / Г. А. Бахадиров, А. М. Набиев, Г. Н. Цой, Ф. Р. Рахимов // Известия высших учебных заведений. Серия : Технология текстильной промышленности. – 2024. – № 2 (410). – С. 164–171.

5. Машина для обработки упруговязких материалов / Г. А. Бахадиров, Г. Н. Цой, А. М. Набиев, Р. Т. Сахыбаев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2024. – № 2 (85). – С. 16–22.

6. **Иванов, К. С.** Эффективный адаптивный механический привод манипулятора / К. С. Иванов, Ж. А. Каренеева, Э. М. Мажиева // Вестник Университета Шакарима. Серия : Технические науки. – 2026. – № 2 (22). – С. 213–223.

УДК 656.21

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ПОДХОДА К РЕЗЕРВИРОВАНИЮ ТЕРРИТОРИИ ПРИ ЭТАПНОМ РАЗВИТИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

М. В. ЧЕТЧУЕВ
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия

Одно из главных условий развития железнодорожной станции в перспективе – резервирование вокруг неё достаточной территории. О необходимости такого резервирования неоднократно писали в профильной нормативной, научной и учебной литературе, однако в реальности оно практически не обеспечивается. Если разбирать причины данного обстоятельства, то следует обратить внимание на следующее.

Во-первых, в процессе проектирования этапное развитие железнодорожной станции предусматривается на основе прогноза роста размеров перевозок. Используемый прогноз далеко не всегда оказывается точным. Таким образом, территории, отведённой под перспективное развитие станции, оказывается просто недостаточно.

Во-вторых, условие резервирования территории вполне закономерно и обоснованно ограничивается смежным условием – исключить избытки при бронировании земельных участков. Получается, что при проектировании и последующем строительстве резервируется только территория по имеющемуся прогнозу, хотя по факту могла бы быть забронирована большая территория.

В-третьих, технология работы железнодорожных станций со временем меняется (пересматриваются нормы на техническое обслуживание вагонов и опробование тормозов, увеличивается составность поездов и др.). С учётом меняющихся условий эксплуатации изначально предусмотренных резервов территории может оказаться недостаточно.

И в-четвёртых, пожалуй, главная причина – занятие зарезервированной под развитие станции территории другими объектами. Как показывает практика, нередко с появлением новой железнодорожной станции, особенно крупной, вокруг неё начинают разрастаться как другие железнодорожные хозяйства (локомотивное депо, вагонное депо, дистанция пути и др.), так и сторонние предприятия (пути необщего пользования). Размещение и развитие указанных объектов идет, как правило, за счёт территорий, отведённых под перспективное развитие самой станции, и в итоге она оказывается зажатой без возможности существенных переустройств.

Последняя из изложенных причин может быть устранена в результате принципиального изменения подхода к реализации этапного развития станции. Это изменение состоит в том, чтобы на начальном этапе развития железнодорожной станции её пути размещались с охватом всей потребной в перспективе территории. Имеется в виду, что на первом этапе внешний контур путей станции фактически соответствовал полному её развитию, а все необходимые для

последующего наращивания количества путей резервные территории находились по сути внутри самой станции. Пример реализации предлагаемого подхода показан на рис. 1.

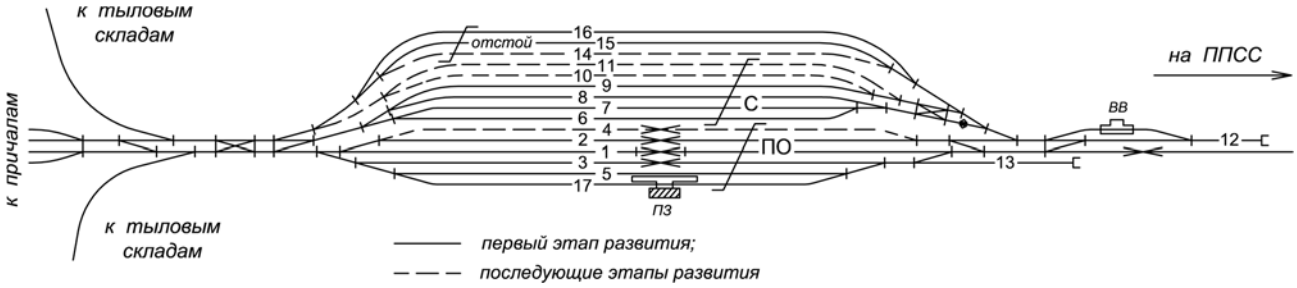


Рис. 1. Реализация предлагаемого подхода к этапности развития на примере типовой портовой станции

Из представленной на рис. 1 схемы портовой станции видно, что вся территория, необходимая для обустройства на максимальное путевое развитие, занимается уже на первом этапе. При этом внутри самой станции имеются резервы (показаны пунктирными линиями) для укладки дополнительных путей.

Одним из недостатков предлагаемого подхода является увеличение объёмов работ и строительной стоимости на начальном этапе развития. Рост объёмов работ будет связан главным образом с необходимостью отсыпки и профилировки земляного полотна на полное путевое развитие, а также в случае электрификации путей – установки опор и ригелей контактной сети исходя из условия появления части путей в перспективе. С точки зрения содержания железнодорожной станции затраты по предлагаемому подходу также возрастут, т. к. потребуется периодическая реализация комплекса мероприятий для предотвращения заболачивания и зарастания резервных территорий.

Однако против описанных недостатков имеется ряд контраргументов. Предлагаемый подход позволяет обеспечить гарантированный резерв территории для последующего развития железнодорожной станции. Затраты на развитие станции в условиях отсутствия резерва территории с высокой долей вероятности повлекут за собой снос и переустройство зданий, сооружений и других объектов, находящихся в необходимых для укладки путей местах. Такие затраты в подобной ситуации будут в разы выше дополнительных капитальных вложений на обустройство станции по предложенному подходу. Кроме того, если речь идёт о реально ожидаемом росте объёмов перевозок, обустройство земляного полотна под полное развитие железнодорожной станции на первом этапе позволит существенно снизить строительную стоимость суммарно по всем этапам, т. к. единовременно его обустроить значительно дешевле, чем на каждый этап развития передислоцировать специальную технику для проведения этих работ. Особенно выигрышна позиция единовременного обустройства земляного полотна, когда через парк путей станции проходит какое-либо искусственное сооружение, например водопропускная труба.

УДК 535.41

ДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ЖИДКИХ СРЕД

П. Я. ЧУДАКОВСКИЙ, К. Н. ЛУКЬЯНОВА, М. И. БЫЧКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В работе предложен и экспериментально апробирован экспресс-метод лазерной диагностики состояния оптических поверхностей и жидких сред, основанный на интерференционных явлениях. Оптическая схема, используемая в этом методе, проста в реализации, не требует дорогостоящего оборудования по сравнению с классическими интерферометрическими схемами. Предложенный подход обеспечивает бесконтактный и неразрушающий контроль локальных изменений поверхностного слоя (детектирование загрязнений, микропленок и т. д.), тонких жидких пленок и микрокапель, что представляет интерес для исследования кинетики испарения, смачивания и динамики микрообъемов жидкости и задач биометрической робототехники.

Согласно рис. 1, *а*, основными элементами оптической схемы являются гелий-неоновый лазер *1*, двояковыпуклая линза *3* и цифровая камера *5*.

а) *б*) *в*)

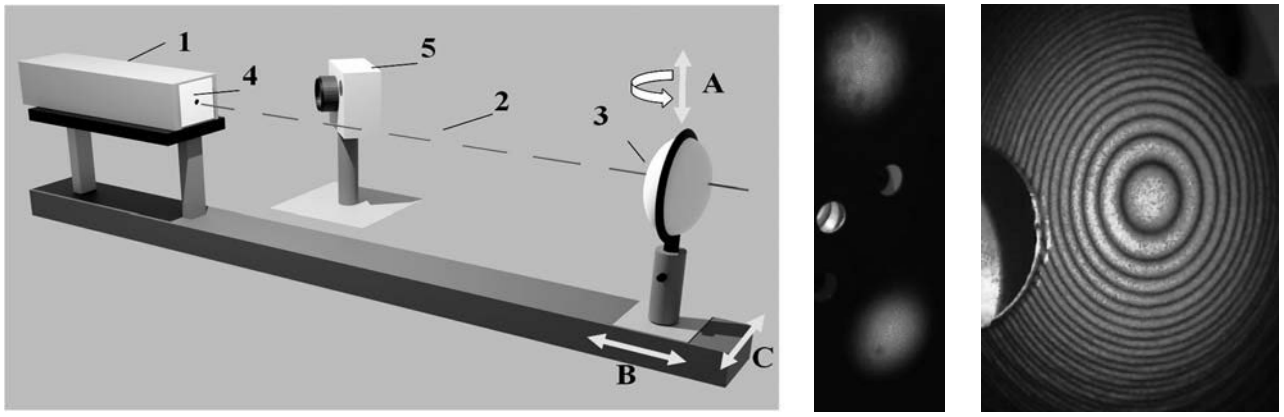


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема (*а*), изображение пучков (*б*) и их интерференция (*в*)

Лазерный пучок *2*, достигнув передней грани линзы, делится на два пучка. Один пучок отражается от передней грани линзы. Второй распространяется внутрь линзы, испытывает отражение от задней грани и выходит через переднюю грань. Изображения пучков проецируются на экран *4*, расположенный в плоскости выходного окна лазера. Полученные пучки являются расходящимися в силу сферичности линзы. На рис. 1, *б* представлены изображения пучков в условиях реального эксперимента. Осуществляя поворот линзы вокруг собственной вертикальной оси, а также совершая линейные перемещения вдоль направлений A, B, C (см. рис. 1, *а*), можно добиться наложения этих пучков, тем

самым получить опорную устойчивую интерференционную картину в виде светлых и темных колец. По опорной картине можно судить о состоянии поверхности. Результат наложения пучков представлен на рис. 1, *в*. Наблюдаемая интерференционная картина характеризуется симметричностью, четкостью и высокой контрастностью, что обусловлено чистотой поверхности, большой пространственной когерентностью излучения лазера. В любых экспериментах всегда присутствуют вибрации, приводящие к паразитным эффектам; чем больше оптических элементов задействовано, тем сложнее их синхронизировать. Предложенная установка обладает виброустойчивостью, т. к. грани линзы жесткие, а в случае вибраций испытывают синхронные колебания. Если на одну из граней нанести тонкую жидкую пленку, возникает еще одна интерференционная картина – «бегущие» полосы. Она накладывается на опорную картину в виде колец, в результате чего возникает эффект пульсирующих колец. При этом пульсации проявляются в большей степени в центре колец, так что центральный максимум меняется на минимум и обратно. Это обстоятельство заметно на рис. 2, где представлены изображения интерференционных картин для двух разных моментов времени (см. рис. 2, *а*, *б*) и одномерные пространственные распределения интенсивностей (см. рис. 2, *в*). По изменению скорости пульсаций появляется возможность определить физические параметры жидкой среды.

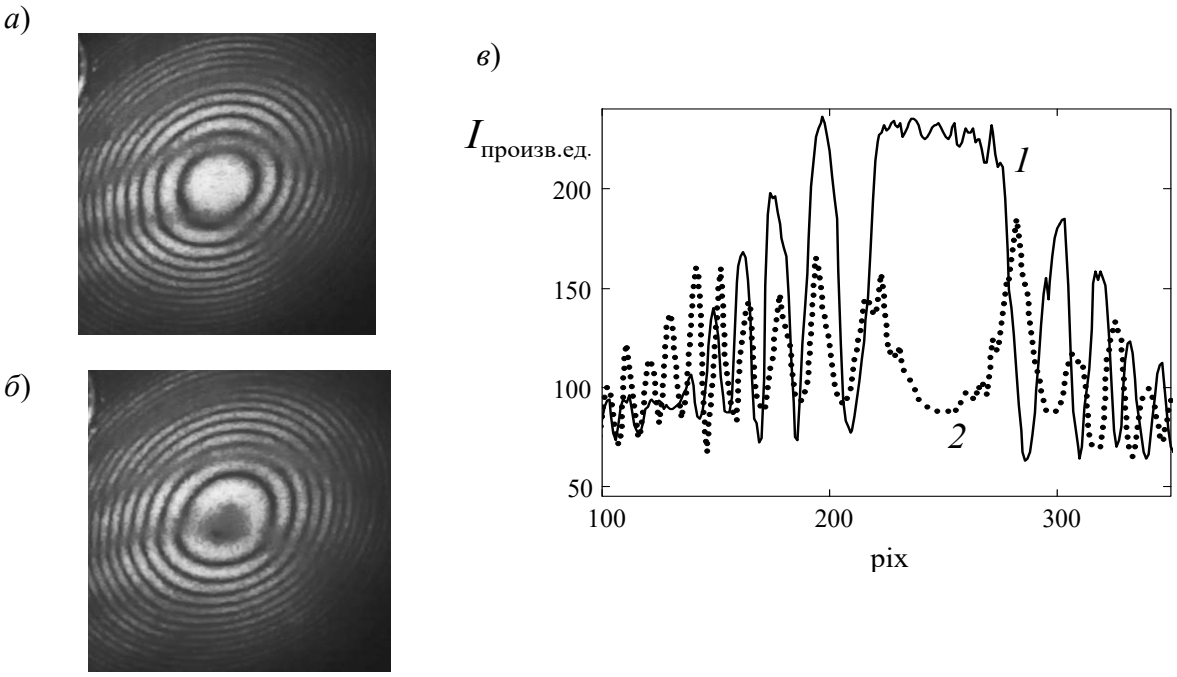


Рис. 2. Изменение интерференционной картины во времени (*а*, *б*) и одномерное пространственное распределение интенсивности интерференционных картин (*в*): *1* – для картины (*а*); *2* – для картины (*б*)

Миниатюризация данной схемы, использование технологий компьютерного зрения с целью автоматизации сбора и обработки экспериментальных данных в режиме реального времени могут представлять интерес для биометрической робототехники при разработке адаптивных жидких линз на твердой подложке для зрительной системы антропоморфных роботов.

УДК 621.791

ЗАВИСИМОСТЬ РАСТВОРЕНИЯ КРЕМНИЯ В ЖИДКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ВАННЕ ОТ УСЛОВИЙ ЕГО ВВЕДЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОМ ПЛАВЛЕНИИ

А. В. ШАБЛОВСКИЙ, Д. И. ЯКУБОВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Методика. Использовали медную изложницу с углублением 15 × 20 мм, обеспечивающую интенсивный отвод тепла и предотвращающую расплавление подложки. Плавку проводили неплавящимся вольфрамовым электродом WL20 диаметром 2,4 мм, сварочный ток 90 А, защитный газ – аргон, расход газа 10 л/мин. В качестве источника кремния применяли регенерированный мелкодисперсный порошок SiC. Испытаны три варианта растворения мелкодисперсного порошка в низкоуглеродистой стали:

1) смесь стальной стружки, перемешанной с мелкодисперсным порошком (масса порошка 0,5 г; после опыта оставалось около 0,15 г спекшегося материала);

2) фрагменты стержня электрода МР-3 (проволока Св-08) диаметром 3 мм и длиной 3 мм, уложенные по периметру медной изложницы, мелкодисперсный порошок в центре;

3) цельный пруток марки Св-08 диаметром 3 мм массой 15 г, который плавился с ручным перемешиванием расплава самим прутком вместе с мелкодисперсным порошком.

Проведенный спектральный анализ на оптико-эмиссионном спектрометре SPECTROMAX показал максимальную растворимость кремния в третьем варианте.

Основные результаты. При увеличении массы мелкодисперсного порошка от 0,3 до 0,9 г среднее содержание кремния в образцах возрастало от 1,49 % до 2,29 %, углерода – от 0,56 % до 0,81 %. Зависимость для кремния близка к линейной. Стабилизация содержания углерода на уровне около 0,8 % при увеличении массы мелкодисперсного порошка свыше 0,7 г, вероятно, связана с частичным окислением углерода до CO в зоне дугового нагрева и ограниченной растворимостью углерода в расплаве при данных условиях кристаллизации. Окончательное объяснение требует дополнительных исследований, включая анализ газовой фазы и фазовый состав образцов.

Предварительные опыты с чистым SiC показали, что при воздействии электрической дуги порошок спекается в хрупкую таблетку округлой формы, и при нагреве без стали сгорает, что исключает его прямое использование без металлической ванны.

Выводы. Оптимальным условием растворения SiC является плавление цельного стального прутка с одновременным введением порошка и непрерывным ручным перемешиванием. Регенерированный карбид кремния может служить эффективным источником Si и C при дуговом легировании низкоуглеродистой стали.

УДК 622.276.5:622.245.5

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВОД МЕЖКОЛОННЫХ ПРОСТРАНСТВ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

М. Д. ШИПИЛОВА, И. Б. ТЛЕУЛИЕВА, Е. Д. ЗГУРОВЕЦ
Астраханский государственный технический университет
Астрахань, Россия

Обнаружение воды или пластового флюида в межколонном пространстве (МКП) нефтегазовой или нагнетательной скважины указывает на нарушение герметичности крепи. Такое осложнение классифицируется как опасное: оно сопровождается возникновением межколонного давления (МКД), что требует незамедлительного контроля состояния скважины.

Химический состав воды МКП – важный диагностический признак: он позволяет определить источник поступления и оценить риски. Однако единые подходы к анализу и интерпретации таких вод разработаны недостаточно. Это делает систематизацию методов и разработку схемы интерпретации актуальной задачей [1].

Цель работы – комплексный анализ состава вод межколонных пространств и оценка диагностической значимости показателей.

Проба 1 характеризуется сильнощелочной средой (pH 12,36), умеренной минерализацией (плотность 1,03), высокой щёлочностью при низкой жёсткости, малым количеством хлоридов в пределах определяемых концентраций и заметным содержанием калия. Такое сочетание показателей может быть обусловлено преимущественно техногенными факторами – поступлением щелочных реагентов, буферных жидкостей или продуктов взаимодействия цементного камня с водой.

Проба 2 характеризуется нейтральной средой, повышенной минерализацией (плотность 1,177), экстремально высокими концентрациями хлоридов (118 925 мг/дм³) и сульфатов (22 560 мг/дм³), высоким содержанием натрия (98 555 мг/дм³), низкой жёсткостью и низким содержанием кальция. Такой состав характерен для высокоминерализованных пластовых вод, что позволяет предположить возможность перетока из продуктивного или вышележащего пласта и, как следствие, оценить вероятность нарушения герметичности крепи скважины.

Полученные результаты демонстрируют два принципиально разных геохимических типа вод, что требует дифференцированного подхода к оценке их происхождения. Именно совокупность этих признаков – вместе с данными о

конструкции скважины и условиях её эксплуатации – позволяет перейти к построению диагностической схемы (табл. 1) [2].

Табл. 1. Диагностическая схема

Признак	Возможная причина
Высокий pH (>10)	Техногенное загрязнение, взаимодействие с цементом
Высокая плотность (>1,1)	Высокоминерализованная пластовая вода
Хлориды (>100 000 мг/дм³)	Переток из пласта, нарушение герметичности
Сульфаты (>20 000 мг/дм³)	Гипсование, взаимодействие с породой
Низкая жёсткость при высокой минерализации	Преобладание Na^+ и K^+ над Ca^{2+} и Mg^{2+}
Взвесь в пробе	Коррозионные продукты, цементная пыль

Аналитический контроль вод МКП – эффективный инструмент диагностики: соотношение pH, плотности и ионного состава позволяет отличить техногенное загрязнение от перетока пластовой воды и своевременно оценить риск нарушения герметичности скважины [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иманов, Р. Р.** Межколонные давления: причины возникновения, методы ликвидации / Р. Р. Иманов // Нефтесервис. – 2025. – № 6.

2. Новый подход к ликвидации межколонных давлений в скважине / Д. Р. Султанов, Е. А. Баймаханов, А. Е. Баймаханов, Ф. Н. Янгиров // Petroleum Engineering. – 2021. – № 3. – С. 36–42.

3. **Рожкова, О. А.** Титриметрические методы анализа в контроле качества воды / О. А. Рожкова // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2019. – № 2 (17).

УДК 538.975+621.383

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК СИЛИЦИДОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОНЕНТОВ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

И. О. ШОЛЫГИН, Д. В. ФОМИН, А. В. ПОЛЯКОВ
Амурский государственный университет
Благовещенск, Россия

В качестве материалов для микро- и наноэлектроники нередко используют силициды – соединения металлов с Si. В промышленности силициды применяются уже 50 лет для изготовления различных элементов электроники. В 1980-х гг. силициды платины PtSi и паладия $PdSi_2$ применили для снижения контактного сопротивления между Al и Si. По мере уменьшения техпроцесса стали применять $MoSi_2$, WSi_2, $TiSi_2$, $TaSi_2$, $CoSi_2$ и NiSi. В качестве контактных материалов для КМОП закрепились $TiSi_2$, $CoSi_2$ и NiSi [1, 2].

Низкоомная фаза C54 $TiSi_2$ долгое время была основной для переходных контактов. Однако при техпроцессе менее 150 нм технологии формирования не позволяли получить хорошее структурное качество [3]. $CoSi_2$ применялся в технологии 0,18 мкм и ниже, и обладает относительно высокой термической стабильностью по сравнению с $TiSi_2$ [1]. $CoSi_2$ может эпитаксиально расти на кремнии, что обеспечивает низкое сопротивление и стабильность границы раздела. Дальнейшее масштабирование потребовало материалов с более низкой температурой формирования, что привело к переходу на NiSi, который нашел применение в качестве контактного материала для субмикронных КМОП систем. В [2] показано, что добавка Pt повышает температурную стойкость системы. Диоды с силицидом Ni-Pt, сформированные при 600 °C...700 °C, демонстрируют хорошие вольт-амперные характеристики (ВАХ), тогда как часть диодов с чистым Ni показывает аномально высокие токи утечки. PtSi долго исследовался для инфракрасных детекторов [4].

Тугоплавкие WSi_2, $MoSi_2$ и $TaSi_2$ применялись в качестве затворных электродов, локальных межсоединений и диффузионных барьеров. Они обладают высокой термической и химической стабильностью, низким удельным сопротивлением [1]. По мере уменьшения размеров приборов их роль в контактных областях значительно снизилась [5].

Среди перспективных полупроводниковых силицидов для контактных материалов, фото- и термоэлектрических преобразователей (ФЭП, ТЭП) можно отметить $BaSi_2$ с шириной запрещённой зоны 0,83...1,1 эВ (непрямой переход) и 1,23...1,3 эВ (прямой переход), что делает его оптически более активным, чем кремний. Тонкоплёночные ФЭП p-$BaSi_2$/n-Si уже достигают КПД 9 %...10 % [6]. Однако материал чувствителен к окислению и требует сверхвысокого вакуума для формирования. Фотоотклик у ФЭП наблюдается в области 1,1...1,3 эВ,

а при 80 К появляется дополнительная чувствительность в среднем ИК-диапазоне 0,7...1,0 эВ. $BaSi_2$ пока остаётся лабораторным материалом, но его фотоэлектрические характеристики делают его перспективным для узкополосных ИК-детекторов и тандемных ФЭП [7].

Другой перспективный материал – Mg_2Si, непрямозонный полупроводник с шириной запрещённой зоны 0,74...0,86 эВ (в зависимости от метода формирования), перспективный для фотодиодов, работающих в диапазоне 200...1 400 нм. Он обладает высокой концентрацией носителей и подвижностью, хоть и уступающей традиционным полупроводникам. В [8, 9] на основе толстых поликристаллических плёнок Mg_2Si были изготовлены ФЭП Mg_2Si/Si, которые продемонстрировали узкий пик отклика при 1 050 нм, отсутствующий у обычных кремниевых фотодиодов. В настоящее времы Mg_2Si требует оптимизации технологии роста.

Анализ использования пленок силицидов в микро- и наноэлектронике показал, чаще всего они применяются для изготовления контактов, затворных элементов, диффузионных барьеров и локальных межсоединений, а также перспективны для фото- и термоэлектрических преобразователей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Metal Silicides: An Integral Part of Microelectronics / L. J. Chen [et al.] // JOM. – 2005. – P. 24–31.

2. Nickel Silicide as a Contact Material for Submicron CMOS Devices / D. Z. Chi [et al.] // Journal of Electronic materials. – 2001. – Vol. 30, № 12. – P.1483–1488.

3. Быстрая термическая обработка системы TiN/Ti/Si / М. И. Маркевич [и др.] // Взаимодействие излучений с твердым телом : материалы 11 Междунар. конф., Минск, 14–16 окт. 2015 г. – Мн. : БГУ, 2015. – С. 82–84.

4. Effect of interfacial layer and series resistance on electrical characteristics for the PtSi/p-SiNWs Schottky diode / M. Zhu [et al.] // Physica E. – 2010. – Vol. 43. – P. 515–520.

5. **Кущев, С. Б.** Фазовый состав и субструктура силицидов, синтезированных импульсной фотонной обработкой некогерентным излучением (обзор) / С. Б. Кущев // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 3 (167). – С. 125–140.

6. $BaSi_2$ перспективный материал для фотоэлектрических преобразователей / В. Л. Дубов [и др.] // Успехи прикладной физики. – 2016. – Т. 4, № 6. – С. 597–606.

7. Взаимосвязь оптических и фотоэлектрических свойств плёнок и диодных гетероструктур на основе $BaSi_2$ и Si(111) / Н. Г. Галкин [и др.] // Химическая физика и мезоскопия. – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 375–385.

8. FeSi and $CrSi_2$ Thin Films as Transparent Conductive Layers for VIS/SWIR Sensitive Mg_2Si Films Grown on Si / I. M. Chernev [et al.] // Bulletin of the Russian Academy of Sciences : Physics. – 2023. – Vol. 87, suppl. 3. – P. S370–S374.

9. Фотоэлектрические свойства диодов на основе полупроводникового силицида магния / Д. В. Фомин [и др.] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2026. – Т. 19, № 1. – С. 19–29.

УДК 666.92

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА ДЛЯ ПЕЧЕЙ МОКРОГО ТИПА

К. А. ЮДИН, Д. О. ХОХЛОВ, В. В. НИКУЛИН
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Цементная промышленность России характеризуется высокой долей предприятий, работающих по энергоёмкому мокрому способу производства: около 75 % вращающихся печей используют именно эту технологию [3]. Основной недостаток мокрого способа – значительные затраты топлива на испарение воды из шлама, влажность которого достигает 30 %...40 % [4]. Полная реконструкция таких заводов с переводом на сухой способ требует капитальных вложений, сопоставимых со строительством нового производства. В связи с этим актуальной задачей является разработка технологии, позволяющей повысить энергоэффективность существующих печей мокрого типа без их коренной реконструкции.

Учёными БГТУ им. В. Г. Шухова совместно с ООО «Востокцемент» предложен комбинированный (полусухой) способ обжига клинкера [1, 2]. Его отличие от классического комбинированного способа заключается в том, что шлам не обезвоживается предварительно перед подачей в печь. Вместо этого в печь одновременно подают два независимых потока сырья:

1) шламовый поток – традиционный влажный сырьевой шлам, который подается в холодный конец печи;

2) сухой поток – сухая сырьевая смесь (известковая мука), аналогичная используемой при сухом способе производства [1].

Отличительная технологическая особенность: сухая смесь вводится не в начало печи, а непосредственно в зону сушки шлама – цепную завесу, где шлам достигает так называемой «критической влажности». Сухая смесь подаётся через систему возврата уловленной пыли в количестве от 5 % до 90 % от общей массы сырья (в пересчёте на прокалённое вещество).

В зоне цепной завесы происходит интенсивный теплообмен между горячими отходящими газами и материалом [4]. Добавленная сухая смесь смешивается с подсушиваемым шламом, что приводит к снижению общей влажности двух потоков до поступления материала в высокотемпературную зону обжига. Таким образом, цепная завеса выполняет функцию эффективного смесителя двух разнородных потоков, что было подтверждено в ходе промышленных испытаний.

Первые промышленные испытания были проведены в 2019 г. на базе АО «Теплоозерский цементный завод». На начальном этапе осуществлялась подача 9 т/ч чистой известковой муки вместо части шлама в приёмный бункер

возврата пыли без изменения производительности печи. Последующий запуск «сухой линии» – с добавлением в технологическую цепочку мельниц и подачей сухой муки в печь – позволил достичь следующих результатов:

– снижение влажности шлама до 30 %;

– снижение удельного расхода топлива до 130 кг условного топлива на тонну клинкера (для печей с рекуператорным холодильником);

– повышение активности клинкера;

– увеличение производительности производства в 1,8 раза без крупномасштабной реконструкции.

В целом по технологии достигнуто снижение удельного расхода топлива на 35 %...40 % по сравнению с традиционным мокрым способом [1, 2].

Реализация нового способа потребовала модернизации ряда технологических узлов. В частности, спроектирован уникальный пневмокамерный насос для подачи сухой смеси, заменена внутренняя оснастка части сырьевых мельниц – для помола сухого материала, а также внедрены новые приборы контроля подачи сухого сырья в помощь машинистам вращающихся печей. Опытом промышленной эксплуатации решения на предприятиях группы «Востокцемент» подтверждена работоспособность и эффективность технологии [2].

Разработанный комбинированный способ производства портландцементного клинкера – технология, не имеющая аналогов в мировой практике. Он позволяет использовать преимущества мокрого метода при одновременном устранении его главного недостатка – высокого энергопотребления [4]. Технология не требует дорогостоящего оборудования и может быть реализована на цементных заводах, работающих по мокрому способу, снижая себестоимость продукции и сокращая выбросы отходящих газов [1, 2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент RU 2783930, МПК C04B 7/44. Способ производства портландцементного клинкера : № 2022110308 : заявлено 15.04.2022 : опубл. 22.11.2022 / Мишин Д. А., Сысоев А. Н. ; заявитель Белгород. гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова. – Бюл. № 33.

2. **Сысоев, А. Н.** Внедрение нового способа производства на предприятиях группы компаний «Востокцемент» / А. Н. Сысоев, Д. А. Мишин // Цемент и его применение. – 2023. – № 4. – С. 23–25.

3. **Классен, В. К.** Рациональное развитие технологии цемента в России / В. К. Классен // Технологии бетонов. – 2014. – № 2. – С. 23–25.

4. **Беседин, П. В.** Энерготехнологический анализ процессов в технологии цементного клинкера / П. В. Беседин, П. А. Трубаев ; под общ. ред. П. В. Беседина. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова ; БИЭИ, 2005. – 460 с.

УДК 678.6:621.762

УНИФИКАЦИЯ МЕТОДА ПОСТПЕЧАТНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТИКА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Д. И. ЯКУБОВИЧ, И. А. ЛИСОВАЯ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При использовании аддитивных технологий одна из проблем – получение гладкой поверхности изделий. Литературный обзор показал, что эта проблема решается в основном за счет постобработки в парах различных растворителей. Например, в [1] показано, что для изделий из ABS-пластика фирмы Alfa-Filament, напечатанных с качеством поверхности и внутренним заполнением 100 % на 3D-принтере VShaper PRO, постобработку осуществляли путем помещения изделий в эксикатор с керамической вставкой объемом 3 000 см^3; на дне лежала хлопчатобумажная ветошь массой 15 г, пропитанная 50 мл ацетона марки Farbitex. При этом время выдержки составляло от 2 до 4 ч.

Данный пример является частным случаем. Мы предлагаем унифицировать подходы к обработке этим методом. В исследовании предлагается использовать как источник паров ацетона растворы метилэтилкетона и циклогексанона в ацетоне. При этом общий объем раствора в эксикаторе следует увеличить до 200 мл для сохранения площади границы раздела фаз над поверхностью изделия.

На основании расчетных формул определения мольной доли компонента в растворе подготовлены инструкции для приготовления растворов воды, метилэтилкетона и циклогексанона в ацетоне со значением мольной доли компонента Ni от 0,05 до 0,5 с интервалом в 0,05 долей единицы с целью стабилизации показателя давления насыщенного пара над раствором.

Согласно теории растворов, а также первому закону Рауля, в замкнутой системе, когда процессы парообразования и конденсации находятся в состоянии равновесия, давление насыщенного пара над раствором (в нашем случае – ацетона) при заданной температуре – есть величина постоянная. При приготовлении двух- и более компонентных растворов (в нашем случае компоненты различаются по летучести) давление насыщенного пара более летучего компонента зависит от мольной доли растворенного вещества и уменьшается по математической закономерности. Такой подход обеспечивает надёжность и сопоставимость результатов, единообразие процедур, качество и достоверность анализа – т. е. унифицирует методику в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Якубович, Д. И.** Снижение шероховатости поверхности изделий из пластика ABS, полученных методом аддитивных технологий / Д. И. Якубович, А. В. Васеничева // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2021. – № 3 (72). – С. 99–107.

УДК 621.926.2

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУЙНОЙ ПРОТИВОТОЧНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ТОНКОГО ПОМОЛА МАТЕРИАЛОВ

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

Развитие порошковых технологий сопровождается постоянным ужесточением требований к дисперсности, однородности, чистоте и контролируемости гранулометрического состава материалов. Тонкодисперсные порошки широко используются при производстве керамики, цемента и строительных материалов, пигментов, катализаторов, фармацевтических субстанций, наполнителей, абразивов, композиционных материалов и электронных компонентов.

Один из перспективных видов оборудования для сверхтонкого измельчения – струйные мельницы. Они используют энергию сжатого газа для разгона частиц материала до высоких скоростей. Разрушение частиц происходит преимущественно вследствие их взаимных столкновений, а также столкновений с элементами рабочей камеры.

Практика эксплуатации струйных мельниц выявила преимущества мельниц с противоточной помольной камерой (рис. 1) [1].

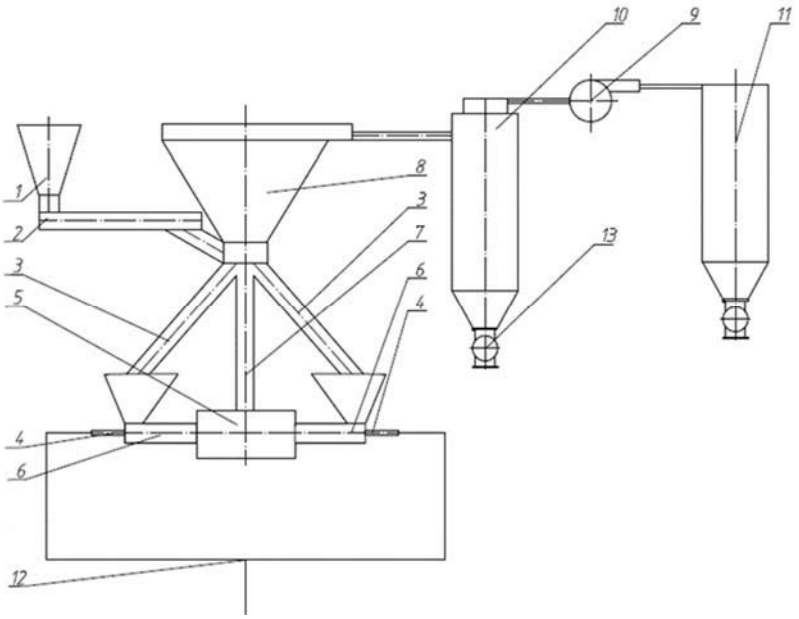


Рис. 1. Принципиальная схема противоточной струйной мельницы: *1* – бункер; *2* – питатель; *3* – течка; *4* – эжекторный узел; *5* – камера помола; *6* – сопло; *7* – патрубок пылеуноса; *8* – классификатор; *9* – вентилятор; *10* – циклон; *11* – пылеуловитель; *12* – коллектор; *13* – устройство разгрузочное

Исходное сырьё из приёмного бункера *1* с помощью питателя *2* направляется в течки *3*, откуда попадает в эжекторы *4*. В помольный блок сжатый воздух, выполняющий роль энергоносителя, подаётся по коллектору *12* через

пару сопел *6*, ориентированных навстречу друг другу. Газовые струи из этих сопел подхватывают частицы материала и, пропуская их через разгонные трубки, придают им необходимую скорость. В результате в помольной камере *5* формируются противоположно направленные потоки газовзвеси, которые сталкиваются, вызывая измельчение [2].

Полученный в результате помола продукт уносится по вертикальному стояку *7* в классификатор *8*, где разделяется на фракции. Регулируя скорость вращения ротора классификатора, можно получать нужные характеристики гранулометрического состава порошка.

Частицы крупных фракций, отделённые классификатором, по течкам возвращаются на повторное измельчение. Отходящий газ вместе с частицами нужного размера с помощью вентилятора *9* прокачивается через циклон *10* [2]. В циклоне улавливается большая часть готового продукта. Газовый поток, содержащий тонкодисперсную пыль, по воздухопроводу направляется в пылеуловитель *11*, где пыль улавливается, а очищенный воздух сбрасывается в атмосферу. После завершения цикла готовый порошок и сверхтонкую фракцию выгружают соответственно из циклона *10* и рукавного фильтра *11* через разгрузочное устройство *13*.

Эффективность струйной противоточной мельницы определяется совокупностью конструктивных и технологических факторов.

Основные из них: давление рабочего газа, скорость газовых струй, расход рабочего газа, геометрия и расположение сопел, форма и объём рабочей камеры, концентрация материала в газовом потоке, начальный размер частиц, физико-механические свойства материала и параметры классификации.

Так, повышение скорости газовой струи увеличит энергию столкновения частиц и тем самым повысит интенсивность разрушения. Однако для увеличения скорости нужно повысить давление газа, что в конечном итоге приведет к чрезмерному росту энергозатрат.

При чрезмерной концентрации частиц их скорость падает, а эффективность отдельных соударений снижается. Если загрузка недостаточна, часть энергии газового потока расходуется впустую. Следовательно, оптимальная конструкция мельницы должна обеспечивать баланс между высокой скоростью частиц, интенсивностью их взаимодействия и своевременным отводом готового продукта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Булгаков, С. Б.** Струйные мельницы: конструкции и расчет : монография / С. Б. Булгаков. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2020. – 86 с.

2. **Якшина, А. В.** Разработка струйной мельницы с разгрузкой в нижней части противоточной камеры помола : магистерская диссертация : 15.04.02 / Якшина Анна Васильевна ; БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2026. – 117 л.

УДК 656.07

ТРАНСФОРМАЦИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК И БУДУЩЕЕ ЛОГИСТИКИ БЕЛАРУСИ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

С. А. АЛЕКСАНДРОВА, А. В. СЕВРЮКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Последние годы стали для белорусской логистики периодом серьёзных испытаний. В такой ситуации особенно возрастает ценность экспертного знания, что дает возможность оценить не только текущее состояние отрасли, но и её ближайшие перспективы. В рамках аналитического исследования изучались фактические данные о работе отрасли, мнение и позиции регулятора и лидеров отрасли – министра транспорта и коммуникаций, генерального директора «БАМАП», а также руководителей и специалистов, работающих в отрасли [1, 2].

Главный тренд цепей поставок и логистики последних лет – это *географическая переориентация* на восток. Беларусь не утрачивает полностью свою транзитную функцию, но ее содержание меняется. Экспертные оценки демонстрируют смещение транзитной активности с западноевропейского направления на восточное и южное. Основными направлениями стали Россия, Китай, страны ЕАЭС, что формирует новые цепочки поставок через эти страны, а также Турцию, порты Черного моря и международный коридор «Север – Юг». Развиваются новые направления. Высокие темпы роста демонстрируют менее востребованные ранее маршруты – Иран, Азербайджан, Турция, Таджикистан, Узбекистан и азиатские страны «дальней дуги».

Происходящие изменения меняют не только географию, но и технологию перевозок – исторически традиционная прямолинейная география (унимодальные перевозки в страны Европы автомобильным и железнодорожным транспортом) заменяется *мультимодальными схемами* и способствует развитию *новых международных логистических коридоров*. Это востребованные маршруты в комбинации автомобильного, железнодорожного и морского транспорта, включая контейнерные перевозки по коридору «Север – Юг» и новые направления в Азии и на Ближнем Востоке.

Еще один важный тренд на стыке технологии и политики – это *цифровизация отрасли* и ужесточающиеся *нормативные ограничения*. Электронные документы, цифровые системы контроля, электронный обмен разрешениями и цифровое управление транспортными процессами становятся необходимыми элементами дальнейшего развития, приводящими к существенным экономическим выгодам, особенно в долгосрочной перспективе. «Прозрачное» нормативное поле формирует четкие и понятные правила работы и закрывает возможность недобросовестной конкуренции.

Происходящие изменения, однако, сопровождаются рядом проблем.

Ключевой проблемой является *усложнение логистических цепочек*. Современная доставка все чаще предполагает участие нескольких перевозчиков, перегрузку или перецепку, дополнительные проверки и использование

посредников. В результате возрастают продолжительность перевозки, количество потенциальных точек сбоя и общая себестоимость. Рост затрат связан не только непосредственно с тарифом перевозчика. Значительную роль играют нерациональные простои, ошибки при оформлении, вероятность которых возрастает из-за несогласованности действий участников в сложных транспортных схемах, а также неизбежно появляющиеся в условиях дефицита пропускной способности неэффективно построенные маршруты.

Существует еще одна проблема, которая приводит к росту затрат, общей неустойчивости и непредсказуемости цепей поставок, а также глобально наносит ущерб суверенитету отрасли, – это *зависимость от инфраструктуры сопредельных государств*. Рост грузопотока в восточном направлении опередил развитие пограничной и портовой инфраструктуры. Требуется масштабная модернизация, призванная увеличить пропускную способность и сократить время нахождения транспорта на границе. Однако Беларусь не имеет в этом значимых рычагов влияния.

Процессы *цифровизации* формируют новые вызовы: проблемы адаптации и настройки инфраструктуры, инвестиции в финансирование цифровизации и обучение персонала, отработка новых процедур. Все это занимает время и ресурсы.

В дополнение к объективным прикладным проблемам усиливается *конкурентное давление*. В экспертных оценках присутствуют ожидания усиления конкуренции со стороны зарубежных перевозчиков и экспедиторов, работающих в условиях большей свободы действий, мнение о снижении платежеспособного спроса и переходе части компаний от развития к сохранению существующих позиций, что ударит по рынку финансово.

Несмотря на все вызовы, полученные данные свидетельствуют о значимом прогрессе. После определенного спада в начале 20-х гг. отрасль наращивает показатели – в 2025 г. экспорт транспортных услуг достиг 107,6 % при задании 105,2 %, а доля транспортной деятельности в ВВП страны составила 5,2 % [2]. Логистика Беларуси уверенно переходит от транзитно-ориентированной модели, связанной с европейским направлением, к более диверсифицированной системе.

Большинство экспертов рассматривают происходящую перестройку как источник новых возможностей для компаний, способных осваивать новые рынки, работать с мультимодальными схемами и выбирать специализированные ниши.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Александрова, С. А.** Оценка состояния и тенденций развития логистики Беларуси на основе экспертных оценок / С. А. Александрова, А. В. Севрюкова // Транспорт и логистика устойчивого развития территорий, бизнеса, государства (драйверы роста, тренды и барьеры) : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 27 нояб. 2025 г. – М. : Гос. ун-т управления, 2026.

2. Министр транспорта и коммуникаций – об итогах и перспективах развития отрасли // Ассоциация международных автомобильных перевозчиков. – URL: http://bamap.org/information/smi/2026_02_25_223048/ (дата обращения: 10.09.2026).

УДК 330.322.5:001.895

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЗМОВ ВЕНЧУРНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ В БЕЛАРУСИ И АНАЛИЗ ПУТЕЙ ИХ ОПТИМИЗАЦИИ

К. К. АЛЕКСАНДРОВИЧ, М. П. МИШКОВА
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

В условиях глобализации и стремительного развития технологий венчурное финансирование становится одним из ключевых драйверов инновационной экономики. Оно играет особую роль в поддержке стартапов и малых инновационных предприятий, которые часто сталкиваются с нехваткой традиционных источников финансирования, но обладают высоким потенциалом роста. В Республике Беларусь, как и во многих других странах, наблюдается растущий интерес к развитию венчурного капитала как инструмента стимулирования предпринимательской активности и модернизации экономики [1]. *Цель данной статьи* – экономическая оценка существующих механизмов венчурного финансирования в Беларуси, анализ проблем их функционирования и выработка предложений по их оптимизации.

Венчурное финансирование в Беларуси находится на этапе становления и характеризуется ограниченным числом активных венчурных фондов и бизнес-ангелов. Основными игроками на этом рынке являются институты развития, созданные при поддержке государства, а также отдельные частные инициативы [2]. Несмотря на растущий интерес к инновационным проектам, объемы венчурных инвестиций остаются относительно небольшими по сравнению с развитыми экономиками. Это обусловлено рядом факторов, в том числе недостаточной сформированностью институциональной среды, ограниченностью доступного капитала, низкой культурой инвестирования в рискованные проекты и недостаточной готовностью стартапов к привлечению венчурных инвестиций [1]. Основными инструментами, которые сейчас применяются в Беларуси, являются государственные фонды развития, частные венчурные фонды, инвестиционные платформы (краудфандинг) и программы поддержки стартапов (инкубаторы и акселераторы) [3]. Экономическая оценка существующих механизмов показывает их высокую зависимость от государственной поддержки, что может создавать риски для долгосрочного устойчивого развития. Рынок «второй» и «третьей» стадий финансирования недостаточно развит, что затрудняет масштабирование успешных проектов.

Анализ существующих механизмов позволяет выделить ряд ключевых проблем, сдерживающих развитие венчурного рынка в Беларуси: нехватка «умных денег» – не только финансового капитала, но и экспертной поддержки, наставничества и доступа к сетям контактов; низкий уровень венчурной культуры как у инвесторов, так и у предпринимателей, что приводит к

нереалистичным ожиданиям и сложностям в переговорах; регуляторные барьеры, такие как недостаточная гибкость законодательства и сложности в процедурах регистрации и защиты интеллектуальной собственности; отсутствие развитой инфраструктуры, в том числе качественных инкубаторов, акселераторов и надежных каналов поиска и оценки проектов; высокие риски и короткий горизонт инвестирования, характерные для развивающихся рынков.

Для решения выявленных проблем и стимулирования развития венчурного рынка в Беларуси необходимо комплексное применение следующих мер. Важно стимулировать частные инвестиции через создание синдицированных фондов с государственным участием, предоставление налоговых льгот для инвесторов и развитие институтов бизнес-ангелов. Необходимо развивать инфраструктуру поддержки стартапов, масштабируя работу акселераторов и инкубаторов, а также создавая цифровые платформы для поиска и оценки проектов. Совершенствование нормативно-правовой базы, включая упрощение процедур регистрации, улучшение защиты интеллектуальной собственности и развитие законодательства о коллективных инвестициях, также является критически важным. Повышение венчурной грамотности с помощью образовательных программ и популяризация успешных кейсов, а также международная интеграция путем привлечения иностранных инвесторов и создания совместных фондов дополнят комплекс мер по оптимизации.

Развитие венчурного финансирования в Беларуси является стратегическим императивом для перехода к инновационной модели экономики. Существующие механизмы, несмотря на определенный прогресс, требуют существенной оптимизации. Акцент должен быть сделан на стимулировании частного капитала, совершенствовании инфраструктуры, упрощении регуляторной среды и повышении уровня венчурной грамотности. Комплексный подход, сочетающий государственную поддержку с активным участием частного сектора и международных партнеров, позволит создать благоприятную экосистему для развития венчурного бизнеса, привлечения инвестиций и ускорения инновационного развития страны [2, 3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные показатели инновационной деятельности Республики Беларусь, 2023 : стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Мн. : Нац. стат. комитет Респ. Беларусь, 2023. – 86 с. – URL: https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/148/1483275d600d42c463f07cd791720551.pdf (дата обращения: 17.09.2026).

2. Концепция развития малого и среднего предпринимательства в Республике Беларусь на 2023–2025 годы // Совет Министров Республики Беларусь. – URL: https://www.government.by/ru/content/16787 (дата обращения: 17.09.2026).

3. Национальный банк Республики Беларусь. Официальный сайт. – Мн. – URL: https://www.nbrb.by (дата обращения: 17.09.2026).

УДК 658.81

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗМЕРЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПРОДВИЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТОВАРОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Н. А. АЛЕКСЕЕВА
Удмуртский государственный аграрный университет
Ижевск, Россия

Развитие цифровой экономики вносит дополнительные риски в деятельность промышленных предприятий, связанные с организацией предварительной коммуникации с потребителями продукции, необходимостью представления продукции одновременно в нескольких каналах продвижения, быстротой и качеством подготовки коммерческого предложения, контролем наличия готовых к продаже товаров, полнотой условий поставок товара и др.

Внутренние рынки промышленных товаров отличаются высокой зависимостью от степени развития инженерной и транспортной инфраструктуры, больших объемов инвестиций в НИОКР, а также составом участников цепей поставок. Они функционируют в зависимости от уровня цифровой зрелости предприятий-контрагентов и качества межорганизационного взаимодействия. Поэтому оценка эффективности продвижения промышленных товаров не может быть традиционной, нацеленной на рекламу и определение динамики и структуры продаж. Цифровые технологии диктуют комбинированный подход к оценке эффективности продвижения промышленных товаров, основанный на интеграции маркетинговых, коммерческих, логистико-сервисных и цифровых показателей системы продвижения промышленных товаров. Недостаток научно-методических подходов сформировался именно в направлении измерения комплексного эффекта от взаимодействия всех управленческих сервисов на предприятиях. Слабым местом является также оценка неформального подхода к организационным изменениям на предприятии.

Существующие методические подходы и методики оценки эффективности систем продвижения промышленной продукции на рынках измеряют отдельно маркетинговую результативность, коммерческие результаты, логистику или уровень цифровизации управления. При этом зачастую игнорируются аспекты качества продукции и обслуживания клиентов. На это указали М. Е. Цой и В. Ю. Щеколдина [4, с. 96]. А. А. Чурсин и Т. В. Кокуйцева представили методику формирования интегрального показателя для оценки цифровой зрелости предприятия, но базировали ее на традиционных технико-технологических и финансово-экономических показателях [5, с. 450]. О. В. Жданеев разработал интегральный показатель для оценки уровня локализации продукции топливно-энергетического комплекса, состоящий из комбинации статей затрат, участвующих в цепочке создания стоимости продукции [2, с. 782]. Э. М. Финкельзон и соавторы предложили методику оценки эффективности маркетплейсов для

продукции легкой промышленности, отличающуюся дополнением традиционных финансово-экономических, конкурентных, технологических показателей экологическими критериями [3, с. 115]. Вышеуказанные методики не раскрывают вопросы применения платформенных решений в анализе системы продвижения промышленных товаров.

Авторский методический подход основан на предположении, что эффективность системы продвижения промышленных товаров на внутренних рынках может быть достаточно обоснованной при условии интеграции разнонаправленных показателей в единый индекс, если им придать соизмеримый вид. Интегральный индекс эффективности системы продвижения товаров определяется как взвешенная сумма нормированных коэффициентов, отражающих трафик цифровых каналов, количество и стоимость лидов продаж, уровень конверсии лидов в заказы, стоимость привлечения одного покупателя, длительность обслуживания заказа, удовлетворенность от покупки, уровень цифровой зрелости, состоящий из десяти показателей, – всего 29 показателей, сформированных по четырем блокам. Считаем важным выделить два показателя из блока цифровой зрелости предприятия, подробно описанные в [1, с. 80]: показатель структурной избыточности системы, показывающий изменение количества функциональных связей в системе управления предприятием, и индекс центральности системы, показывающий уровень централизации управления.

Апробация методики на примере регионального ремонтно-сервисного предприятия по обслуживанию нефтяных скважин показала, что базовое состояние системы управления предприятия оценивалось в 2,97 балла, а текущее состояние, с учетом всех организационно-экономических и технологических решений, – в 3,92 балла, т. е. управляемость предприятия улучшилась.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алексеева, Н. А.** Введение в системный анализ : учеб. пособие / Н. А. Алексеева. – Ижевск : Удмурт. гос. аграр. ун-т, 2023. – 96 с.

2. **Жданеев, О. В.** Оценка уровня локализации продукции при импортозамещении в отраслях ТЭК / О. В. Жданеев // Экономика региона. – 2022. – Т. 18, № 3. – С. 770–786.

3. Оценка эффективности маркетплейсов как фактора обеспечения развития предприятий легкой промышленности / Э. М. Финкельзон, Л. В. Нефедова, Е. А. Пришляк, Д. Б. Шальмиева // Дизайн и технологии. – 2024. – № 104 (146). – С. 106–117.

4. **Цой, М. Е.** Сегментация потребителей промышленного оборудования на основе MRFM-анализа / М. Е. Цой, В. Ю. Щеколдин // Управленец. – 2023. – Т. 14, № 2. – С. 90–99.

5. **Чурсин, А. А.** Развитие методов оценки цифровой зрелости организации с учетом регионального аспекта / А. А. Чурсин, Т. В. Кокуйцева // Экономика региона. – 2022. – Т. 18, № 2. – С. 450–463.

УДК 338.45:665.6(575.4)

ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПРИРОДНОГО ГАЗА КАК НАПРАВЛЕНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ТУРКМЕНИСТАНА

Н. АРАЗДУРДЫЕВ, С. БАЛТАЕВА
Туркменский сельскохозяйственный институт
Дашогуз, Туркменистан

Природный газ является одним из важнейших природных ресурсов Туркменистана и занимает значительное место в национальной экономике. В современных условиях особое значение приобретает не только добыча и экспорт газа, но и его глубокая переработка с целью производства продукции с высокой добавленной стоимостью. Поэтому развитие газохимии является важным направлением модернизации и диверсификации промышленности страны.

Современная переработка природного газа позволяет получать полимеры, синтетическое топливо, удобрения, химические полуфабрикаты и другую промышленную продукцию. Формирование цепочки «природный газ → переработка → химическое сырьё → полимеры и химическая продукция → готовые изделия» способствует увеличению добавленной стоимости и более эффективному использованию природных ресурсов.

Для Туркменистана это особенно актуально, поскольку, по данным Всемирного банка, в 2024 г. нефть, природный газ и нефтепродукты составляли 84,9 % общего экспорта страны. Одновременно наблюдался рост несырьевого экспорта, включая удобрения, пластмассы и другую промышленную продукцию, что подчёркивает необходимость дальнейшего развития переработки углеводородного сырья внутри страны [1].

В Туркменистане уже сформирована производственная база для развития газохимии. Важным примером является газохимический комплекс в Киянлы, производящий полиэтилен и полипропилен. Эти материалы применяются в производстве труб, упаковки, плёнки, строительных и других изделий, создавая возможности для развития смежных производств [2].

Другим направлением является производство синтетического топлива. В Ахалском велаяте действует предприятие по производству бензина из природного газа, демонстрирующее возможности технологического преобразования газового сырья в жидкое топливо [3]. Развитие отрасли продолжается: в апреле 2025 г. было объявлено о рамочном соглашении по созданию нового газохимического комплекса в Балканском велаяте с участием международной компании Mitsubishi Heavy Industries [4].

Экономическое значение глубокой переработки заключается прежде всего в создании дополнительной добавленной стоимости. Производство полимеров и химической продукции позволяет расширять межотраслевые связи, создавать новые предприятия и увеличивать долю продукции с более высокой степенью переработки в экспорте. При этом конкурентоспособность такой продукции зависит от её качества, себестоимости, стабильности поставок и эффективности логистики [1, 2].

Развитие газохимии способствует также созданию новых рабочих мест и повышению спроса на квалифицированные кадры. Современные предприятия нуждаются в инженерах, технологах, химиках, специалистах по автоматизации, контролю качества и промышленной безопасности. Поэтому развитие отрасли должно сопровождаться совершенствованием профессиональной подготовки специалистов.

Вместе с тем глубокая переработка природного газа требует значительных инвестиций, современного оборудования, технологического обновления и квалифицированного персонала. Важным условием является повышение энергоэффективности и экологической безопасности производства. Особое внимание необходимо уделять снижению промышленных выбросов, рациональному использованию воды и энергии, контролю отходов и сокращению выбросов метана. В 2025 г. представители Государственного концерна Türkmengaz сообщали о внедрении систем мониторинга выбросов метана с использованием спутникового и наземного наблюдения [5].

Перспективным направлением является дальнейшее расширение производства полимеров и химических полуфабрикатов, увеличение степени переработки полимерного сырья и развитие выпуска готовых изделий. Использование автоматизации, искусственного интеллекта и промышленного интернета вещей может повысить эффективность, надёжность и безопасность газохимических производств.

Таким образом, глубокая переработка природного газа является важным направлением модернизации промышленности Туркменистана. Она позволяет повышать эффективность использования природных ресурсов, создавать продукцию с высокой добавленной стоимостью, развивать смежные отрасли, создавать рабочие места и расширять экспортный потенциал. Опыт Киянлинского газохимического комплекса, предприятия по производству бензина из природного газа в Ахалском велаяте и новые проекты в Балканском велаяте свидетельствуют о развитии газохимического направления [2–4]. Перспективной задачей остаётся дальнейшее углубление производственной цепочки – от добычи природного газа до выпуска готовой промышленной продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Bank. Turkmenistan: Overview. – Washington, D.C.

2. Государственный информационный ресурс Туркменистана. Материалы о развитии нефтегазового и газохимического комплекса Туркменистана.

3. Государственный информационный ресурс Туркменистана. Нефтегазовый сектор Туркменистана: приоритеты 2026 года. – 2026.

4. Государственный информационный ресурс Туркменистана. Новый газохимический комплекс появится в Балканском велаяте. – 17.04.2025.

5. Государственный информационный ресурс Туркменистана. Материалы о мониторинге и сокращении выбросов метана в нефтегазовой отрасли.

УДК 338.45:004(575.4)

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТУРКМЕНИСТАНА КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

С. АРАЗГЕЛЬДИЕВА, С. БАЛТАЕВА
Туркменский сельскохозяйственный институт
Дашогуз, Туркменистан

Современное промышленное производство развивается в условиях активного внедрения цифровых технологий. Автоматизация, искусственный интеллект, промышленный интернет вещей (IoT), цифровое моделирование и анализ производственных данных становятся важными инструментами повышения эффективности предприятий. Их применение позволяет рациональнее использовать сырьё и энергию, повышать качество продукции, сокращать производственные потери и снижать затраты.

Для Туркменистана цифровизация промышленности имеет особое значение в условиях модернизации экономики, диверсификации производства, расширения выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью и повышения экспортного потенциала. Государственная программа развития цифровой экономики Туркменистана на 2026–2028 годы предусматривает дальнейшее внедрение цифровых технологий и развитие современной цифровой инфраструктуры [1]. Концепция развития цифровой экономики также рассматривает цифровизацию как важное направление технологического обновления экономики [2].

Промышленный сектор Туркменистана включает нефтегазовую, химическую, текстильную, пищевую промышленность, производство строительных материалов и другие отрасли. В современных условиях конкурентоспособность предприятий определяется не только объёмом производства, но и качеством продукции, производительностью труда, уровнем затрат, эффективностью использования ресурсов и способностью адаптироваться к изменениям рынка. Цифровые технологии позволяют воздействовать на каждый из этих факторов.

Одним из основных направлений цифровизации является автоматизация производственных процессов. Использование датчиков и автоматизированных систем обеспечивает постоянный контроль температуры, давления, расхода сырья, электроэнергии и других параметров. Это позволяет своевременно выявлять отклонения и снижать вероятность производственных сбоев. Особенно актуально применение таких технологий в нефтегазовой и химической промышленности [3].

Перспективным направлением является использование искусственного интеллекта для анализа производственных данных, прогнозирования состояния оборудования, выявления неисправностей и оптимизации технологических процессов. В химической промышленности Туркменистана отмечается внедрение элементов концепции «Индустрия 4.0» и современных интеллектуальных технологий [4]. Промышленный интернет вещей, объединяющий оборудование,

датчики и информационные системы, создаёт условия для постоянного мониторинга и перехода от устранения неисправностей к их предупреждению.

Цифровизация также способствует повышению энергоэффективности. Цифровой контроль позволяет выявлять наиболее ресурсоёмкие процессы и непроизводительные потери электроэнергии, топлива и воды, что способствует одновременному снижению затрат и повышению экологической эффективности производства [3, 5].

Важное значение цифровые технологии имеют для управления качеством, запасами и логистикой. Цифровой мониторинг позволяет своевременно выявлять отклонения в ходе производства, снижать вероятность выпуска некачественной продукции, а объединение данных о сырье, запасах, поставках и производственных планах повышает эффективность управления ресурсами.

Вместе с тем цифровая трансформация требует модернизации производственного оборудования, развития цифровой инфраструктуры и подготовки квалифицированных кадров. Предприятиям необходимы специалисты в области автоматизации, цифрового управления, анализа данных, программирования и информационной безопасности. Важная составляющая цифровой модернизации – защита производственной информации и обеспечение кибербезопасности.

Рациональным подходом является поэтапная цифровизация предприятий: определение наиболее перспективных процессов, реализация пилотных проектов, оценка полученных результатов и последующее распространение эффективных решений.

Таким образом, цифровизация промышленного производства Туркменистана является важным фактором технологической модернизации и повышения конкурентоспособности предприятий. Автоматизация, искусственный интеллект, промышленный интернет вещей и цифровые платформы создают возможности для повышения производительности труда, улучшения качества продукции, снижения затрат и более рационального использования ресурсов [1–5]. Дальнейшее развитие цифровой промышленности требует комплексного подхода, включающего модернизацию оборудования, развитие инфраструктуры, подготовку кадров и обеспечение информационной безопасности. Это будет способствовать диверсификации промышленности и расширению выпуска конкурентоспособной продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная программа развития цифровой экономики в Туркменистане на 2026–2028 годы. – Ашхабад, 2026.

2. Концепция развития цифровой экономики в Туркменистане на 2026–2028 годы. – Ашхабад, 2026.

3. Официальный сайт Туркменистана. Материалы о развитии цифровой экономики и промышленности Туркменистана.

4. Официальный сайт Туркменистана. Материалы о развитии химической промышленности и внедрении технологий «Индустрии 4.0».

5. World Bank. Turkmenistan: Overview. – Washington, D. C.

УДК 004.8

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЛОКАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОМЫШЛЕННОГО ВИДЕО

А. Е. АРХИПОВ, А. С. ЛОПАТКО, И. И. МАКСИМОВ
Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

Автоматический контроль соблюдения требований безопасности по видеоданным затруднён одновременным присутствием нескольких типов неопределённости: изменением ракурса и освещения, перекрытием людей и оборудования, временной протяжённостью действий и неоднозначностью отдельного кадра. Применение только детектора объектов позволяет локализовать человека, но не определяет смысл производственной ситуации [1]. В работе предложена локальная интеллектуальная система MU Video Control, объединяющая детекцию, трекинг, видеоклассификацию, формализованные правила и дополнительный анализ локальной мультимодальной моделью.

Система выполнена как модульное web-приложение на Python и Flask. Видеоданные поступают из файла, web-камеры либо RTSP-потока. Для детекции людей применяется модель семейства YOLO [2]. При отсутствии весов предусмотрен CPU-режим на основе OpenCV HOG. Центроидный трекер присваивает объектам идентификаторы, а MediaPipe формирует позные ориентиры [3]. Параллельно специализированная VideoMAE обрабатывает окно из 16 кадров и относит ситуацию к одному из восьми производственных классов [4]. Независимые правила обнаруживают падение, скачок скорости, длительное присутствие и нераспознанное действие.

В отличие от схемы, в которой большая языковая модель анализирует каждый кадр, в предложенной архитектуре локальная VLM подключается только к сформированным событиям. Инциденты помещаются в неблокирующую очередь, поэтому задержка ответа VLM не останавливает видеоконвейер. Модель LM Studio либо Ollama получает evidence-кадр и исходный триггер, после чего уточняет уровень риска, формирует русскоязычное описание и рекомендацию оператору. При недоступности VLM сохраняется первичная оценка VideoMAE или правила, что обеспечивает функциональную деградацию без полного отказа.

Операторский интерфейс включает разделы мониторинга, инцидентов, аналитики, правил и администрирования. В интерфейсе отображаются активный источник, детектор, прогноз VideoMAE, состояние очереди VLM и число обработанных событий. Для инцидента доступны evidence, подтверждение, отметка ложного срабатывания и ручная повторная AI-проверка. Аналитический раздел строит временной график, распределения типов, рисков и статусов, экспортирует таблицы и формирует AI-резюме выбранного периода. Журнал сохраняется в CSV, JSON или TXT. Действия пользователей фиксируются в аудите.

Практический эксперимент включал последовательное открытие локальных видеозаписей, распознавание небезопасных фрагментов, сохранение evidence и автоматическую обработку локальной VLM. Подтверждена работа OpenAI-совместимого сервера LM Studio с моделью qwen/qwen3.6-35b-a3b: для реального кадра получены описание события и рекомендация без передачи изображения во внешнее облако.

Разработанный прототип реализует полный цикл – от получения видеопотока до решения оператора. Каскадное соединение специализированной видеомодели, интерпретируемых правил и локальной VLM снижает вычислительную нагрузку и сохраняет работоспособность при отказе отдельных компонентов. Система может быть использована как основа пилотного мониторинга производственного участка. Для промышленного внедрения требуются калибровка на целевых камерах, испытания RTSP-reconnect, регламент хранения evidence и оптимизация inference.

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. **Глазкова, И. А.** К вопросу формализации функционирования сложных систем распознавания образов / И. А. Глазкова, М. А. Ивановский, Б. Х. М. Эль Эиссави // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2024. – Т. 30, № 1. – С. 42–52.

2. YOLOv10: Real-Time End-to-End Object Detection / A. Wang, H. Chen, L. Liu [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2024. – Vol. 37.

3. **Никитников, Ю. В.** Применение компьютерного зрения при разработке системы опорно-двигательной реабилитации / Ю. В. Никитников, В. С. Круглов, М. А. Шильцын // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 24–25 окт. 2023 г. – Тамбов : ТГТУ, 2023. – Вып. 9. – С. 177–179.

4. VideoMAE V2: Scaling Video Masked Autoencoders With Dual Masking / L. Wang, B. Huang, Z. Zhao [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2023. – P. 14549–14560.

УДК 004.738

АНАЛИЗ ПРОГРАММ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

С. П. БЕРЕЗОВСКИЙ, Е. Е. ИСТРАТОВА
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, Россия

Актуальность работы обусловлена тем, что техническое состояние оборудования на любом промышленном предприятии является одним из ключевых факторов, влияющих на выпуск продукции. В связи с этим своевременная профилактика существенно снижает риски остановки оборудования из-за неисправностей. Для осуществления диагностики станков и механизмов в промышленном интернете вещей используются различные программные продукты, позволяющие на основании сбора и обработки данных с датчиков выполнять анализ отклонений и прогнозировать техническое состояние промышленного оборудования [1].

Цель работы заключалась в проведении сравнительного анализа программ для автоматизированной диагностики технического состояния промышленного оборудования.

В ходе предварительного исследования источников литературы было установлено, что процесс определения неисправностей может осуществляться по-разному. Наиболее простые программные решения сопоставляют собираемые характеристики оборудования с установленными пределами и, в случае отклонения от нормативных значений, формируется предупреждение о возможных неисправностях [2]. Более сложные программы анализируют изменение показателей технического состояния оборудования в режиме реального времени, идентифицируют нетипичное поведение и оценивают вероятность отказа. Подобная предиктивная диагностика относится к методам неразрушающего контроля и является перспективным направлением развития систем мониторинга технологического оборудования в условиях цифрового производства [3].

Для проведения сравнительного анализа были выбраны наиболее популярные программные продукты, позволяющие осуществлять экспресс-диагностику в режиме реального времени с последующим анализом полученных результатов. К подобным решениям относятся следующие: Siemens Senseye Predictive Maintenance, PTC ThingWorx и IBM Maximo Predict.

Программный продукт Siemens Senseye Predictive Maintenance предназначен для предиктивного обслуживания. В систему могут передаваться данные о температуре, вибрации, силе тока, крутящем моменте и других параметрах. Программа анализирует эти параметры с применением машинного обучения и формирует сведения о техническом состоянии промышленного оборудования и возможных сбоях в его работе. Такое решение удобно, когда сбор данных уже

организован, а предприятию нужен готовый инструмент для раннего выявления неисправностей.

PTC ThingWorx представляет собой промышленную платформу на основе технологии индустриального интернета вещей, позволяющую осуществлять сбор данных, визуализацию параметров, вывод предупреждений о техническом состоянии оборудования. Программа работает в режиме реального времени и позволяет настраивать собственные правила оценивания параметров для контроля технического состояния.

Программное решение IBM Maximo Predict использует текущие и исторические данные о работе промышленного оборудования, а также сведения о проведенных ремонтных работах, осмотрах и условиях эксплуатации. На их основе производится расчет вероятности отказа оборудования, предполагаемого времени до отказа и признаков аномального поведения. Причем отличительной особенностью программы является взаимосвязь модуля диагностики с системой технического обслуживания и историей выполненных работ.

В качестве критериев сравнения программных продуктов были выбраны следующие: точность диагностики технического состояния оборудования; возможность взаимодействия с модулем технического обслуживания.

Таким образом, на основе сопоставления функций программного обеспечения было выявлено, что решение Siemens Senseye Predictive Maintenance больше ориентировано на выполнение предиктивной диагностики технического состояния оборудования, тогда как программа PTC ThingWorx используется для объединения различного оборудования в систему промышленного интернета вещей и самостоятельной настройки параметров диагностики. По точности диагностики Siemens Senseye Predictive Maintenance несколько опережает два других решения, но уступает IBM Maximo Predict по возможности интеграции с модулем технического обслуживания. PTC ThingWorx имеет минимальные возможности взаимодействия с модулем технического обслуживания, но средний уровень точности диагностики технического состояния промышленного оборудования, практически не уступая другим программам. IBM Maximo Predict целесообразно использовать, если необходимо сопоставление данных мониторинга с информацией о проведенном техническом обслуживании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Денисов, С. Г.** Программное обеспечение для физической части цифрового двойника и связи его элементов / С. Г. Денисов // Бюллетень инновационных технологий. – 2024. – № 3 (31). – С. 10–14.

2. **Верзун, Н. А.** Разработка и исследование метода обучения с подкреплением для акустической диагностики промышленного оборудования / Н. А. Верзун, М. О. Колбанёв, А. Р. Салиева // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2025. – № 5. – С. 961–970.

УДК 656.1

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Т. А. БОРОДИЧ, А. М. ТАРАСОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Транспорт является одним из ключевых элементов инфраструктуры рыночной экономики, во многом определяющим результативность социально-экономического развития как государства в целом, так и его отдельных территорий. Для повышения эффективности, надежности и снижения эксплуатационных расходов троллейбусного парка ключевыми являются модернизация энергетической инфраструктуры, цифровизация управления парком и внедрение новых конструкционных материалов.

Проведенный в ходе исследования анализ эффективности деятельности одной из организаций, входящих в состав ОАО «Могилевоблавтотранс», позволил выявить следующую негативную тенденцию:

– опережающий рост себестоимости по отношению к выручке от реализации обусловил увеличение убытка от реализации с 910 тыс. р. в 2023 г. до 1 549 тыс. р. в 2024 г. и до 2 185 тыс. р. в 2025 г.;

– рост объема производства услуг в 2024 г. составил 111,2 %, в 2025 г. – 109,1 % относительно предыдущего года, тогда как рост затрат составил 114,0 % и 111,4 % соответственно, что привело к росту убытка от основной деятельности.

В 2025 г. в структуре затрат материальные затраты занимали 20,05 %, оплата труда – 49,0 %, отчисления на социальные нужды – 17,02 %, амортизация – 8,1 %, прочие – 5,83 %. Рост затрат на 1 р. оказанных услуг с 1,05 р. в 2023 г. до 1,1 р. в 2025 г. отражает ухудшение соотношения выпуска и затрат и указывает на снижение эффективности деятельности по перевозке пассажиров.

Таким образом, наличие значительных убытков от основной деятельности указывает на низкую эффективность выполнения пассажирских перевозок троллейбусным парком. Основная причина данного явления заключается в государственном регулировании тарифов на пассажирские перевозки.

Для оценки конкурентоспособности предприятия были отобраны качественные критерии оценки конкурентоспособности и перечень предприятий для сравнительного анализа.

В результате проведенной оценки было выявлено, что для роста конкурентоспособности троллейбусного парка необходимы как технические мероприятия (инвестиции в новую технику), так и организационные, направленные на внедрение менеджмента качества и совершенствование работы с потребителем.

В качестве приоритетных направлений развития современного городского электрического транспорта следует выделить несколько взаимосвязанных групп инновационных решений.

Первую группу образуют энергетические технологии и системы автономного хода. Ключевым вектором трансформации отрасли выступает переход от классического троллейбуса к транспортному средству с увеличенным автономным ходом (ТУАХ). Применение гибридных накопителей энергии, объединяющих литий-титанатные аккумуляторы (LTO) и суперконденсаторы, обеспечивает возможность быстрой зарядки в течение 10...20 мин и длительный срок службы, достигающий 15 000 циклов, в том числе при экстремальных температурных воздействиях. Суперконденсаторы позволяют эффективно улавливать до 100 % энергии рекуперации, высвобождаемой при торможении. Дополнительным направлением является внедрение инверторных тяговых подстанций, способных возвращать избыточную электроэнергию, полученную в результате торможения подвижного состава, в городскую электросеть либо перенаправлять её на участки с повышенным энергопотреблением. Существенное значение приобретают также автоматические штангоуловители с дистанционным управлением, позволяющие водителю осуществлять опускание и подъём токоприёмников нажатием кнопки из кабины с использованием направляющих элементов на контактной сети, что сокращает простои и исключает необходимость выхода водителя на проезжую часть.

Вторую группу составляют цифровые технологии и интеллектуальные транспортные системы, предполагающие управление парком на основе больших данных и искусственного интеллекта. Предиктивная аналитика технического состояния реализуется посредством установки телеметрических датчиков на ключевые узлы подвижного состава (тяговый электродвигатель, компрессор, инверторы), при этом искусственный интеллект анализирует параметры вибрации, токов и температур, прогнозируя возникновение неисправности до её фактического наступления, что позволяет исключить внезапные сходы с линии. Динамическая диспетчеризация на базе систем ГЛОНАСС/GPS обеспечивает автоматический контроль интервалов движения и пересчёт графиков в режиме реального времени при возникновении отклонений. Создание цифрового двойника парка предполагает формирование виртуальной копии всей инфраструктуры (депо, контактной сети, подстанций, маршрутов) для моделирования нагрузок, планирования ремонтных работ и оптимизации энергопотребления.

Третья группа связана с автоматизацией депо и обеспечением безопасности. Системы помощи водителю (ADAS) и контроля усталости на основе камер с искусственным интеллектом отслеживают направление взгляда, частоту моргания и положение рук на руле, предупреждая о признаках утомления или отвлечения, а также сигнализируют о наличии слепых зон и пешеходов. Роботизированная мойка и бесконтактный осмотр с применением лазерных сканеров на въезде в депо позволяют автоматически измерять геометрию штанг, степень износа угольных вставок и состояние колёсных пар без участия человека.

Таким образом, применение инновационных технологий в деятельности современного троллейбусного парка позволяет повысить конкурентоспособность его деятельности на рынке транспортных услуг и снизить затраты на осуществление перевозок.

УДК 622.8

ПЕТРУРГИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРЕЛЫХ ПОРОД ОТВАЛОВ ШАХТ КУЗБАССА

М. А. БРЫЗГАЛОВ
ООО «Проминновации»
Кемерово, Россия

В российской угольной промышленности из более чем 2 млрд т добываемой горной массы на уголь приходится порядка 20 %. Оставшаяся масса уходит в отвалы, степень утилизации которых не превышает 4 %. Поэтому весьма перспективным является возможность вовлечения в производственный оборот огромной массы техногенных отходов отвалов вскрышных пород. Использованием этих отходов можно пополнить сырьевую базу нерудных технологичных материалов.

Проведены исследования с целью применения горелых пород отвалов шахт для производства современных материалов. Развитие современных инновационных технологий производства материалов предопределяет использование в качестве дополнительных источников сырья техногенных отходов. Это обусловлено, с одной стороны, истощением запасов природного сырья, с другой – интенсивным накоплением промышленных отходов [3].

Переработка горелых пород шахтных выработок имеет определенные сложности из-за тугоплавкости этих пород и высокого брака изделий за счет непостоянства химического состава [1]. Кроме того, горелые породы являются высококислотными [2].

Разработаны методы модифицирования химического и минерального состава горелых пород отвалов шахт для производства современных материалов. При добавлении подшихтовочного материала получается продукция довольно высокого качества (огнеупорность горелых пород шахтных отвалов находится в пределах от 1 250 °С до 1 400 °С). Получены образцы каменной керамики, защитных антикоррозионных покрытий.

Созданы физико-химические основы для комплексной переработки горелых пород отвалов шахт, имеющих высокую кислотность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Липовский, И. Е.** Исследование некоторых механических и теплофизических свойств каменного литья в зависимости от строения и температуры : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.00.00 / Липовский Илья Евсеевич ; АН УССР. Объедин. учен. совет техн. наук. – Киев, 1966. – 17 с.

2. **Липовский, И. Е.** Основы петрургии / И. Е. Липовский, В. А. Дорофеев. – М. : Металлургия, 1972. – 320 с.

3. Производство и применение изделий из каменного литья / А. И. Сибилев, И. Е. Липовский, В. А. Дорофеев, Н. А. Бухавцев. – Сталино : Кн. изд-во, 1960. – 83 с.

УДК 621.926.85

ПУТИ СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОМБИНИРОВАННЫХ СТРУЙНЫХ МЕЛЬНИЦАХ

С. Б. БУЛГАКОВ, Д. В. СЁМКИН
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Снижение удельных энергозатрат при измельчении сверхтвердых материалов (СТМ) остаётся одной из ключевых проблем в производстве микро- и нанопорошков. Традиционные шаровые и планетарные мельницы обеспечивают высокую степень измельчения, однако удельный расход энергии в них достигает 161 000 кВт·ч/т, что делает процесс экономически нецелесообразным для крупнотоннажного производства [2]. Комбинированные струйные мельницы, сочетающие противоточное и вихревое измельчение с интегрированной классификацией, позволяют существенно снизить энергопотребление за счёт изменения гидродинамики потоков и организации замкнутого цикла [1].

Рассмотрим возможные пути и способы снижения энергозатрат при измельчении СТМ.

1. Оптимизация давления энергоносителя. Экспериментальные исследования показывают, что при повышении давления газа до 1,0 МПа частицы разрушаются преимущественно ударным способом, а не истиранием, что увеличивает производительность и уменьшает удельные затраты энергии на 20 %...30 % по сравнению с режимами низкого давления [2]. Для СТМ, обладающих высокой хрупкостью, ударное разрушение является энергетически более выгодным, поскольку не сопровождается пластической деформацией и нагревом продукта.

2. Усиление соударений частиц за счёт другой геометрии разгонных сопел и создания трёхпоточного столкновения. Когда сопла располагают под углом 120°, частицы разгоняются сильнее, а область наиболее интенсивного измельчения становится более локальной внутри камеры. За счёт этого уменьшается доля энергии, которая тратится на перемещение газа без полезного эффекта, и возрастает концентрация материала в зоне удара.

3. Использование перегретого пара как энергоносителя. Паровая струйная мельница имеет лучшие энергетические показатели, чем установка со сжатым воздухом: кинетическая энергия струи становится почти в 4 раза выше. Это даёт возможность либо повысить производительность, либо уменьшить давление подачи. Для СТМ, которые переносят кратковременный нагрев без ухудшения свойств, пароструйное измельчение считается перспективным [3].

4. Частичная замена механического измельчения предварительной обработкой, которая снижает прочность материала. Например, если в сверхзвуковом потоке одновременно действуют резкие температурные перепады и акустические

волны, по границам зёрен формируются микротрещины. После этого частицы разрушаются при заметно меньших энергозатратах [2].

5. Объединение измельчения и классификации в одном корпусе с работой по замкнутому циклу. Струйная мельница с псевдоожиженным слоем и встроенным динамическим классификатором позволяет постоянно выводить готовый продукт из зоны помола. Это препятствует переизмельчению и исключает непроизводительный расход энергии на частицы, уже имеющие нужную крупность [1].

6. Оптимизация режима диспергирования с учётом кинетики разрушения. Если перейти к условиям, выбранным по критерию максимальной удельной поверхности при минимальной энергии, удельные энергозатраты можно снизить в 2–2,5 раза. Для этого подбирают рациональную кратность циркуляции материала, не допускают чрезмерной разгрузки струй и поддерживают стабильный расход энергоносителя на единицу массы [2].

7. Применение эффекта самофутеровки помольной камеры. Когда стенки покрываются слоем измельчаемого материала, рабочие поверхности меньше изнашиваются, а потери энергии на трение частиц о металл снижаются. Для СТМ с высокоабразивным действием это особенно важно [4].

Совокупное применение перечисленных путей позволяет снизить удельные энергозатраты при измельчении сверхтвёрдых материалов в комбинированных струйных мельницах. Однако наибольший эффект достигается при комплексной реализации этих решений с учётом индивидуальных свойств конкретного материала и требований к гранулометрическому составу готового продукта [1].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровой двойник комбинированного блока помола струйной мельницы / С. Б. Булгаков, М. В. Тимашев, А. А. Литвишко, Д. В. Сёмкин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 3. – С. 180–192.

2. **Бараковских, Д. С.** Интенсификация процесса измельчения дисперсных материалов в эжекторной струйной мельнице : дис. ... канд. техн. наук : 2.16.13 / Бараковских Дмитрий Сергеевич ; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2022. – 174 л.

3. Сверхтонкое измельчение с помощью пароструйной мельницы s-Jet®. – URL: https://grinding.netzsch.com/ru/produkty-i-resheniia/suhoe-izmelchenie/s-jet-parostruinaia-melnitsa (дата обращения: 19.09.2026).

4. Полезная модель RU 75326 U1, МПК B02C 19/06. Струйная мельница с цилиндрической самофутерующейся камерой помола : № 2008108460/22 : заявлено 04.03.2008 : опубл. 10.08.2008 / Старчик Ю. Ю., Карпачев Д. В., Уваров А. В.; заявитель Белгород. гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова.

УДК 504.7:338.2

СТРУКТУРНАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ЭНЕРГЕТИКИ БЕЛАРУСИ КАК ФАКТОР ДЕКАРБОНИЗАЦИИ

А. А. ВОЛЧЕК, Л. В. ОБРАЗЦОВ, Л. Г. СРЫВКИНА
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

Современный этап развития глобального индустриального производства сопровождается непрерывным увеличением объемов эмиссии антропогенных газов. Международное аналитическое сообщество фиксирует ежегодное обновление исторических максимумов загрязнения атмосферы: к началу 2025 г. общемировые выбросы достигли отметки 53,2 млрд т в эквиваленте диоксида углерода. В условиях нарастания глобального экологического кризиса Республика Беларусь демонстрирует альтернативный вектор развития, характеризующийся долгосрочным и стабильным снижением углеродоемкости внутреннего валового продукта. Данная работа направлена на комплексную оценку выполнения национальной экономикой обязательств Парижского климатического соглашения, а также на определение роли атомной энергетики в достижении прогнозных показателей декарбонизации.

В качестве методологической основы исследования использован подход МГЭИК к оценке выбросов парниковых газов, базирующийся на применении расчетных уровней различной сложности (Tier 1, Tier 2 и Tier 3). Авторами осуществлен сравнительный, хронологический и статистический анализ информационных массивов глобального проекта мониторинга EDGAR [1], отчетных показателей Национального доклада о кадастре парниковых газов [2], формируемого Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Анализ эволюции стратегического планирования Республики Беларусь выявил последовательное повышение амбициозности экологических целей, закрепленных в Определяемых на национальном уровне вкладах (ОНУВ). Если первоначальный документ 2016 г. декларировал безусловное снижение парниковых выбросов на 28 % к 2030 г. относительно базового 1990 г., то действующий ОНУВ-3.0 юридически обязывает государство обеспечить сокращение эмиссии уже не менее чем на 42 % к 2035 г. Качественной трансформацией методологии стало включение в расчеты общего углеродного баланса поглощающей способности лесных и болотных экосистем страны (сектор ЗИЗЛХ), которая ранее оставалась за рамками жесткого государственного планирования.

Статистическое сопоставление баз данных EDGAR и отечественного кадастра Минприроды выявило их высокую сходимость (минимальное расхождение составляет менее 1 %). Международная модель фиксирует падение объемов эмиссии в республике по отношению к 1990 г. на уровне 39,65 % (до 87,491 млн т), в то время как национальный отчет указывает на 40,61 % (без учета ЗИЗЛХ). Незначительное различие обусловлено тем, что EDGAR использует усредненные глобальные коэффициенты (уровень Tier 1), а локаль-

ный кадастр оперирует точной первичной отчетностью Национального статистического комитета Республики Беларусь и детализированными региональными факторами (уровни Tier 2 и Tier 3). При интеграции в расчеты сектора ЗИЗЛХ падение эмиссии достигает 60,68 %, что научно обосновывает ключевую роль высокой лесистости территории Беларуси в нейтрализации углеродного следа.

Главным драйвером структурной перестройки отечественного топливно-энергетического комплекса выступает успешная интеграция Белорусской АЭС в энергосистему страны. Ввод в эксплуатацию двух энергоблоков позволил радикально изменить структуру генерации, снизив доминирующую долю импортируемого природного газа с 96,9 % в 2019 г. до 58,9 % в 2024 г. Безуглеродная атомная энергетика заняла 34,2 % в общем балансе производства электроэнергии (рис. 1).

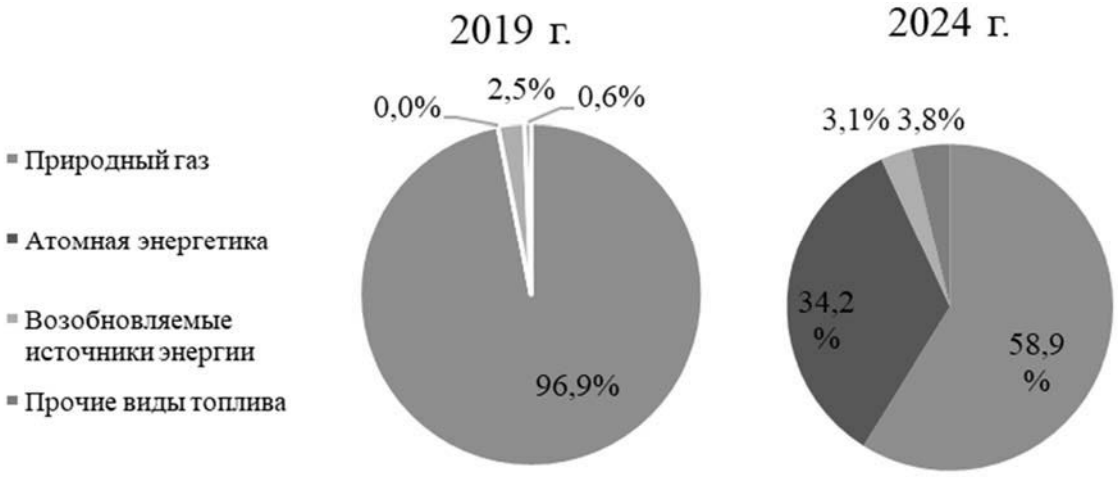


Рис. 1. Изменение структуры производства электроэнергии в Беларуси

Учитывая, что фактический уровень снижения объемов загрязнения уже достиг 39,65 %, для реализации нормативных требований ОНУВ-3.0 (42 % к 2035 г.) национальной экономике необходимо преодолеть остаточный разрыв в размере всего 2,35 %. Достижение этого целевого ориентира обеспечивается реализацией Государственной программы «Устойчивая энергетика и энергоэффективность» на 2026–2030 годы, которая предусматривает снижение энергоемкости ВВП на 4 %. Этому также способствуют перевод промышленного сектора на электрическую энергию и сохранение высокой поглотительной способности природных экосистем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Crippa, M.** GHG emissions of all world countries : 2025 report / M. Crippa ; Joint Research Centre, Publications Office of the European Union. – Luxembourg, 2025. – 293 p. – (JRC Science for Policy Report ; EUR 40443). – URL: euro-pa.eu (date of access: 01.09.2026).

2. Национальный доклад о кадастре парниковых газов Республики Беларусь за 1990–2024 гг. / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, РНИУП «Бел НИЦ «Экология». – Мн., 2025. – URL: unfccc.int (дата обращения: 17.08.2026).

УДК 658.562.3

ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОСХЕМ

О. А. ВОРОНИНА, В. М. ДОНЦОВ, А. С. ТУГАРЕВ
Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева
Орел, Россия

Рассматривая технологический процесс корпусирования кристалла как законченную часть производственного процесса изготовления микросхем, необходимо проанализировать основные проблемы технологических испытаний. Перечень типовых отбраковочных испытаний определён в ГОСТ 18725–83. Как правило, технологические испытания при производстве микросхем включают несколько операций визуального контроля:

– входной контроль кристаллов, корпусов и крышек (либо рамок при посадке кристаллов на рамки);

– контроль качества приклейки кристаллов (правильность и точность позиционирования, форма клеевого пятна по сторонам кристалла, отсутствие клея на поверхности кристалла) [1];

– контроль качества разварки микропроволочных соединений алюминиевой или золотой проволокой (соответствие разварки чертежу, отсутствие касаний и обрыва выводов) [2];

– контроль качества корпусирования: точность позиционирования крышки, форма сварного шва (при использовании металлокерамических корпусов) [3]; форма корпуса, облой, точность вырубки рамки (при корпусировании в пластик);

– контроль маркировки.

Кроме того, как правило, предусматриваются испытания на воздействие изменений температуры среды (в том числе испытания на термоудар), электрический контроль (при нормальной, повышенной и пониженной температуре), электротермотренировка, проверка герметичности.

Визуальный контроль является наиболее простым, но субъективным видом испытаний, напрямую связанным с используемым оборудованием, способом распознавания дефектных изделий и накопленными статистическими данными. Объективизация визуального контроля традиционно выполнялась путём составления альбома фотографий дефектных и бездефектных образцов.

В настоящее время активно внедряются автоматизированные системы контроля, основанные на глубоком машинном обучении [4]. В первую очередь необходимо организовать рабочее место оператора таким образом, чтобы обеспечить наилучшие условия для выявления визуальных дефектов, в частности выбрать освещение, углы установки и разрешение камер.

В процессе работы оператор формирует набор данных (обучающую и тестовую выборки) с типичными дефектами, которые размечаются при настройке системы с искусственным интеллектом и должны быть идентифицированы в ходе автоматизированной и автоматической проверки.

Чаще всего необходима бинарная классификация: годен/брак. Однако подготовка набора данных бывает затруднена тем, что дефектных образцов мало (и не все дефекты, предполагаемые в серийном производстве, могут быть воспроизведены при его освоении – в частности в ходе изготовления изделий установочной серии). Поэтому обязательно должна выполняться аугментация: зеркальное отображение изображения вокруг оси, повороты на углы, кратные 90º, небольшие изменения масштаба изображения, изменения яркости и контрастности. Трещины и сколы на кристаллах также имеют небольшие размеры по сравнению с поверхностью кристалла. Предварительно выполняется операция выделения «областей интереса».

Для поиска дефектов, которые встречаются редко, оказывается затруднительным набрать большую выборку обучающих данных. Здесь удобнее применять автоэнкодеры, обученные на бездефектных изображениях для поиска аномалий.

В случае параметрических дефектов перспективным представляется комплектный подход. Предварительно обученная нейронная сеть обнаруживает области интересов, на которых детерминированный алгоритм выполняет операции измерения. Для контроля геометрии часто нужно использовать не одно изображение, а множество изображений с нескольких камер, установленных под разными углами.

Выполнение электрического контроля часто связано с измерениями динамических величин, таких как скорость нарастания сигнала, время переключения. Электромагнитная обстановка на производственных участках иногда значительно ухудшает шумовые характеристики измерительного оборудования. Требуемые метрологические показатели удаётся достигать при многократных измерениях, однако это значительно увеличивает время испытаний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ методов контроля монтажа кристаллов в корпус / О. А. Воронина, В. М. Донцов, В. В. Мишин [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2025. – № 6 (374). – С. 166–172.

2. Анализ методов контроля микропроволочных соединений / А. С. Тугарев, О. А. Воронина, К. С. Харланова, В. В. Мишин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2023. – № 6 (362). – С. 153–159.

3. **Воронина, О. А.** Контроль и испытания при корпусировании микросхем / О. А. Воронина, В. М. Донцов, А. С. Тугарев // Современные проблемы физико-математических наук : материалы X Всерос. науч.-практ. конф., Орел, 29–30 нояб. 2024 г. – Орел : ОГУ имени И. С. Тургенева, 2024. – С. 331–337.

4. **Ромащенко, М. А.** Методика получения и обработки данных оптической инспекции топологии электронных компонентов / М. А. Ромащенко, Д. В. Васильченко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2024. – Т. 20, № 3. – С. 122–127.

УДК 636.083.312.5

СТРУКТУРА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ЖИВОТНОВОДСТВА В РОССИИ

И. М. ГЛИНКИНА, Н. В. БАЙЛОВА, Н. А. КАШИРИНА
Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I
Воронеж, Россия

Производство продуктов животноводства в России зависит от сложного сочетания экономических, биологических и внешних факторов.

Структура производства основных продуктов животноводства по категориям хозяйств России за последние 10 лет представлена в табл. 1.

Табл. 1. Структура производства основных продуктов животноводства по категориям хозяйств в Российской Федерации

В процентах к общему объёму производства в хозяйствах всех категорий

Категория хозяйства	Год										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	Скот и птица на убой (в живом весе)										
Хозяйства всех категорий	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
В том числе:											
сельскохозяйственные организации	71,6	73,1	74,9	75,9	76,7	77,6	78,1	79,6	80,5	81,4	82,3
хозяйства населения	24,9	23,4	21,6	20,5	19,6	18,6	18,0	16,6	15,7	14,8	14,0
крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели	3,5	3,5	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	3,8	3,8	3,8	3,7
	Скот и птица на убой (в убойном весе)										
Хозяйства всех категорий	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
В том числе:											
сельскохозяйственные организации	74,9	76,3	77,9	79,0	79,8	80,7	81,2	82,6	83,4	84,2	85,2
хозяйства населения	22,1	20,7	19,1	18,0	17,1	16,2	15,6	14,3	13,5	12,7	11,9
крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,1	3,1	3,1	2,9

По отдельным категориям продукции за учитываемый период наблюдался как рост, так и спад. Динамика не всегда была положительной. Наибольшая доля производства скота и птицы приходится на сельскохозяйственные организации. На долю КФХ и КФ приходится около 18 % [1, 2].

Сельскохозяйственные организации произвели скота и птицы на убой (в живом весе) в 2025 г. 82,3 %, что больше, по сравнению с 2015 г., на 11 %. В хозяйствах населения наблюдался спад производства с 24,9 % до 14,0 %. В КФХ величины колеблются и показали рост производства. Самая устойчивая отрасль – птицеводство (по всем категориям хозяйств).

Устойчивый рост производства скота и птицы в живом и убойном весе показали крупные сельскохозяйственные организации за счет масштаба и эффективности.

Ключевым фактором производства является рентабельность. Рост затрат на корма, логистику, топливо и обслуживание кредитов неодинаков для хозяйств различных категорий.

Доступность кредитов критична для отраслей с длинным циклом (например, говядина). При высокой ключевой ставке инвестиции в мясное скотоводство становятся практически неокупаемыми [3].

Самый быстрый цикл производства наблюдается в таких отраслях, как свиноводство и птицеводство. Данные отрасли быстрее реагируют на рынок, но зависят от цен на зерно и импортных составляющих (например, инкубационного яйца для индейки).

Самым уязвимым сектором на данный момент является скотоводство. Цикл производства говядины составляет до трех лет, а себестоимость высока. Наблюдается сокращение поголовья крупного скота (в том числе из-за оттока населения из сельской местности). Это, в свою очередь, приводит к росту цен на говядину.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Глинкина, И. М.** Состояние отрасли птицеводства в России / И. М. Глинкина, Н. В. Байлова, Н. А. Каширина // Теория и практика инновационных технологий в АПК : материалы Нац. науч.-практ. конф. – Воронеж, 2022. – С. 44–49.

2. **Глинкина, И. М.** Производство мяса птицы на предприятиях различного типа / И. М. Глинкина // Современные технологии сельскохозяйственного производства : сб. науч. ст. по материалам XXVIII Междунар. науч.-практ. конф. – Гродно, 2025. – С. 246–248.

3. **Королева, О. В.** Факторинг как маркетинговый инструмент обеспечения экономической безопасности организации в кластере / О. В. Королева // Организационно-экономические и финансовые аспекты развития АПК : материалы Нац. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию экон. фак. Воронеж. гос. аграр. ун-та им. Императора Петра I. – Воронеж, 2021. – С. 165–169.

УДК 621.9

РЕКОНСТРУКЦИЯ КИНОТЕАТРА «ЧЫРВОНАЯ ЗОРКА»

О. В. ГОЛУШКОВА, М. Д. АЛЕКСЕЕВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Старая застройка г. Могилева насчитывает до 50 капитальных строений гражданского назначения. Их основная локация – это улицы Первомайская, Ленинская, Миронова, Челюскинцев и проспект Мира. Они построены в стиле советского модернизма (1938–1940 гг.) и сталинского ампира, классицизма (1944–1955 гг.). Однако рассмотрим более раннюю постройку.

В начале 1930-х гг. в архитектуре городов БССР утвердился конструктивизм. Его основная идея состояла в полной идентичности формы здания и его назначения. Основные черты конструктивизма отчетливо видны на кинотеатре «Чырвоная Зорка». Архитектура кинотеатра сочетает в себе прямоугольные и сферические формы. В плане здание выглядит как вытянутый прямоугольник, расположенный перпендикулярно кассе и полукруглому вестибюлю. Как и подобает зданиям, построенным в этом стиле, на фасаде большие площади отданы под остекление. Фасад вестибюля с широким остеклением контрастирует с вертикальной стеной небольшого размера, отделяющей административные помещения. За время своего существования кинотеатр пережил две реконструкции. Первая – в 1954 г. – характеризуется комплексом работ, которые позволили восстановить довоенный облик здания, т. к. во время войны оно частично было разрушено. Вторая реконструкция выполнялась в 2005 г. и касалась обновления технической базы и внутренних помещений. Внешний облик старейшего кинотеатра в городе был сохранен. В 2007 г. кинотеатру «Чырвоная Зорка» был присвоен статус памятника архитектуры регионального значения (категория «3») как яркому и редкому для Могилева примеру конструктивистской гражданской архитектуры 1930-х гг., а фасад здания украшает защитная охранная доска.

Для сохранения исторической памяти и предотвращения моральной и физической «деградации» здания с 2027 г. запланировано проведение очередной реконструкции, включающей модернизацию с перепланировкой и добавлением точек питания, в том числе кинобара со своей кухней. Основные строительные решения затронут внутреннее пространство кинотеатра и будет выполнена цифровизация инженерных систем видеопроката. При этом внешнее убранство здания и характерные для конструктивизма черты будут сохранены, но обновлены. Внутренние изменения в большей степени претерпит кинозал, где на месте одного появятся сразу четыре кинозала. На втором этаже разместятся зона для развлечений, премиальное пространство для закрытых мероприятий и караоке-пространство. К современному уровню техники будут приведены внутренняя музыкально-информационная система и экраны. Старейший кинотеатр г. Могилева должен превратиться в современный многофункциональный центр отдыха.

УДК 656.96

ПРЕИМУЩЕСТВА И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛОГИСТИКИ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

И. А. ГОРОХОВА
Волжский государственный университет водного транспорта
Нижний Новгород, Россия

Логистика является неотъемлемой частью процесса, направленного на поддержание мировой экономики на высоком уровне. Важность этого механизма сложно переоценить, ведь именно за счёт правильно организованного перемещения материальных ценностей удаётся обеспечить конечного потребителя качественным товаром точно в срок, без рисков или с максимально возможным их смягчением.

Невзирая на преимущества, современная логистика, осуществляемая с помощью водного транспорта, претерпевает сложности. Они связаны с техническими несовершенствами системы, а также с недостатком цифровых ресурсов, с помощью которых можно было бы в полной мере координировать большие объёмы данных. Немаловажно и то, что для осуществления эффективной логистики водные суда должны быть синхронизированы с другими разновидностями транспорта. С учётом «слабых мест», которые сегодня актуальны для водной логистики, целесообразно определить и реализовать методы оптимизации транспортной отрасли. В качестве действенного способа увеличения её эффективности следует рассмотреть вариант автоматизации этапов перемещения товарно-материальных ценностей.

Чтобы улучшить качество перевозок крупногабаритных грузов, целесообразно уделить внимание каждому этапу этого процесса. В частности, интегрировать современные технологии в вопрос управления транспортными средствами и флотом в целом, улучшить с помощью автоматизации функционирование портов, оптимизировать механизм мониторинга безопасности (в том числе экологической) логистики.

Для достижения положительного результата было принято решение рассмотреть возможность применения современного программного обеспечения, которое позволяет эффективно управлять транспортными средствами. Второй метод, помогающий успешно осуществлять логистику с помощью судоходства, – информационные системы. Интеграция обоих указанных решений признана ключевыми частями автоматизации логистики, осуществляемой с помощью водного транспорта.

Далее представлены основные информационно-технические методы, способные в полной мере вывести судоходную логистику на новый уровень.

Системы ERP и SCM (*Enterprise Resource Planning* и *Supply Chain Management*) – основные инструменты, с помощью которых осуществляется управление грузовыми перевозками на водных транспортных средствах. За счёт их технического потенциала удаётся контролировать, а при необходимости и корректировать каждый этап логистики, включая непосредственно перемещение

судов, выполняющих транспортировку товарно-материальных ценностей. Системы ERP и SCM способствуют согласованности взаимодействия между отправителем и получателем груза.

Интернет вещей (*IoT*) представляет собой концепцию эффективного контроля состояния товаров, перевозимых за счёт водных транспортных средств. Также этот метод позволяет отслеживать непосредственно техническое состояние судов. Непрерывный мониторинг осуществляется за счёт датчиков, которые установлены на транспортных средствах, грузах и таре, куда помещены товарно-материальные ценности. IoT обеспечивает понимание того, насколько качественно функционирует водное транспортное средство, в каких условиях хранится и перевозится товар.

Блокчейн-технологии обеспечивают прозрачность и надёжность логистики, поскольку позволяют производить фиксацию сведений о каждом этапе перемещения грузов. Такой подход служит высококачественной профилактикой фальсификации данных, связанных с перемещением товаров водным транспортом, способствует тщательному контролю всего процесса. Использование блокчейн-технологий особенно важно, когда речь идёт об осуществлении торговли на международном уровне, где, как известно, успешность сделки напрямую зависит от добросовестности обеих её сторон: как отправителя, так и получателя груза.

Существует множество подтверждений тому, что водный транспорт обеспечивает значительный вклад в развитие экономики государства. С его помощью удаётся снизить нагрузку, которой подвержены железнодорожные пути и автомобильный сегмент. При этом грузы перемещаются по нужным маршрутам сохранно и безопасно. Таким образом, не подвергается сомнению необходимость совершенствования водной логистики. Внедрение цифровых технологий обеспечит улучшение состояния этой части транспортной системы. У такого подхода можно выделить множество положительных сторон, включая повышение показателя эффективности пассажирских и грузовых перевозок и уменьшение объёма выбросов парниковых газов, возникающих при сгорании топлива.

Автоматизация логистики на водном транспорте – необходимое действие, которое обеспечит существенный вклад в развитие мировой экономики. Такая оптимизация повысит качество услуг, сократит время получения товарно-материальных ценностей, обеспечит сохранность перемещаемых грузов. В совокупности всё это способно увеличить показатель международной торговли.

Но, невзирая на преимущества автоматизации водного транспорта, этот сегмент логистики претерпевает трудности. Они связаны с необходимостью значительных капиталовложений, слабой законодательной и технической регуляцией и недостаточным соблюдением кибербезопасности. Купирование перечисленных сложностей, возникающих на пути к оптимизации логистики на водном транспорте, возможно за счёт развития международного сотрудничества, а также инвестирования в транспортную сферу.

УДК 338.27:330.332

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ВИДОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: АКТУАЛЬНОСТЬ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

М. Н. ГРИНЕВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Развитие региона в современных условиях невозможно без стратегического понимания того, какие отрасли экономики способны обеспечить устойчивый рост, создание рабочих мест и повышение качества жизни населения. В этой связи система мониторинга привлекательности видов экономической деятельности становится не просто аналитическим инструментом, а ключевым элементом региональной политики. Она позволяет оценивать динамику интереса со стороны бизнеса, инвестиций и кадров к различным секторам – от высокотехнологических производств до туристической инфраструктуры.

Основная цель такой системы – объективное измерение привлекательности отраслей по множеству показателей: уровень налоговой нагрузки, доступность транспортных коридоров, наличие подготовленных кадров, степень развитости инфраструктуры, экологические ограничения и восприятие региона внешними субъектами. С использованием комплексного анализа можно выявить «узкие места» и обеспечить опережающее реагирование на изменения спроса и предложений на рынке труда и капитала.

Проведение мониторинга не должно сводиться к сбору статистической информации. Он требует интерпретации данных с учетом долгосрочных стратегий. В случае, если данные покажут растущую привлекательность цифровых сервисов, но при этом наблюдается дефицит специалистов в IT-сфере, регион может скорректировать образовательные программы или запустить целевые гранты для технопарков. При наличии снижения интереса к традиционным отраслям, таким как обрабатывающая промышленность, регион получает сигнал о необходимости структурной перестройки экономики.

Эффективная система мониторинга должна быть динамичной, автоматизированной и открытой для взаимодействия между государственными органами, бизнесом и научным сообществом. Использование GIS-технологий, Big Data и прогнозных моделей позволяет не только фиксировать текущее положение дел, но и моделировать сценарии развития под разные условия. Это даёт возможность принимать решения на основе фактических данных.

Таким образом, система мониторинга привлекательности видов экономической деятельности – это не просто инструмент контроля, а активная платформа управления развитием. Она трансформирует региональную политику из реактивной в проактивную, позволяя находить новые точки роста.

УДК 338.124.4:656

ТЕМПОРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРА

М. Н. ГРИНЕВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Транспортный комплекс Беларуси – один из ключевых секторов экономики, обеспечивающий не просто перемещение грузов и пассажиров, но и формирующий условия для социально-экономического развития всех регионов страны.

По данным за 2025 г., доля транспортной отрасли в ВВП Беларуси составила около 5 %, а экспорт транспортных услуг достиг более 45 % всего экспорта услуг страны. В отрасли занято около 263 тыс. человек, функционируют более 12 тыс. организаций и 34 тыс. индивидуальных предпринимателей.

Развитие транспортной инфраструктуры играет критическую роль в выравнивании уровней развития регионов.

Транспортный сектор в Беларуси выполняет двойную функцию: с одной стороны, он сам является крупной экспортно ориентированной отраслью, с другой – инфраструктурной основой для всех остальных секторов экономики. Для регионов это означает, что качество транспортной доступности напрямую определяет их конкурентоспособность: возможность реализовывать продукцию, привлекать инвестиции, удерживать население и развивать туризм.

Для детальной иллюстрации динамики кризисных явлений и оценки циклической чувствительности транспортного сектора далее представлена аналитическая таблица сопоставления макроэкономического базиса и финансовой эффективности по виду экономической деятельности «Транспортная деятельность, складирование, почтовая и курьерская деятельность» (далее – ВЭД «Т»). Цепные темпы роста X1 рассчитаны в процентах к предыдущему периоду, а показатель X2 представлен в виде средневзвешенных значений по всей системе из семи регионов Республики Беларусь для каждого хронологического периода (табл. 1).

Анализ эмпирических данных табл. 1 позволяет проследить проявление волновых кризисных явлений. Между темпами изменения макроэкономического базиса территории (X1) и финансовой эффективностью ВЭД «Т» (X2) наблюдается жесткая временная лаговая зависимость. Базисный 2020 г. характеризовался высокой маржинальностью транспортной деятельности (средняя рентабельность достигла пиковых 7,61 %), что объяснялось стабильными логистическими коридорами. Однако последующее нарастание внешнеэкономического давления привело к тектоническим сдвигам в 2022 г. В этот период зафиксировано падение темпов роста подушевого ВРП на –1,8 %, что мгновенно спровоцировало финансовый шок в транспортной индустрии: средняя рентабельность

продаж (X2) рухнула до критического минимума в 5,14 % (отклонение от системной нормы составило –1,20 %). Данная точка излома тренда иллюстрирует уязвимость транспорта к сжатию совокупного спроса.

Табл. 1. Динамика темпов роста подушевого ВРП (X1) и средней рентабельности продаж по ВЭД «Т» (X2) в системе за 2020–2025 гг.

Год	Среднее значение X1 (на душу населения, тыс. р.)	Цепной темп роста X1 (% к предыдущему году)	Средняя рентабельность продаж по ВЭД «Т» X2, %	Отклонение рентабельности от среднего уровня (6,34 %)
2025	28,14	+6,2	5,90	–0,44
2024	26,50	+4,8	6,56	+0,22
2023	25,28	+3,1	6,76	+0,42
2022	24,52	–1,8 (спад)	5,14	–1,20 (минимум)
2021	24,97	+0,9	6,10	–0,24
2020	24,75	– (базис)	7,61	+1,27 (максимум)

Период 2023–2024 гг. демонстрирует фазу успешной адаптации и компенсаторного восстановления. Переформатирование логистических цепочек и разворот грузопотоков обеспечили прирост ВРП на +3,1 % и +4,8 % соответственно, что позволило вернуть рентабельность ВЭД «Т» к экономически взвешенным отметкам (6,76 % и 6,56 %). Специфическим является посткризисный тренд 2025 г.: на фоне максимального прироста подушевого ВРП (+6,2 %) зафиксировано локальное снижение рентабельности транспорта до 5,90 %. Данный парадокс («ножницы цен») объясняется тем, что бурное восстановление промышленного производства спровоцировало опережающий рост внутренних издержек транспортных операторов – удорожание стоимости и обслуживания подвижного состава, дефицит и рост стоимости кадровых ресурсов, а также усиление внутренней конкуренции. Это доказывает, что на современном этапе развитие транспорта требует перехода к жесткому контролю себестоимости перевозок.

УДК 338.45(575.4)

ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТУРКМЕНИСТАНА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А. ДУРДЫЕВА, С. БАЛТАЕВА
Туркменский сельскохозяйственный институт
Дашогуз, Туркменистан

Современное развитие экономики связано с формированием устойчивого и диверсифицированного промышленного сектора. В условиях глобальной конкуренции важное значение имеют расширение ассортимента продукции, повышение степени переработки сырья, внедрение современных технологий и создание новых производственных цепочек. Для Туркменистана диверсификация особенно актуальна благодаря значительным запасам природного газа, нефти, хлопка и других ресурсов, а также потенциалу развития химической, текстильной, пищевой промышленности и производства строительных материалов.

По данным Всемирного банка, в 2024 г. нефть, природный газ и нефтепродукты составляли 84,9 % общего экспорта Туркменистана. Одновременно развивается несырьевой экспорт, включая удобрения, пластмассы и другие виды промышленной продукции [3]. Поэтому одной из ключевых задач является увеличение степени переработки отечественного сырья и расширение выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью.

Одним из основных направлений диверсификации является глубокая переработка природных ресурсов. В газохимической промышленности производство полимеров, минеральных удобрений и другой химической продукции позволяет формировать новые производственные цепочки. Газохимический комплекс в Киянлы, выпускающий полиэтилен и полипропилен, создаёт сырьевую основу для производства труб, упаковочных и строительных изделий [4]. Производство синтетического топлива из природного газа в Ахалском велаяте также способствует повышению степени переработки углеводородного сырья.

Значительный потенциал имеет текстильная промышленность. Использование отечественного хлопка позволяет формировать цепочку – от первичной переработки сырья до производства пряжи, тканей, одежды и других готовых изделий. В пищевой промышленности переработка сельскохозяйственного сырья способствует обеспечению внутреннего рынка и расширению экспортных возможностей. Перспективным направлением является также производство строительных материалов на основе местного сырья, включая цемент, стекло, керамические и железобетонные изделия [5].

Эффективная диверсификация требует технологической модернизации предприятий. Обновление оборудования, автоматизация и внедрение цифровых технологий позволяют повысить производительность, качество продукции и эффективность использования ресурсов. Государственная программа развития цифровой экономики Туркменистана на 2026–2028 годы предусматривает дальнейшее внедрение искусственного интеллекта, облачных технологий и интернета

вещей [1]. Соответствующие направления определены и в Концепции развития цифровой экономики Туркменистана [2].

Важное значение имеет подготовка квалифицированных кадров. Развитие современной промышленности требует инженеров, технологов, специалистов по автоматизации, цифровым технологиям и управлению производством. В связи с этим необходимо укреплять взаимодействие образовательных учреждений с промышленными предприятиями.

Перспективным направлением является развитие промышленной кооперации и производственных кластеров. В газохимической отрасли возможно формирование цепочки – от добычи и переработки газа до производства полимеров, труб, упаковки и строительных изделий. В текстильной промышленности кластерный подход способен объединить производство хлопка, его переработку, изготовление пряжи и тканей, готовой одежды и последующую логистику. Это способствует развитию взаимосвязанных предприятий и повышению эффективности использования ресурсов. Одновременно расширение производства должно сопровождаться развитием рынков сбыта. Для повышения экспортной конкурентоспособности необходимо обеспечивать качество продукции, соответствие международным стандартам, конкурентоспособную себестоимость и эффективную логистику. Важными условиями остаются также энергоэффективность, рациональное использование воды и сырья, сокращение отходов и внедрение ресурсосберегающих технологий.

Таким образом, диверсификация промышленного производства является важным направлением дальнейшего развития экономики Туркменистана. Наибольшие возможности связаны с глубокой переработкой природного и сельскохозяйственного сырья, развитием газохимической, химической, текстильной и пищевой промышленности, а также производства строительных материалов. Сочетание технологической модернизации, цифровизации, подготовки кадров, промышленной кооперации и расширения рынков сбыта создаёт условия для формирования более устойчивой производственной структуры. Переход от модели «сырьё – продукция» к цепочке «сырьё – глубокая переработка – кооперация – готовая продукция – экспорт» позволяет увеличить добавленную стоимость и укрепить промышленный потенциал страны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная программа развития цифровой экономики в Туркменистане на 2026–2028 годы. – Ашхабад, 2026.

2. Концепция развития цифровой экономики в Туркменистане на 2026–2028 годы. — Ашхабад, 2026.

3. Государственный информационный ресурс Туркменистана. Материалы о развитии промышленности и нефтегазового комплекса Туркменистана.

4. Государственный информационный ресурс Туркменистана. Материалы о развитии химической промышленности и газохимического производства.

5. Официальные материалы Министерства промышленности и строительного производства Туркменистана.

УДК 330.336

ФАКТОРЫ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Е. С. ЖЕСТКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Экономическая безопасность предприятия является комплексным понятием и включает в себя несколько составляющих, в том числе и технико-технологическую безопасность. Для повышения экономической безопасности предприятия необходимо управлять ее элементами, что, в свою очередь, требует оценивания этих элементов.

Процесс оценивания осложняется тем, что составляющие экономической безопасности предприятия также являются сложными, зависят от множества факторов внутренней и внешней среды организации, характеризуются разнообразными показателями.

Технико-технологическую безопасность предприятия принято рассматривать как состояние защищенности предприятия от ряда внутренних и внешних угроз. Рассмотрим основные угрозы и факторы, оказывающие влияние на технико-технологическую составляющую экономической безопасности предприятия, и сформулируем систему показателей, которые можно использовать для многокритериальной оценки этой составляющей.

Внутренние факторы можно сгруппировать следующим образом:

– техническое состояние оборудования (уровень физического и морального износа, коэффициент загрузки оборудования, фондоотдача, фондовооруженность, количество аварий, длительность простоев из-за неисправности оборудования и т. д.);

– уровень автоматизации и механизации производства (степень внедрения автоматизированных или цифровых систем, доля ручных, механизированных и автоматизированных операций и т. п.);

– уровень применяемых технологий (уровень соответствия применяемых технологий передовым отраслевым или мировым аналогам, доля продукции, изготовленной по прогрессивным технологиям, коэффициент поточности, коэффициенты унификации и стандартизации, количество лицензий и патентов, принадлежащих организации, и т. д.);

– квалификация персонала (средний стаж работников, образовательная структура персонала, затраты на переподготовку и повышение квалификации кадров, инновационная активность персонала и т. д.);

– инвестиции предприятия в развитие техники и технологии (величина вложений в основные средства и нематериальные активы, вложения в научно-исследовательскую работу, показатели эффективности этих инвестиций).

Внешние факторы представлены следующими группами:

– развитие НТП (количество открытий, изобретений, патентов в отрасли, уровень инновационной активности в отрасли и т. п.);

– государственное регулирование (изменчивость экологических норм, стандартов промышленной безопасности, требований к техрегламентам);

– поставщики (надежность поставщика, качество поставляемого сырья и комплектующих, ритмичность поставок и др.);

– покупатели (удовлетворенность продукцией предприятия, склонность приобретать товары-новинки, требования потребителя к качеству продукции);

– конкуренты (уровень технологического развития конкурентов в отрасли, уровень инновационной активности конкурентов);

– инвесторы и банки (доступность инвестиционных ресурсов).

Для наглядности отобразим перечень факторов в виде причинно-следственной диаграммы, представленной на рис. 1.

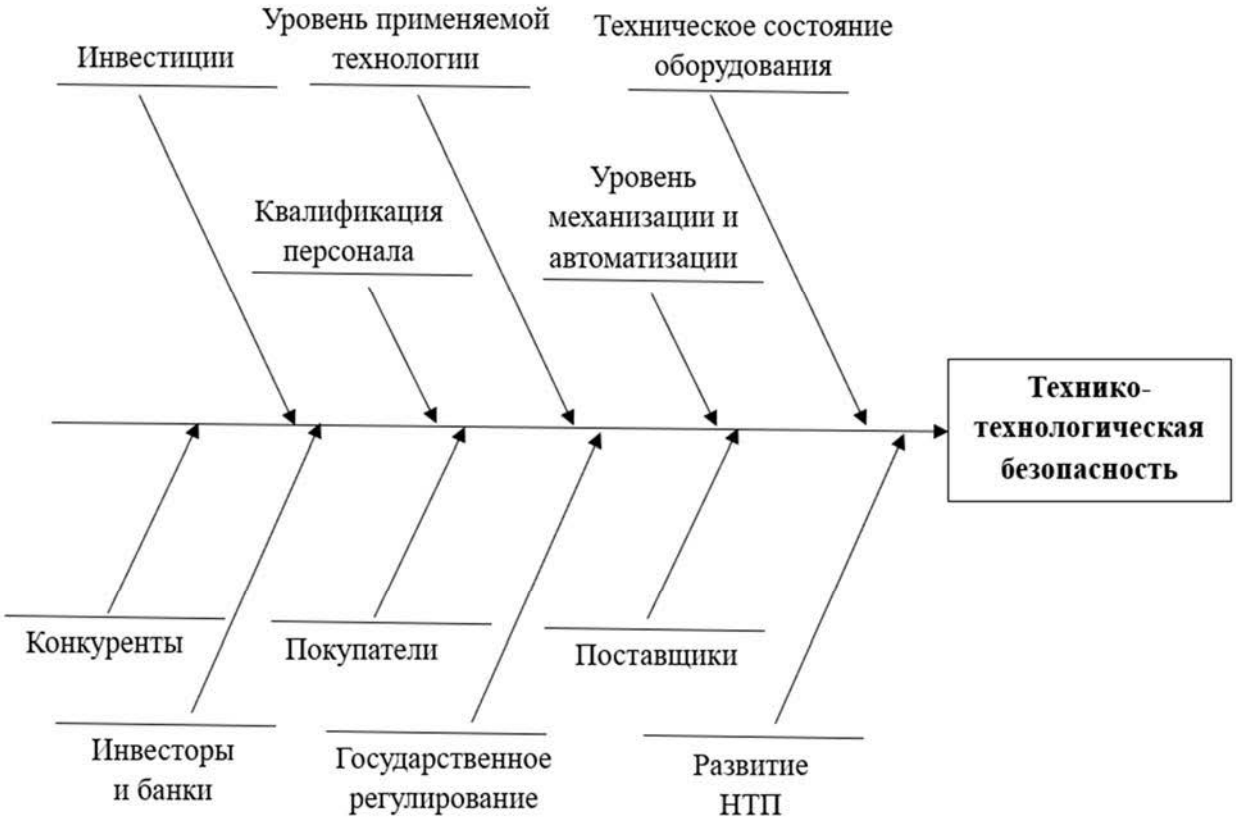


Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма

Диаграмма включает только факторы первого уровня, но при необходимости ее можно дополнить факторами более низких уровней. Кроме того, на диаграмме можно указать конкретное значение каждого фактора, а также степень его влияния на уровень технико-технологической безопасности предприятия. Это делает проведение оценки более удобным для экспертов. Для получения окончательной оценки уровня технико-технологической безопасности можно применить метод многокритериальной оценки.

УДК 004.946

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ВИРТУАЛИЗАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

В. М. ИШКОВА, М. А. СТЕПАНЕНКО, Е. Е. ИСТРАТОВА
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, Россия

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) напрямую влияют на устойчивость и безопасность производства. Обычно их серверы и рабочие станции размещаются на отдельных физических компьютерах, что увеличивает количество оборудования, усложняет обслуживание и восстановление после сбоев. Одним из способов решения этих проблем является виртуализация, которая позволяет запускать несколько независимых систем на одном физическом сервере [1].

Основные преимущества виртуализации заключаются в сокращении количества физических серверов, затрат на оборудование, электроэнергию и обслуживание. Шаблоны виртуальных машин ускоряют развёртывание рабочих мест, а резервные копии упрощают восстановление после отказов. Кроме того, в изолированных виртуальных машинах можно использовать устаревшие программы АСУ ТП, несовместимые с современными операционными системами [2]. Однако, несмотря на перечисленные преимущества, изоляция не устраняет ключевые уязвимости АСУ ТП.

Цель работы заключалась в определении оптимального решения для внедрения технологии виртуализации в АСУ ТП за счет реализации возможности консолидации нескольких независимых функций на одном промышленном компьютере.

Предварительно был проведен анализ источников литературы и готовых промышленных решений, в результате которого было выявлено, что виртуализацию можно применять и при подготовке системы к вводу в эксплуатацию. При виртуальной пусконаладке программное обеспечение АСУ ТП проверяется совместно с компьютерной моделью технологического объекта, что позволяет выявлять ошибки еще до начала выполнения работ на действующем оборудовании. Опыт применения такого подхода в нефтяной отрасли показал возможность заранее проверять алгоритмы управления и отдельные компоненты автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Несмотря на преимущества от внедрения виртуализации в АСУ ТП, необходимо при проектировании учитывать и ее недостатки. Так, отказ физического сервера может остановить сразу несколько размещённых на нём компонентов АСУ ТП, поэтому необходимы резервный сервер и резервные копии. Следует заранее распределять процессорное время, оперативную память и сетевые ресурсы, чтобы одна виртуальная машина не замедляла остальные. До переноса необходимо проверить совместимость программ, условия лицензирования и возможность восстановления исходной конфигурации. Особое внимание требуется защите данных и оборудования, поскольку дополнительными целями

атак становятся гипервизор, система управления виртуальными машинами и виртуальная сеть.

Гипервизор распределяет вычислительные ресурсы между виртуальными машинами. В виртуальную среду можно перенести SCADA-серверы, базы данных, архивы, инженерные станции и рабочие места операторов. Программируемые логические контроллеры (ПЛК) и системы противоаварийной защиты целесообразно оставлять на специализированном оборудовании из-за требований к гарантированному времени отклика.

На основании рассмотренных преимуществ и ограничений для действующих предприятий был предложен поэтапный перенос компонентов АСУ ТП в виртуальную среду. Сначала в виртуальную среду необходимо перенести архивы, инженерные станции и другие системы, кратковременный отказ которых не остановит производство. После проверки производительности и надёжности переносятся SCADA-серверы и рабочие места операторов. На каждом этапе предусмотрена возможность возврата к прежней схеме, а для наиболее важных контуров управления разработана функция сохранения данных на отдельном оборудовании.

Наиболее значимым изменением в предложенной архитектуре АСУ ТП является переход от аппаратных программируемых логических контроллеров к виртуальным контроллерам, представляющим собой программное решение для эмулирования работы традиционного ПЛК и модулей ввода-вывода на стандартной вычислительной платформе.

Таким образом, в ходе исследования было установлено, что виртуализация является перспективным направлением развития АСУ ТП и современного промышленного производства, позволяющим сократить количество оборудования, ускорить восстановление программных компонентов и упростить модернизацию. Вместе с тем перенос всех элементов АСУ ТП в виртуальную среду не всегда оправдан. Эффективное внедрение требует резервирования оборудования, проверки совместимости программ, защиты сети и предварительного испытания системы. В результате был предложен подход на основе многоядерной архитектуры с возможностью разделения функций на внутренние для выполнения критических операций управления и внешние для реализации аналитики, машинного обучения и облачных коммуникаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамов, М. А.** Предпосылки внедрения отечественных систем виртуализации и анализ соответствия их функциональных возможностей требованиям АСУТП / М. А. Абрамов, А. С. Безносов // Автоматизация в промышленности. – 2026. – № 6. – С. 51–56.

2. **Банников, Е. В.** Виртуализация в автоматизации / Е. В. Банников // International Scientific Review. – 2019. – № 2 (67). – С. 18–21.

УДК 338.139

ОЦЕНКА И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЮЗАБИЛИТИ ОФИЦИАЛЬНОГО САЙТА ОАО «ЗЕНИТ»

Л. А. КЛИМОВА, Е. А. КРАСНИКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В условиях цифровизации экономики официальный сайт предприятия выступает ключевым инструментом коммуникации с потенциальными заказчиками и партнерами. Для производителей промышленной светотехники, таких как ОАО «Зенит» (г. Могилев), юзабилити веб-ресурса напрямую влияет на объем входящих запросов и формирование пула оптовых клиентов. Объектом исследования в данной работе является официальный сайт ОАО «Зенит»; предметом – его юзабилити-характеристики. *Цель работы* – провести сравнительную оценку удобства использования сайта предприятия с аналогичным ресурсом российского производителя светооборудования и сформулировать практические рекомендации по улучшению пользовательского опыта.

Для проведения оценки были выбраны два интернет-ресурса: официальный сайт ОАО «Зенит» и сайт российского производителя светотехнической продукции ООО «Завод Светорезерв». Выбор второго ресурса обусловлен схожестью номенклатуры выпускаемой продукции и целевой аудитории, что позволяет провести корректное сравнение в рамках одного рыночного сегмента. Методика оценки базируется на десяти критериях, каждый из которых оценивался по пятибалльной шкале. Итоговая оценка выводилась как среднее арифметическое значение по всем параметрам. Результаты экспертной оценки сведены в табл. 1.

Табл. 1. Оценка юзабилити сайтов (5 баллов максимум)

Параметр	ОАО «Зенит»	ООО «Завод Светорезерв»
Выразительность визуализации продукта	3	5
Скорость загрузки	4	3
Подробное описание продукта	5	4
Корректно работающая навигация	4	5
Пространственная навигация	4	4
Целевой CTA	3	5
Дизайн сайта	4	5
Качество контента	4	5
Взаимодействие с аудиторией	3	4
Общая оценка	3,8	4,4

Проведенные расчеты показывают, что официальный сайт ОАО «Зенит» уступает конкурирующему ресурсу по большинству оцениваемых параметров. Итоговый интегральный показатель юзабилити для ОАО «Зенит» составил 3,8 балла, в то время как для ООО «Завод Светорезерв» – 4,4 балла. Разрыв в 0,6 балла свидетельствует о наличии резервов для улучшения.

Наиболее проблемными зонами для сайта белорусского предприятия являются низкая выразительность визуализации продукции (3 балла) и отсутствие четко выраженного целевого действия (3 балла). Потенциальный клиент, попав на страницу, не получает достаточного визуального подтверждения качества изделий, а также не имеет очевидного сценария дальнейших действий. Кроме того, слабое взаимодействие с аудиторией (3 балла) указывает на отсутствие оперативной обратной связи или интерактивных элементов, что снижает доверие со стороны B2B-сегмента. В то же время сайт демонстрирует удовлетворительную скорость загрузки (4 балла), подробное описание продукта (5 баллов) и достаточный уровень качества контента (4 балла), что создает хорошую базу для дальнейшей оптимизации.

Для повышения юзабилити официального сайта ОАО «Зенит» и приближения его показателей к уровню ведущих отраслевых конкурентов предлагаются следующие практические шаги:

– внедрение системы целевых действий. Необходимо разместить на видных местах кнопки «Оставить заявку» и «Получить консультацию», а также упростить форму запроса коммерческого предложения до минимума полей;

– улучшение визуального контента. Следует провести профессиональную фотосъемку светильников в рабочей среде, добавить 3D-модели для наглядной демонстрации технических особенностей продукции;

– оптимизация навигационной структуры. Требуется пересмотреть логику меню, сделав акцент на категориях продукции и сферах применения, а также добавить сквозной поиск по сайту с фильтрацией по техническим параметрам;

– развитие интерактивных каналов связи. Целесообразно внедрить онлайн-чат или форму быстрого вопроса, а также добавить раздел с ответами на часто задаваемые вопросы для снижения нагрузки на менеджеров.

Реализация предложенных мер позволит ОАО «Зенит» не только повысить удобство использования официального сайта, но и увеличить конверсию посетителей в реальные заявки, что в конечном итоге укрепит конкурентные позиции предприятия на рынке светотехнической продукции Союзного государства.

УДК-338.139

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КАНАЛОВ ПРОДВИЖЕНИЯ ПРОДУКЦИИ ОАО «ЗЕНИТ» В B2B-СЕГМЕНТЕ

Л. А. КЛИМОВА, Е. А. КРАСНИКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В условиях ужесточения конкуренции на рынке светотехнической продукции предприятия вынуждены искать новые способы коммуникации с оптовыми заказчиками. Для ОАО «Зенит», специализирующегося на выпуске промышленных светильников, ключевое значение имеет не только качество изделий, но и эффективность доведения информации о них до потенциальных партнеров. Объектом исследования в данной работе выступает система продвижения продукции ОАО «Зенит»; предметом – результативность используемых предприятием каналов коммуникации в B2B-сегменте. *Цель работы* – провести сравнительный анализ основных инструментов продвижения и определить направления их совершенствования.

Для оценки были выбраны четыре канала, которые предприятие использует наиболее активно: участие в отраслевых выставках; рассылка коммерческих предложений по базе контактов; ведение профиля в социальных сетях; работа с дилерской сетью. Выбор обусловлен тем, что именно эти инструменты формируют основной поток входящих запросов от юридических лиц. Методика оценки предполагает балльную шкалу от 1 до 5 по пяти параметрам: охват целевой аудитории; стоимость контакта; скорость обратной связи; конверсия в заявку; трудоемкость поддержания канала. Итоговый показатель рассчитывался как среднее арифметическое. Результаты сведены в табл. 1.

Табл. 1. Оценка каналов продвижения ОАО «Зенит» (5 баллов максимум)

Параметр	Выставки	Рассылка	Соцсети	Дилеры
Охват целевой аудитории	5	3	2	4
Стоимость контакта	2	4	5	3
Скорость обратной связи	3	2	4	3
Конверсия в заявку	4	2	2	5
Трудоемкость поддержания	2	4	3	3
Общая оценка	3,2	3,0	3,2	3,6

Проведенные расчеты показывают, что наибольшую эффективность демонстрирует работа с дилерской сетью (3,6 балла). Это объясняется тем, что дилеры уже обладают сформированным пулом клиентов и берут на себя часть

функций по продвижению. Выставки и социальные сети получили по 3,2 балла, рассылка – 3,0 балла. Разрыв между лидером и аутсайдером составляет 0,6 балла, что свидетельствует о наличии резервов для перераспределения усилий.

Наиболее проблемными зонами являются низкая скорость обратной связи при рассылке (2 балла) и слабая конверсия в заявку через социальные сети (2 балла). Потенциальный заказчик, получив коммерческое предложение по электронной почте, зачастую не получает оперативного ответа на уточняющие вопросы, что снижает вероятность заключения сделки. В социальных сетях предприятие публикует преимущественно имиджевый контент, тогда как B2B-аудитория ожидает конкретных технических решений и кейсов внедрения. В то же время сильной стороной остаются охват на выставках (5 баллов) и конверсия через дилеров (5 баллов), что создает базу для дальнейшей оптимизации.

Для повышения эффективности каналов продвижения ОАО «Зенит» предлагаются следующие практические шаги:

– внедрение системы оперативной обработки запросов. Необходимо регламентировать время ответа на входящее коммерческое предложение (не более двух часов в рабочее время) и назначить ответственного менеджера по каждому каналу;

– переформатирование контента в социальных сетях. Следует отказаться от общих имиджевых публикаций в пользу размещения технических кейсов, сравнений характеристик и отзывов действующих клиентов, что соответствует запросам B2B-сегмента;

– усиление аналитики дилерского канала. Требуется внедрить систему оценки эффективности каждого дилера по объему продаж и количеству привлеченных клиентов, что позволит концентрировать ресурсы на наиболее результативных партнерах;

– интеграция выставочной деятельности с цифровыми инструментами. Целесообразно сопровождать участие в выставках рассылкой персонализированных предложений по собранным контактам и публикацией итоговых материалов в закрытом разделе для партнеров.

Реализация предложенных мер позволит ОАО «Зенит» повысить отдачу от используемых каналов продвижения, сократить время реакции на запросы и увеличить конверсию обращений в реальные заявки, что в конечном итоге укрепит позиции предприятия на рынке светотехнической продукции Союзного государства.

УДК 621

ИИ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ НА ПРИМЕРЕ КЛАСТЕРА «ИНДУСТРИЯ 4.0» В БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

А. С. КЛУБАЕВ, А. А. СТАЦЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В основе четвертой промышленной революции лежит интеграция четырех групп новых технологических систем: нано-, био-, информационные и когнитивные технологии, которые при взаимодействии формируют около 40 ключевых высокотехнологичных направлений. Одной из этих технологий является цифровой двойник.

Цифровой двойник – виртуальное представление физического объекта, процесса или системы, которое остается непрерывно синхронизированным с реальным аналогом. Такая цифровая модель не просто отражает текущее состояние объекта, но и позволяет моделировать его поведение в различных эксплуатационных условиях, помогая предсказывать будущие сценарии и исходы.

Развитие и внедрение технологий цифровых двойников стимулируется следующими ключевыми факторами:

– применение датчиков и систем слежения – оснащение оборудования датчиками с системами искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет проводить непрерывный анализ изделий в процессе изготовления. Алгоритмы определяют параметры режимов резания, степень износа и необходимость смены режущего инструмента, контролируют точность и шероховатость получаемой поверхности;

– моделирование объектов и процессов – автоматизированный анализ чертежей и 3D-моделей позволяет использовать искусственный интеллект для подготовки кода. Алгоритмы способны определять необходимые операции, оптимальную траекторию инструмента и параметры обработки, а также корректировать программу за счет самообучения. Имеется возможность проводить неограниченное количество тестов;

– визуализация и аналитика данных – современные цифровые двойники решают задачи различной степени сложности: симулирование, прогнозирование, диагностика, оптимизация производственных систем.

«Цифровизация проникла на все уровни – бытовой, промышленный, безопасности и обороны, – сказал Михаил Лустенков. – В этом плане особая миссия выпадает на долю технических университетов. Ведь от кадров зависит многое, в том числе и то, как будет развиваться сфера высоких технологий в нашей стране. В могилевском университете шесть IT-специальностей. Кроме того, студенты обучаются по специальностям «Автоматизация технологических процессов и производств», «Производство изделий на основе трехмерных технологий», «Мехатроника и робототехника». Все это называется «Индуст-

рия 4.0», безлюдным производством, повсеместной роботизацией и автоматизацией» [1].

Центр «Индустрия 4.0» работает не как изолированная система, а как масштабируемая киберфизическая система, объединяя оборудование, алгоритмы искусственного интеллекта и виртуальные модели в единую систему.

Принцип работы кластера «Индустрия 4.0» основан на постоянном обмене данными между физическим оборудованием и цифровым аналогом:

– на этапе проектирования разрабатываются 3D-модель и чертеж изделия, искусственный интеллект анализирует геометрию детали и генерирует оптимальную траекторию инструмента и режимы резания;

– в виртуальной среде формируется цифровой двойник, выполняющий симулирование процесса обработки, что позволяет провести неограниченное количество тестов;

– в процессе обработки датчики передают реальные параметры обработки в систему аналитики, которая, в случае необходимости, корректирует управляющую программу и режимы резания.

Применение искусственного интеллекта в производственном процессе повысит качество продукции и минимизирует брак за счет постоянного обмена данными между оборудованием и программной средой. Цифровые двойники уменьшают риск возникновения ошибок в проектировании, помогают провести неограниченное количество тестов в различных условиях до начала производства, существенно ускоряя вывод новых изделий.

Интеграция концепции цифровых двойников, поддерживаемых алгоритмами искусственного интеллекта и машинным обучением, выступает одним из ключевых факторов цифровой трансформации современного машиностроения, объединяя в себе два мира – физический и виртуальный.

Внедрение роботизированных систем, искусственного интеллекта и технологий больших данных кардинально меняет облик традиционных предприятий. Важность перехода к промышленной цифре хорошо понимают в Белорусско-Российском университете, где готовят инженерные кадры и ученых для предприятий двух стран. Вуз следит за новинками и активно внедряет их у себя [2].

Опыт Белорусско-Российского университета демонстрирует эффективную модель синергии образования и науки: наличие развитой лабораторной базы и подготовка кадров по инженерным направлениям создают фундамент для успешной разработки и внедрения отечественных цифровых двойников и решений концепции «Индустрия 4.0» на машиностроительных предприятиях, а также способствуют повышению технологического суверенитета.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ректор БРУ: в цифровизации особая миссия отводится техническим университетам. – URL: http://bru.by/news/post/65391 (дата обращения: 01.09.2026).

2. Центр «Индустрия 4.0» открылся в Белорусско-Российском университете. – URL: https://rg.ru/2025/10/15/mastera-chetvertogo-urovnia.html (дата обращения: 01.09.2026).

УДК 681.5.015

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6...35 КВ

П. И. КОЛЬЦОВА, Ю. В. ПИСКОВАЦКИЙ
Казанский государственный энергетический университет
Казань, Татарстан

Обеспечение бесперебойной работы электрических систем и безопасности зависит от способности определять точку возникновения однофазных замыканий на землю в распределительных сетях напряжением 6...35 кВ. Они составляют подавляющую долю эксплуатационных проблем, достигая 60 %...80 % всех нарушений, особенно в сетях с недостаточно эффективно заземленной нейтралью.

Своевременное и точное выявление таких инцидентов является критически важным для предотвращения масштабных сбоев и минимизации рисков для безопасности. Последние достижения в области технологий, в частности в сфере машинного обучения и искусственного интеллекта, усовершенствовали подходы к обнаружению и локализации повреждений, повысив их эффективность в полевых условиях эксплуатации [1, 2].

Сегодня все чаще прибегают к применению искусственных нейронных сетей. Их способность обрабатывать высокочастотные дискретизированные данные о токах и напряжениях позволяет определять местоположение повреждения с минимумом информации. Опираясь на данные о трехфазных напряжениях и токах, собираемые на подстанциях, они обеспечивают классификацию и локализацию повреждения в режиме реального времени.

Помимо нейронных сетей, выделим полевые обследования и свежие диагностические методики, такие как инфракрасная термография, мониторинг зон повышенного риска, включая состояние изоляторов и контактных соединений, для предотвращения аварий. Интеграция технологий глобального позиционирования и мобильной связи также улучшила координацию действий при устранении повреждений, позволяя операторам оперативно получать уведомления о месте возникновения аварии [3].

Несмотря на все нововведения, процесс обнаружения все так же труден и тяжел. Традиционно он начинается с получения информации от потребителей о произошедших отключениях, что предоставляет лишь ограниченные и чаще старые сведения. Люди могут откладывать обращение, неправильно понять проблему или вовсе не обращать внимания. Операторам приходится вручную сопоставлять данные из множества обращений с общей схемой сети, чтобы лишь приблизительно локализовать место повреждения.

Еще одной проблемой является надежность самих данных: ошибки в корреляции могут приводить к значительным погрешностям в определении расстояния до повреждения, достигающим 31 %. При этом точность классификации поврежденного участка сети сильно варьируется, а дисбаланс классов в обучающих наборах данных снижает надежность моделей. Существующие

методы, включая измерения импеданса, часто не учитывают неопределенные параметры. К примеру, шунтирующая емкость плохо адаптируется к различным типам повреждений или конфигурациям сетей. Дополнительную сложность создает увеличение числа инверторных распределенных генераторов в активных распределительных сетях, что требует постоянной адаптации методик обнаружения [4].

Для преодоления этих ограничений активно разрабатываются распределенные измерительные системы. Эти системы используют микроконтроллеры с интегрированными датчиками, которые непрерывно собирают эксплуатационные данные. Применяя алгоритмы кластеризации, такие как K-means, непосредственно на недорогих микроконтроллерах, исследователи добились надежного выявления повреждений, одновременно решая проблемы пропускной способности каналов связи и энергоэффективности. Это особенно ценно в условиях, где централизованный мониторинг затруднен.

В области конкретных методов определения места повреждения стоит отметить развитие импедансных подходов с использованием синхронизированных и несинхронизированных измерений тока, а также применение передовых датчиков и протоколов связи, нацеленных на время обнаружения менее 100 мс. Эволюция интеллектуальных сетей, поддерживающих двунаправленный поток мощности и распределенное управление, также играет ключевую роль, требуя бесшовной интеграции датчиков замыканий на землю с современной измерительной инфраструктурой.

Особое внимание уделяется методологиям повышения точности на основе машинного обучения. Среди основных методов выделяются методы опорных векторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сошинов, А. Г.** О перспективах развития автоматизированных комплексных систем непрерывного контроля состояния силовых трансформаторов / А. Г. Сошинов, О. С. Атрашенко, Т. В. Копейкина // Вестник аграрной науки Дона. – 2022. – Т. 15, № 4 (60). – С. 95–104.

2. Using the Location Method for Simulated-and-Experimental Location of Single-Phase-to-Earth Faults in Overhead Lines of 6–35 kV Distribution Networks / R. G. Minullin, E. Y. Abdullazyanov, Y. V. Piskovatsky [et al.] // Power Technology and Engineering. – 2021. – Vol. 54, № 5. – P. 733–739.

3. **Тащилин, В. А.** Направления применения синхронизированных векторных измерений в задачах противоаварийного управления энергосистемами на основе методов машинного обучения / В. А. Тащилин, П. Ю. Губин, М. М. Шакиров // Электротехнические системы и комплексы. – 2022. – № 3 (56). – С. 12–27.

4. Определение мест повреждения волновым методом в распределительных сетях древовидной структуры / В. Д. Васильев, А. П. Кирпичников, Ш. А. Шайхутдинов, Г. В. Спиридонов // Вестник Технологического университета. – 2018. – Т. 21, № 11. – С. 131–137.

УДК 621.396

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ПЕРЕГОНЕ ПОСРЕДСТВОМ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДОСТУПА

С. М. КУЦЕНКО
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия

При организации аудио- и видеоконференции (ВКС) с места аварийно-восстановительных работ (АВР) на железнодорожном транспорте важно иметь устойчивый канал связи. Для этих целей используют традиционные линии перегонной связи (ПГС). В последнее время большой популярностью пользуются мобильные комплексы ВКС, которые в своем составе имеют оборудование спутниковой связи. Однако возникает закономерный вопрос: как обеспечить связь в зонах неуверенного приема спутникового сигнала? Важным этапом развития сетей оперативно-технологической связи является постепенный перевод линий ПГС с медного кабеля на оптический. На некоторых действующих участках уже применяется технология пассивных оптических сетей (PON). В этом случае на станции и на перегоне в распределительный шкаф устанавливается сетевое оборудование [1, 2].

В статье предлагается дополнить указанное сетевое оборудование, устанавливаемое на перегоне, беспроводным маршрутизатором стандарта Wi-Fi. Расчет параметров зоны покрытия сети целесообразно провести для плотной городской среды и пригородной местности с использованием модели, изложенной в [3]. Потери при распространении радиоволн рассчитываются по формуле

$$a(r) = 10\gamma\lg(f) + 10\alpha\lg(r) + \beta,$$

где f – частота, ГГц; r – расстояние, м; α, β, γ – коэффициенты основных потерь передачи в условиях распространения ниже уровня крыш.

Результаты расчетов зависимости потерь от расстояния при различных условиях приведены в табл. 1. Здесь a – потери в жилой зоне ($\gamma = 2{,}07$, $\alpha = 3{,}01$, $\beta = 18{,}8$); b – потери в плотной городской застройке ($\gamma = 2{,}36$, $\alpha = 4$, $\beta = 10{,}2$); c – потери в пригородной зоне ($\gamma = 2{,}11$, $\alpha = 2{,}12$, $\beta = 29{,}2$).

Табл. 1. Результаты расчетов

r, м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
a, дБ	71	77	80	83,5	84,9	86,4	87,4	88,9	90,6	91,1
b, дБ	78	87	92,4	95,8	98,8	100,8	103,2	105,2	106,4	107,4
c, дБ	90,4	101,3	108,2	112,6	117	119,6	122	124,5	126,7	128,7

Чувствительность промышленных Wi-Fi-маршрутизаторов, как правило, находится в диапазоне от –90 до –110 дБм. Следовательно, согласно получен-

ным расчетам, стабильная работа оборудования возможна преимущественно на дистанциях до 100...200 м в условиях плотной городской застройки и до 800...900 м в пригороде (серые ячейки таблицы показывают гарантированный приём для каждой зоны). Для уверенного приема за пределами этих зон потребуется установка дополнительных точек доступа или направленных антенн. Кроме того, необходимо учитывать специфику железнодорожного полотна: металлические конструкции вагонов и рельеф местности создают дополнительные препятствия и многолучевое распространение сигнала, что требует закладывать запас по мощности не менее 10 %...15 % сверх расчётных значений.

Помимо обеспечения технологической связи, установленное в распределительном шкафу сетевое оборудование позволяет реализовать технологии промышленного интернета вещей (IIoT) с применением стандарта LoRaWAN [4]. Это решение открывает возможность для организации телеметрии различных параметров объектов транспортной инфраструктуры и подвижного состава. Внедрение современных датчиков позволит повысить качество мониторинга критически важных элементов: состояния рельсов и железнодорожного пути, отдельных узлов и агрегатов подвижного состава.

Поскольку датчики в сетях LoRaWAN обладают высокой энергоэффективностью и чувствительностью (варьирующейся от –130 до –160 дБм), радиус их покрытия может достигать 1 км. Однако при анализе данных табл. 1 следует учитывать важный технический нюанс: значения потерь a, b и c рассчитаны для диапазонов Wi-Fi (обычно 2,4 или 5 ГГц). Для субгигагерцевых частот LoRaWAN (868 МГц) коэффициент γ будет ниже, а реальный уровень затухания – меньше на 10...15 дБ по сравнению со строкой c (пригородная зона).

Учитывая, что распределительные шкафы устанавливаются вдоль перегона примерно через каждые 2,5 км, зоны уверенного приема соседних точек доступа будут перекрываться. Таким образом, появляется техническая возможность практически полностью организовать непрерывный мониторинг вышеперечисленных объектов на всем протяжении участка железной дороги без использования дополнительных ретрансляторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шевчук, В. Г.** Использование технологии пассивных оптических сетей (PON) для организации перегонной, аварийно-восстановительной и специальной связи на перегоне железной дороги / В. Г. Шевчук, А. Н. Бельский // Современные средства связи. – 2022. – Т. 1, № 1. – С. 182–184.

2. Пассивные оптические сети для организации связи на перегоне / Д. А. Попов, А. С. Ванчиков, А. К. Канаев, В. В. Кренев // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 3. – С. 10–13.

3. Рекомендация МСЭ-R P.1411-10.

4. **Евдокимова, О. Г.** Применение технологии IoT для автоматизации диагностики состояния заземлителей / О. Г. Евдокимова, С. М. Куценко, Б. А. Мешков // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 4. – С. 10–13.

УДК 631:004

ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Е. А. ЛЕСНЫХ
Алтайский государственный аграрный университет
Барнаул, Россия

Перед сельским хозяйством всегда стояла задача интенсификации производства. В современных условиях данная задача решается с помощью внедрения наукоемких технологий, робототехники, искусственного интеллекта и развития цифровых компетенций кадров для агропромышленного комплекса (АПК).

Такие технологии, как компьютерное зрение, машинное обучение, аэрофотосъемка, удаленное управление сельскохозяйственным оборудованием, постепенно входят в жизнь крупных агропромышленных комплексов и небольших фермерских хозяйств [1, с. 380].

Современное ведение хозяйства все больше становится высокотехнологичной отраслью. Внедрение цифровых решений – от точного земледелия до автоматизированных систем управления животноводством – требует от специалистов новых компетенций [2, с. 225].

Несмотря на то, что цифровые технологии обеспечивают прозрачное и устойчивое взаимодействие между поставщиками, агробизнесом, государством и потребителями, существует ряд проблем, которые необходимо решить.

В связи с применением цифровых технологий резко возрастает уровень безработицы в сельской местности, что приводит к миграции трудоспособного населения и опустыниванию сельских территорий. Преодоление данной проблемы должно решаться на государственном уровне, т. к. ввиду масштабов нашей страны эта проблема имеет не только демографическое, но и стратегическое значение.

Для устойчивого внедрения цифровых технологий необходимы опытные специалисты с развитыми цифровыми компетенциями. Чаще всего на агропредприятиях трудятся опытные специалисты, испытывающие определенные сложности в освоении цифровых компетенций, в то время как рынок труда насыщен молодыми специалистами без опыта, упакованными цифровыми компетенциями. Для решения данной задачи необходим институт наставничества, в котором опытные специалисты делятся производственным опытом, а молодые специалисты – навыками работы с цифрой.

Также необходимо привлечение квалифицированных специалистов и экспертов по цифровым технологиям на предприятия АПК [3, с. 516].

В связи с этим одним из решений является налаживание связей между аграрными вузами и агробизнесом. Для качественного обучения необходим доступ к данным и цифровым технологиям, применяемым на современных агропредприятиях [4, с. 57].

Так как мелким сельхозпроизводителям очень трудно конкурировать с лидерами отечественного рынка (ПАО «Черкизово», АПХ «Мираторг», ГК «Агропромкомлектация», ГК «Агроэко», АО фирма «Агрокомплекс имени Н. И. Ткачёва»), необходима государственная поддержка в вопросах цифровизации. Это позволит преодолеть цифровую незрелость мелкого агробизнеса.

Безусловно, применение таких цифровых решений, как блокчейн, Big Data, нейронные сети и искусственный интеллект, обеспечивает высокотехнологичное производство, но для успешного внедрения данных решений необходимы цифровая зрелость сельхозпроизводителей и качество трудовых ресурсов. Для решения данной задачи в аграрных вузах следует уделять больше внимания подготовке кадров с развитыми цифровыми компетенциями. На базе передовых аграрных вузов должны обучать не только агрономов, зоотехников и ветеринаров, но и квалифицированных специалистов для АПК по цифровым технологиям.

С внедрением цифровых технологий в аграрный сектор увеличилось количество всех форм отчетности. Следовательно, необходима единая цифровая платформа, упрощающая работу агропроизводителей, особенно малых форм собственности. Пока агропроизводители вынуждены вести учет показателей своей деятельности на различных информационных площадках (Меркурий, Юпитер, Агросигнал и т. д.). Внедрение единой платформы для отчетности позволит снизить финансовые и трудовые затраты.

Таким образом, цифровизация АПК, наряду с возможностями и перспективами, предлагает ряд задач, которые необходимо решать. Решить поставленные задачи возможно совместными усилиями государства, агробизнеса и аграрных вузов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Николаев, О. В.** Искусственный интеллект как инструмент технологического и кадрового развития АПК / О. В. Николаев, Н. И. Литвина // Вестник Академии знаний. – 2025. – № 1 (66). – С. 380–383.

2. **Лесных, Е. А.** Цифровизация и цифровая трансформация аграрного образования: проблемный аспект / Е. А. Лесных // Актуальные проблемы гуманитарных и общественных наук : сб. ст. XI Всерос. науч.-практ. конф., Пенза, 18–19 сент. 2025 г. – Пенза : Пензен. гос. аграр. ун-т, 2025. – С. 225–228.

3. **Киварина, М. В.** Цифровизация регионального АПК: проблемы и перспективы / М. В. Киварина, Н. Н. Юрина // Аграрный вестник Урала. – 2025. – Т. 25, № 3. – С. 515–528.

4. **Лесных, Е. А.** Цифровизация образовательного процесса в аграрном вузе: вызовы, возможности и перспективы / Е. А. Лесных // Всероссийский научно-практический журнал социальных и гуманитарных исследований. – 2025. – № 4 (19). – С. 56–62.

УДК 614.8

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕДУРЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПАСНОСТЕЙ НА ОПО

Е. П. ЛОЛА, В. В. НОВИКОВ
Кубанский государственный технологический университет
Краснодар, Россия

Целью данной статьи является анализ существующих подходов к идентификации опасностей на топливозаправочных станциях. В ходе работы будут выявляться типовые недостатки комплексов, а также предлагаться конкретные процедуры перехода от реактивного управления промышленной безопасностью к проактивному.

Анализ типовых применяемых процедур идентификации опасностей на рассмотренных топливозаправочных комплексах позволил определить следующие системные недостатки [1]:

– подход к ведению реестра опасностей является формальным;

– числовое выражение тяжести аварийного события и последствий не оценивается;

– реестры опасностей редко фиксируют такие события, которые связаны с человеческим фактором;

– меры управления являются реактивными и внедряются только после произошедшего инцидента.

Для устранения указанных недостатков предлагается реализовать комплекс мер, охватывающих методологические, технические и организационные аспекты.

Ключевым направлением совершенствования служит переход от использования одного или двух методов к комплексному применению различных методик:

– использование метода контрольных листов с представлением перечня типовых вопросов о наличии или отсутствии тех или иных опасностей на объекте;

– для выявления причинно-следственных связей и оценки риска на автозаправочном комплексе может быть использован метод «галстук-бабочка». Попробуем изложить причины сценария «Разлив топлива с последующим пожаром на топливозаправочном пункте» с указанием барьеров в графическом исполнении на рис. 1 [2].

Середина диаграммы отражает центральное опасное событие – разлив топлива с последующим пожаром. Левая часть структуры указывает на конкретные причины и предупредительные барьеры. Правая сторона относится к последствиям аварийной ситуации. От последствий к центральному событию ведут смягчающие барьеры. В ходе анализа установлено, что наиболее слабыми звеньями являются недостаточный контроль за действиями оператора и отсутствие автоматического обнаружения разлива на ранней стадии.

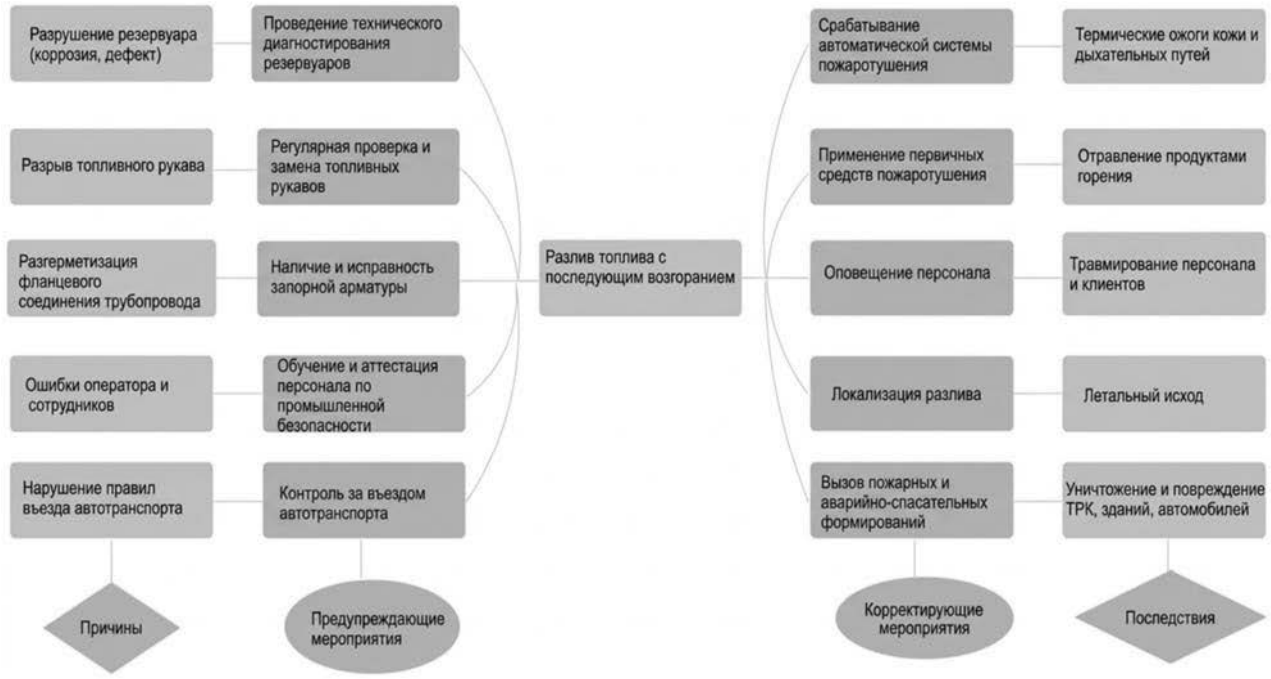


Рис. 1. Диаграмма «галстук-бабочка»

1. Внедрение специализированного программного обеспечения для ведения электронного реестра опасностей и оценки рисков. Цифровизация процесса идентификации и использование соответствующих экосистем, утвержденных российским законодательством, являются важнейшим направлением совершенствования и решают вышерассмотренные проблемы.

2. Использование системы интеллектуальной видеоаналитики для раннего обнаружения нештатных ситуаций. Нейросетевые алгоритмы позволяют в реальном времени распознавать нештатные показатели и мгновенно оповещать ответственный персонал.

3. Установление регулярной периодичности актуализации реестра опасностей, а также вовлечение всего персонала в процесс идентификации рисков.

В ходе вышепроведенного анализа было установлено, что существующая на большинстве автозаправочных станций система идентификации опасностей страдает от целого ряда системных недостатков. Предложенный в статье комплекс мер перехода к многоуровневой идентификации с применением различных методов позволяет последовательно устранить их и перейти к предупредительному управлению промышленной безопасностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тимошенко, А. Н.** Промышленная безопасность топливозаправочных комплексов : учеб. пособие / А. Н. Тимошенко, В. М. Самойленко. – М. : ИД Академии Жуковского, 2018. – 80 с.

2. **Исабекова, О. А.** Методика построения диаграммы «галстук-бабочка» на основе количественного анализа рисков на этапе оценки рисков проекта / О. А. Исабекова, Д. А. Ризак // Экономика и предпринимательство. – 2020. – № 5. – С. 724–728.

УДК 656.021.5

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

М. А. МАРЧЕНКО
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия

Одними из наиболее важных задач транспорта Российской Федерации являются обеспечение суверенитета государства, связанности территории, экономической независимости, обеспечение мобильности населения и удовлетворение спроса на перевозки [1].

В связи со спецификой функционирования рыночной экономики актуальным является обеспечение доставки нужного груза из точки отправления в точку назначения в точно указанное время. Такой принцип организации товародвижения в цепочках поставок позволяет сократить издержки при доставке грузов и одновременно уменьшить непроизводительные простои на стыке логистических операций [2].

В связи с интенсивно меняющимися геополитическими и макроэкономическими условиями современная транспортная логистика вынуждена беспрерывно перестраиваться в соответствии с актуальными условиями. За последние несколько лет наблюдается тенденция перехода грузопотока с железнодорожного вида транспорта на автомобильный, которая связана с требованием доставки груза «от двери до двери». Однако при грузоперевозках на большие расстояния (свыше 1000 км) доминирует железнодорожный транспорт в связи с бесперебойностью железнодорожного сообщения и меньшей себестоимостью перевозки на километр пути [3].

Также в современных условиях зачастую возникает необходимость предотвратить концентрацию груза в одной точке, что снижает целесообразность сооружения крупных складских комплексов, вопреки экономическому постулату прошлых лет. Концентрация грузов в одном месте позволяла сформировать укрупнённые поставки в один пункт назначения, что значительно снижало себестоимость перевозки. Перегрузку контейнеров с одного вида транспорта на другой целесообразно проводить на небольших контейнерных площадках, распределённых в крупных городах и промышленных центрах. Сам контейнер при этом выполняет роль как транспортного модуля, так и склада, обеспечивая сохранность груза и уменьшая его естественную убыль. Такой тип перевозок позволяет сократить время на перегрузку с одного вида транспорта на другой, повышает поточность грузопотока и обеспечивает сохранность груза при перевозке и хранении. Таким образом, мультимодальные контейнерные перевозки в настоящее время и на ближайшие годы являются наиболее перспективными [4].

В то же самое время успешной реализации данного типа перевозок препятствует ряд технологических и управленческих сложностей. В первую

очередь, это физическое устаревание контейнерного парка, парка фитинговых платформ и автомобильного парка. Несмотря на активное импортозамещение, производство новых транспортных средств пока что не в состоянии покрыть потребности логистических операторов в новом подвижном составе, а закупка новых транспортных средств за рубежом серьёзно ограничена в связи с западными санкциями. Вторым не менее важным аспектом является отсутствие единой централизованной информационной платформы, в которую интегрированы все виды транспорта. Ряд транспортных компаний применяет внутренние информационные платформы, однако при отсутствии централизованной системы обеспечить оперативное регулирование и подвод транспортных средств к складам или контейнерным площадкам зачастую бывает затруднительно. Ввиду этого важной задачей для транспортного комплекса остаётся создание единой централизованной информационной платформы, объединяющей в своём составе все виды грузового транспорта, лидирующие позиции среди которых занимает железнодорожный и автомобильный. Её функционал должен включать в себя отображение основных параметров транспортных единиц: количество транспортных единиц всех типов; актуальное состояние каждой транспортной единицы; текущее местоположение каждой транспортной единицы; сроки доставки грузов каждой транспортной единицей.

Основной задачей данной системы должен стать прогноз выполнения сроков доставки для каждой грузовой партии, а также подбор оптимальной схемы перевозки грузов. Для выполнения этой задачи целесообразно создание системы на основе нейросетевых моделей.

Таким образом, в статье рассмотрены перспективы развития транспортного комплекса Российской Федерации на основе единой информационной платформы взаимодействия видов транспорта. Её внедрение в технологический процесс транспортно-логистических компаний позволит улучшить транспортные схемы доставки грузов, сократить время на перевозку и снизить её себестоимость.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 27 нояб. 2021 г. № 3363-р. – М. : Правительство Рос. Федерации, 2021. – 282 с.

2. Вопросы организации мультимодальных перевозок грузов / П. В. Куренков, Е. А. Герасимова, М. М. Мизиев, Д. О. Черкасова // Прогрессивные технологии в эксплуатации наземных транспортно-технологических комплексов и логистических транспортных систем : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвящ. 110-летнему юбилею со дня рождения проф. А. В. Каракулева. – Казань, 2024. – С. 211–217.

3. **Покровская, О. Д.** Комплексная оценка транспортно-складских систем / О. Д. Покровская // Железнодорожный транспорт. – 2019. – Т. 7. – С. 26–32.

4. **Никифорова, Г. И.** Качество транспортной услуги / Г. И. Никифорова, О. П. Кизляк // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году качества, Гомель, 21–22 нояб. 2024 г. – Гомель : Бел. гос. ун-т транспорта, 2024. – С. 52–54.

УДК 338.45

ПРОБЛЕМА ИЗНОСА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

М. П. МИШКОВА, Н. И. ЧИЖИК
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

Современное промышленное производство Республики Беларусь характеризуется постоянным развитием, осуществляемым за счет совершенствования технологий, повышения требований к качеству продукции и сокращения производственных затрат. Достижение данных целей во многом зависит от состояния производственной базы предприятий и способности оборудования обеспечивать эффективное выполнение технологических процессов. Техническое состояние производственного оборудования непосредственно влияет на производительность труда, объем выпуска продукции, ее качество и себестоимость. Поэтому одной из актуальных проблем промышленного производства становится физический и моральный износ оборудования, который ограничивает возможности предприятий по повышению эффективности и внедрению современных технологий.

Износ производственного оборудования – это постепенная утрата им первоначальных технических характеристик, потребительских свойств и потребительской стоимости [1]. Износ может быть физическим и/или моральным. Причем физический износ возникает непосредственно в процессе эксплуатации оборудования, в результате воздействия внешних факторов или времени, приводя к снижению его работоспособности, надёжности и эффективности, а в некоторых случаях – к его полному выходу из строя. В то время как моральный износ связан с устареванием оборудования вследствие появления более современных, производительных, автоматизированных и экономичных аналогов. Таким образом, оборудование может оставаться технически исправным, но при этом становиться менее эффективным по сравнению с современными технологиями.

Основными причинами износа оборудования на предприятиях являются длительный срок его эксплуатации, высокая интенсивность использования, недостаточное финансирование технического перевооружения, несвоевременное проведение технического обслуживания и ремонта, недостаточная автоматизация производственных процессов, а также быстрые темпы развития технологий [2]. Дополнительным фактором является недостаток квалифицированных специалистов, способных эффективно обслуживать и использовать современную технику. Высокий уровень износа приводит к увеличению простоев и расходов на ремонт, снижению производительности труда, росту себестоимости продукции, ухудшению ее качества и ограничению возможностей предприятия по внедрению новых технологий. Кроме того, эксплуатация

устаревшего оборудования может повышать материало- и энергоемкость производства и снижать конкурентоспособность предприятия.

Для определения технического состояния оборудования применяются различные методы диагностики: визуальный и технический осмотр; измерение степени износа отдельных деталей и узлов; анализ эксплуатационных показателей; проверка точности работы; оценка частоты возникновения неисправностей. Однако традиционная диагностика зачастую проводится периодически и позволяет выявить проблему уже после появления признаков неисправности. Для повышения ее эффективности целесообразно использовать системы постоянного мониторинга оборудования с применением датчиков, автоматизированного сбора данных и цифровых технологий. Анализ информации о температуре, вибрации, нагрузке, энергопотреблении и других параметрах позволит проводить техническое обслуживание, своевременно выявляя отклонения и возможные поломки оборудования. При таком подходе ремонт проводится на основании фактического состояния оборудования и прогнозируемого момента возникновения неисправности.

Решение проблемы физического и морального износа производственного оборудования требует комплексного подхода. Одно из основных направлений – поэтапная модернизация и техническое перевооружение предприятий с учетом экономической эффективности приобретаемого оборудования. В первую очередь целесообразно заменять наиболее изношенные и критически важные производственные мощности, от которых непосредственно зависят объем выпуска и качество продукции. Одновременно необходимо расширять применение автоматизированных систем контроля и диагностики, внедрять цифровые системы управления техническим обслуживанием, повышать квалификацию работников и совершенствовать систему планирования ремонтов. В случаях, когда полная замена оборудования экономически нецелесообразна, возможным решением является его модернизация путем установки современных узлов, систем управления и средств автоматизации. Реализация указанных мероприятий позволит сократить простои и эксплуатационные затраты, повысить производительность оборудования, снизить себестоимость продукции и создать условия для дальнейшей технологической модернизации промышленного производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Износ основных средств. – URL: http://elib.mitso.by/bitstream /edoc/723/1/252-255 (дата обращения: 17.09.2026).

2. **Колобова, Г.** Износ основных средств: что это такое и как его устранить / Г. Колобова // Бухсправка. Учет и отчетность для бизнеса и физлиц. – URL: http://buh-spravka.ru/buhgalterskij-uchet/amortizaciya-iznosos/chto-takoe-iznos-osnovnyh-sredstv.html (дата обращения: 17.09.2026).

УДК 338.2

ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ В БЕЛАРУСИ

Г. М. НАЛИВАЙКО, Е. М. РАК
Барановичский государственный университет
Барановичи, Беларусь

Республика Беларусь демонстрирует развитие циркулярной экономики, что соответствует реализации целей устойчивого развития. Государственной стратегической целью является достижение к 2040 г. уровня использования отходов не менее 90 %. В 2025 г. на развитие сферы обращения с отходами было направлено 284 млн р., что свидетельствует о серьезной государственной поддержке данного направления. На внедрение новых технологий, строительство и модернизацию объектов из общей суммы выделено 220,9 млн р. Стратегия предусматривает установление перечня видов продукции, при производстве которой обязательно использование вторичных ресурсов, что создает гарантированный спрос на продукцию из переработанного пластика. Передача функций по координации деятельности в сфере вторичных ресурсов Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды существенно повысит уровень обеспеченности и результативности программных решений на основе единого регулирующего органа.

Примерами белорусских предприятий в сфере переработки пластика являются следующие:

– ОАО «Белвторполимер» (г. Гродно), реализовавшее инвестиционный проект по модернизации производства полимерных регранулятов, что позволило конечный продукт максимально приблизить по свойствам к первичному пластику;

– ООО «Завод по переработке вторичных ресурсов «Восточный» (г. Круглое, Могилевская область), являющееся участником программы «Один район – один проект». Из перерабатываемых 700 т полимеров готовая продукция в объеме 500 т выступает сырьем для химических производств. 70 % продукции экспортируется в Россию и европейские страны.

Учитывая опыт этих предприятий, возможно создание замкнутого цикла: сбор пластиковых отходов → переработка в гранулы → производство искусственного ротанга → изготовление мебели и садового декора. Такая интеграция работает на точность прогнозов и развитие рынка.

Особая роль отводится искусственному интеллекту в переработке, что подтверждается опытом компаний России, Гонконга, а также Южной Кореи. Рынок «умных» контейнеров включает несколько ключевых сегментов:

– сенсорные контейнеры с датчиками заполнения, мониторингом в реальном времени;

– компактирующие контейнеры, обеспечивающие прессование отходов, что увеличивает их вместимость;

– перерабатывающие контейнеры, осуществляющие ИИ-сортировку, измельчение и мойку.

Интерес представляют пилотные проекты «умного» сбора отходов:

– в 2023 г. в белорусских городах Полоцке, Новополоцке и Пинске было оснащено 66 заглубленных контейнеров ультразвуковыми датчиками контроля наполняемости, что позволило коммунальным службам оптимизировать маршруты вывоза отходов, повысив качество транспортной логистики;

– в 2025 г. в Минске запущен проект по модернизации системы вывоза отходов с использованием GPS-датчиков на мусоровозах и цифровой программы мониторинга в реальном времени. После завершения испытаний планируется распространение системы на всю столицу.

В Минске в настоящее время устанавливается 746 модульных конструкций для сбора отходов. Эти конструкции отличаются закрытостью, эстетичным видом, мобильностью и удобством использования. При этом расширяются возможности для сферы предпринимательства в части производства контейнеров с «умными» функциями.

Успех внедрения систем раздельного сбора зависит и от поведенческого фактора, т. е. вовлеченности населения. Анализ этого фактора проведен по результатам проекта с 2023 г., совместного с российским партнером, по программе «Инновационная экологическая платформа Ecoplatforma». Она предполагала использование депозитной системы сбора тары посредством фандоматов по приему ПЭТ-бутылок. Стимулом выступала бонусная система на карту лояльности «Купилка» в торговой сети «Соседи». До июля 2026 г. в Беларуси действовало 15 фандоматов. Всего было собрано и отправлено на переработку более 10,5 млн единиц тары. В Минске было охвачено 48 % населения пяти районов из девяти. Наибольшую активность проявляли жители Центрального и Ленинского районов. При этом объемы сбора тары зависели от месторасположения аппаратов, качества транспортной и информационной логистики. Годовой потенциал сбора тары мог увеличиться более чем в 2 раза. Выявлено, что экопривычка у населения проявляется частью своей жизни.

Корреляционный анализ показал, что наиболее статистически устойчивыми являются следующие факторы: количество контейнеров (r = 0,97) и внедрение ИИ (r = 0,90).

Таким образом, в Беларуси имеются все возможности по внедрению комплекса мер на основе 12-й цели устойчивого развития «Ответственное потребление и производство». При этом отдается приоритет показателям устанавливаемого парка отечественных контейнеров и уровня автоматизации сортировки на фоне положительного поведенческого фактора.

УДК 330.341

ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ОБОРАЧИВАЕМОСТИ ОБОРОТНЫХ СРЕДСТВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Л. В. НАРКЕВИЧ, К. И. ЖИВЕЛЮК
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Детерминированный факторный анализ оборачиваемости оборотных средств выступает действенным методом выявления резервов ускорения в операционном и финансовом циклах. Для предприятий молочной промышленности, таких как ОАО «Бабушкина крынка», процедуры оборачиваемости обостряются спецификой операционного цикла: необходимостью постоянного авансирования денежных средств в закупку сырья (молока) при одновременном росте дебиторской задолженности из-за длительных сроков расчетов торговых сетей за готовую продукцию. Результативным аналитическим блоком выступает оцифрованный модуль резервов ускорения оборачиваемости как в целом оборотных средств, так и отдельных актуальных элементов (запасов, дебиторской задолженности). Анализ динамики финансовых результатов ОАО «Бабушкина крынка» за 2021–2024 гг. показал существенную волатильность финансовых результатов относительно оборачиваемости оборотных средств: в 2024 г. уровень рентабельности продаж отмечен в размере 7,63 %; в 2023 г. установлен убыток от реализации продукции в размере 11 446 тыс. р., что привело к убыточности продаж (–1,48 %). В исследуемом временном интервале определена тенденция замедления оборачиваемости оборотных средств: общая длительность оборота увеличилась с 75,22 до 99,51 дня, что означает удлинение периода, в течение которого оборотные средства совершают полный цикл (рис. 1).

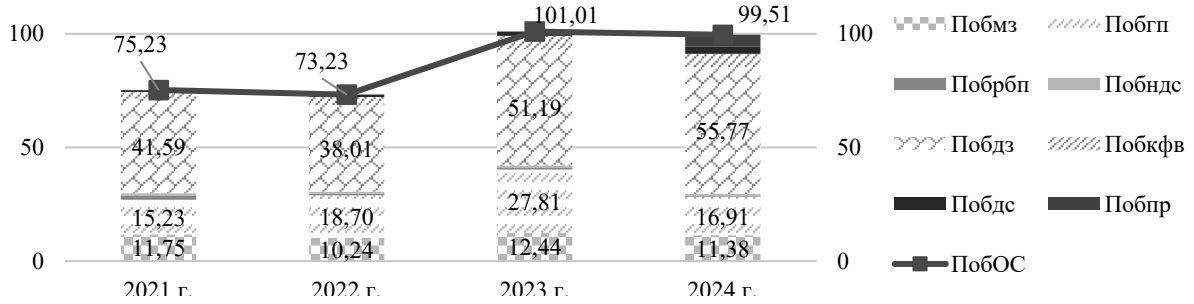


Рис. 1. Анализ динамики продолжительности оборота оборотных средств ОАО «Бабушкина крынка» по статьям за 2021–2024 гг.

Установлены рост операционного цикла по системным элементам запасов в период 2021–2023 гг. с верхней точкой 40,25 дня в 2023 г. и сокращение до 33,32 дня в 2024 г., что указывает на колебания спроса в условиях олигополии рынка молочной продукции. Проблемной зоной является системный элемент дебиторской задолженности: срок инкассации в 2021–2024 гг. увеличился с 41,59 до 55,77 дня, что подтверждает ухудшение платежной дисциплины контрагентов сетевого ритейла, сельскохозяйственных организаций-поставщиков сырья и усили-

вает нагрузку на финансовый цикл кругооборота оборотных средств предприятия. Результаты проведенного факторного анализа за 2021–2024 гг.: снижение удельного веса запасов в структуре оборотных средств в 2023–2024 гг. обеспечило уменьшение коэффициента оборачиваемости на 0,569 оборота. Наиболее существенное отрицательное влияние по фактору структуры зафиксировано по строке готовой продукции – уменьшение на 1,364 оборота (рис. 2).

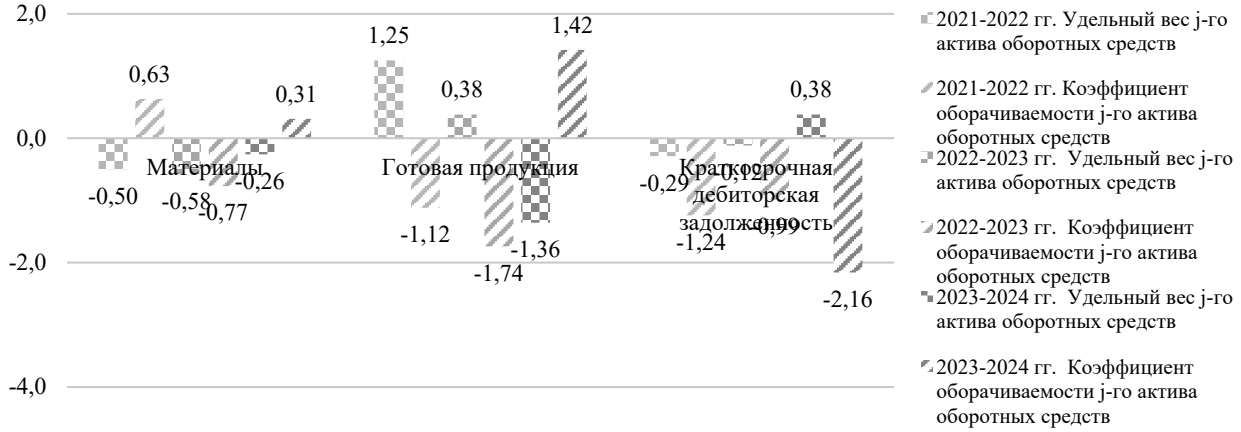


Рис. 2. Анализ факторов первого порядка изменения коэффициента оборачиваемости оборотных средств в смежных периодах 2021–2024 гг.

Блок факторного анализа производственных запасов показал снижение доли и ускорение оборачиваемости, что обеспечило положительный вклад в итоговый показатель в размере 0,309 оборота. Ускорение оборачиваемости запасов готовой продукции в период 2023–2024 гг. вызвало значительное увеличение совокупного коэффициента оборачиваемости оборотных средств на 1,417 оборота. Положительная динамика удельного веса дебиторской задолженности в структуре активов определила прирост итогового показателя на 0,377 оборота. Однако замедление оборачиваемости данной категории активов привело к снижению коэффициента на 0,324 оборота. Влияние факторов по дебиторской задолженности остается положительным: эффект от изменения структуры (ускорение на 0,377 оборота) превышает потери от замедления инкассации (замедление на 0,324 оборота). Увеличение реализованной продукции в 2021–2022 гг. и 2023–2024 гг. определило рост коэффициента оборачиваемости оборотных средств соответственно по периодам на 0,865 и 0,818 оборота, а ее уменьшение в 2022–2023 гг. привело к падению коэффициента оборачиваемости на 0,311 оборота. В результате увеличения среднегодовой стоимости оборотных средств на 14,96 %, 29,21 % и 21,15 % соответственно по периодам уровень коэффициента оборачиваемости оборотных средств снизился на 0,735; 1,041 и 0,765 оборота.

Таким образом, рекомендована реализация резервов ускорения оборачиваемости оборотных средств ОАО «Бабушкина крынка» по направлениям: внедрение системы точечного внутреннего факторинга без права регресса в коммерческую практику холдинга; оптимизация логистики складских запасов готовой продукции на основе концепции Vendor-Managed Inventory (VMI); диверсификация рынков сбыта маржинальной продукции посредством выхода в розничные торговые сети Северо-Западного региона Российской Федерации.

УДК 658.155

ОБЩИЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ БЛОК В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

Л. В. НАРКЕВИЧ, С. В. ЖУКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Объект исследования – ОАО «Спецмонтажстрой-179», специализированная строительная организация, выполняющая комплекс строительно-монтажных работ по прокладке наружных сетей водопровода, канализации, тепловых сетей, а также инженерных сооружений. Анализ динамики за 2023–2025 гг. показал тенденцию роста объема производства продукции: цепные темпы роста определены в размере 138,83 % и 109,29 %; базисный темп роста в 2025 г. – 151,73 %. Аналогичная ситуация просматривается по параметрам выручки от реализации продукции: цепные темпы роста – 141,28 % и 215,77 %; базисный – 152,73 %. Показатели динамики отражают соответствие выполненных строительно-монтажных работ (СМР) и своевременное закрытие документации по выручке от реализации. Относительные темпы роста ряда затрат выполненных СМР выше темпов роста объема произведенной продукции, что определило рост в динамике затрат на рубль произведенных СМР: затраты на рубль выполненных СМР в 2025 г. составили 0,940 р. и увеличились, относительно 2023 г., на 3,67 % и относительно 2024 г. – на 0,94 %.

Период 2023–2025 гг. отмечен увеличением себестоимости выполненных СМР в сопряжении с ростом объемов СМР: установленные пропорции определили положительную динамику валовой прибыли ОАО «Спецмонтажстрой-179». Отмечена тенденция роста управленческих расходов: темп роста по годам интервала 2023–2025 гг. соответственно составил 175,38 %, 194,90 % и 111,13 %. В 2025 г. отмечено значительное увеличение управленческих расходов, что в итоге определило, относительно 2024 г., снижение прибыли от реализации продукции на 5,67 % (рис. 1).

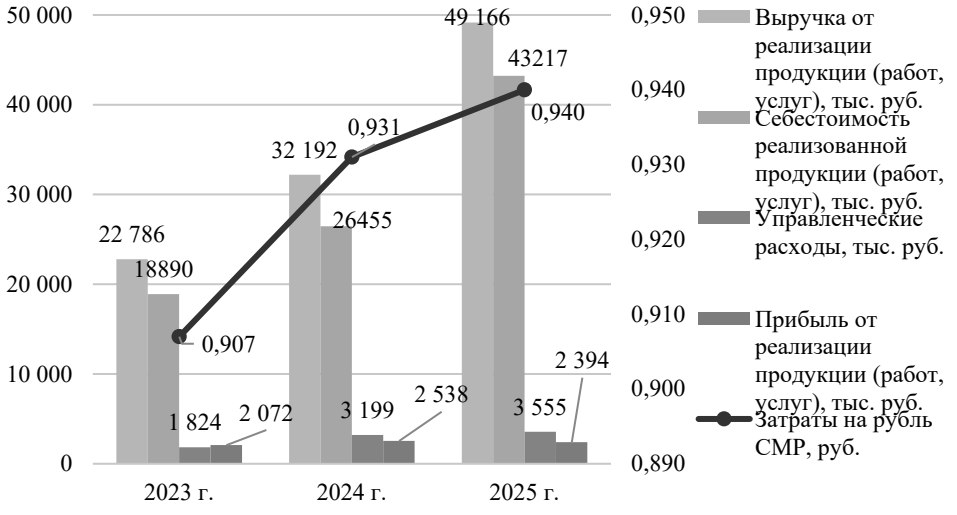


Рис. 1. Анализ взаимосвязи параметров «объем реализации – затраты – прибыль» ОАО «Спецмонтажстрой-179» за 2023–2025 гг.

В 2025 г. себестоимость реализованной продукции увеличилась, относительно 2023 г., на 128,78 % и относительно 2024 г. – на 63,36 %. При этом положительные пропорции в привязке к динамике выручки от реализации определили положительную тенденцию роста валовой прибыли (по 2025 г. темпы роста соответственно 152,70 % и 103,70 %), размер которой позволил покрыть группу управленческих расходов и получить прибыль от реализации продукции.

В 2023–2025 гг. отмечена прибыль по всем уровням данного параметра. В 2025 г. установлены прибыль от реализации продукции, прибыль до налогообложения и чистая прибыль соответственно в размере 2 394, 1 724 и 1 294 тыс. р. (рис. 2).

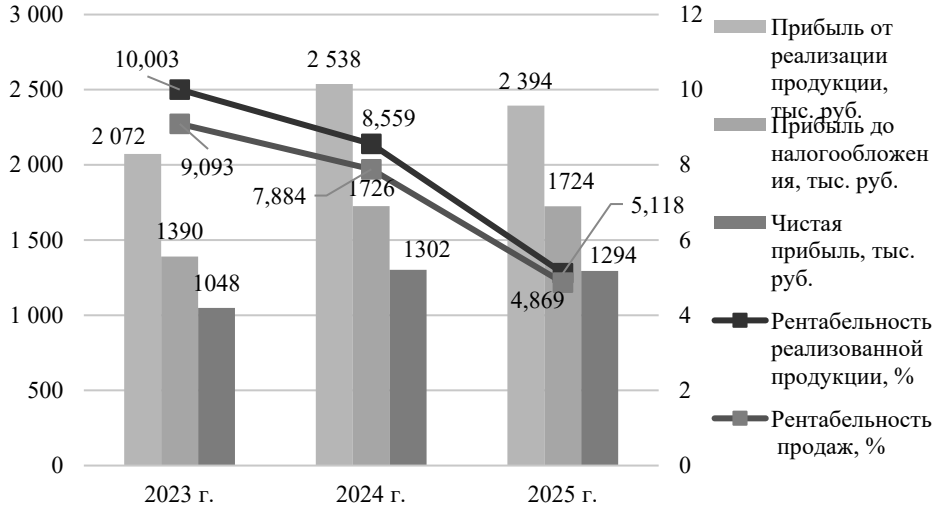


Рис. 2. Анализ динамики показателей прибыли ОАО «Спецмонтажстрой-179» за 2023–2025 гг.

Отрицательная тенденция снижения по исследуемым уровням прибыли определила снижение параметров рентабельности реализованной продукции и рентабельности продаж. Базисные темпы снижения прибыли от реализации продукции и прибыли до налогообложения за 2024–2025 гг. соответственно составили 122,49 %, 115,54 %, 124,17 %, 124,03 %, 124,24 % и 123,47 %. Показатели рентабельности продукции (выполненных СМР) в 2023–2025 гг. соответственно составили 10,003 %, 8,559 %, 5,118 % и определяют в целом динамику снижения эффективности производственной деятельности предприятия. Отмечено уменьшение рассматриваемого показателя в 2025 г., по сравнению с 2023–2024 гг., соответственно на 4,884 и 3,440 п. п. Рентабельность продаж в 2025 г. (4,869 %) также указывает на отрицательную динамику относительно 2023–2024 гг.: снижение соответственно на 4,224 и 3,015 п. п. Показатели рентабельности продаж в 2023–2025 гг. соответственно составили 9,093 %, 7,884 % и 4,869 % и диагностируют снижение эффективности выполненных СМР.

Таким образом, обозначенные тенденции снижения рентабельности в период 2023–2025 гг. при одновременном ускорении его оборачиваемости указывают на необходимость оценки рисков финансового уровня экономической безопасности с позиций роста инновационной активности в развитии организации.

УДК 658.8.012.25

АНАЛИТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ПРОЕКТНОМ УПРАВЛЕНИИ СБЫТОМ ПРОДУКЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ

Л. В. НАРКЕВИЧ, В. С. ПРОЛЕЙЧИК
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Аналитико-ориентированный подход в исследовании интегрирован в систему проектного управления взаимодействием с клиентами в сегментах клиентской базы ОДО «Технолог-М» с использованием аналитических инструментов.

Произведена диагностика рыночной активности клиентов в контексте формирования активной клиентской базы по критериям объема реализации запчастей, прочих комплектующих автомобилей, тракторов, сельхозтехники и удельному весу относительно общего объема отгрузки. По итоговой строке в 2025 г. реализовано запасных частей на сумму 15 310 тыс. р., что выше уровня 2024 г. на 88 тыс. р., или на 0,58 %, и делает актуальным исследование в данном направлении. Поставки предприятиям Могилевской области в 2024–2025 гг. отмечены высоким уровнем стабильности: отгрузки потребителям в данном сегменте остались примерно на одном уровне; темп роста составил 100,67 %. Наибольший прирост отгрузок запасных частей к автомобилям, тракторам и сельхозтехнике за 2024–2025 гг. приходится на г. Минск и Минскую область: абсолютный прирост – 164 тыс. р., или 6,73 %. Данная точка роста полностью погашена снижением отгрузок в Брестский регион (абсолютное и относительное снижение – 147 тыс. р., или 6,90 %). В географической структуре поставок внутреннего рынка наибольший сегмент приходится на Могилевский регион (профиль доли за 2024–2025 гг. отмечен цифрами 69,99 % и 70,05 %) с приростом удельного веса на 0,06 п. п. Прирост доли по г. Минску и Минской области в рассматриваемом временном интервале определен в размере 0,98 п. п. В Минскую область в 2025 г. отгружено 17,00 % общего объема продаж запасных частей к автомобилям, тракторам и сельхозтехнике ОДО «Технолог-М». На внутреннем рынке наименьшая доля поставок отмечена по Брестскому региону (в 2025 г. – 13,99 %), а наибольшая доля приходится на Могилевский регион (в 2025 г. – 70,05 %). В системе управления сбытовой деятельностью в сегменте адресной отгрузки клиентам на первом этапе исследования произведена диагностика рыночной активности покупателей в контексте формирования активной клиентской базы и разработаны стратегии дальнейшего сотрудничества в сегментах основных стрейкхолдеров.

В целом ОДО «Технолог-М» отгрузило в 2025 г. запчастей и прочей продукции на сумму 15 310 тыс. р., обеспечив цепной прирост в размере 88 тыс. р. с темпом роста 100,58 %. Значительное увеличение объемов отгрузки приходится на ОАО «Могилевский домостроительный комбинат» (объем реализации вырос в 5,11 раза относительно 2024 г.), ОАО «Стройтрест № 17 ордена Трудового Красного Знамени» (объем реализации вырос в 5,73 раза относительно 2024 г.), ДЭУ-71 РУП «Могилевавтодор» (относительный прирост реализации составил

224,14 %). Устойчивая стабильная тенденция роста отмечена по следующей группе клиентов: СДП «Авангард», ОАО «Говяды-агро», ОАО «Тишовка», ООО «СтройинвестМ» с профилем темпов роста 104,02 %, 108,52 %, 104,42 % и 112,13 %. Наиболее значимое снижение объемов отгрузки отмечено по сегменту клиентской базы, включающему филиал КУП «Могилевоблдорстрой» ДРСУ № 128 (темп снижения – 48,81 %), филиал «Могилевский водоканал» (67,22 %), ЗАО «Серволюкс Агро» (69,32 %), филиал КУП «Могилевоблдорстрой» ДРСУ № 59 (72,02 %), филиал ОАО «Могилевтехмонтаж» ММУ-1 (74,35 %), ОАО «Бабушкино подворье» (81,65 %), ОАО «Заднепровский межрайагросервис» (85,45 %), ГЛХУ «Быховский лесхоз» (86,75 %). Разовые отгрузки запасных частей осуществлены по ГЛХУ «Краснопольский лесхоз» в 2025 г. на сумму 41,9 тыс. р., что на 32,74 % ниже уровня 2024 г. Основными покупателями выступают ГЛХУ «Быховский лесхоз» (2025 г.: 12,73 % от общего объема реализации), ОАО «Тишовка» (21,21 %), СДП «Авангард» (13,09 %), филиал «Могилевский водоканал» (8,29 %), ОАО «Заднепровский межрайагросервис» (6,07 %), ОАО «Говяды-агро» (5,96 %), ООО «СтройинвестМ» (5,51 %). Представленные цифры наглядно прослеживаются на рис. 1.

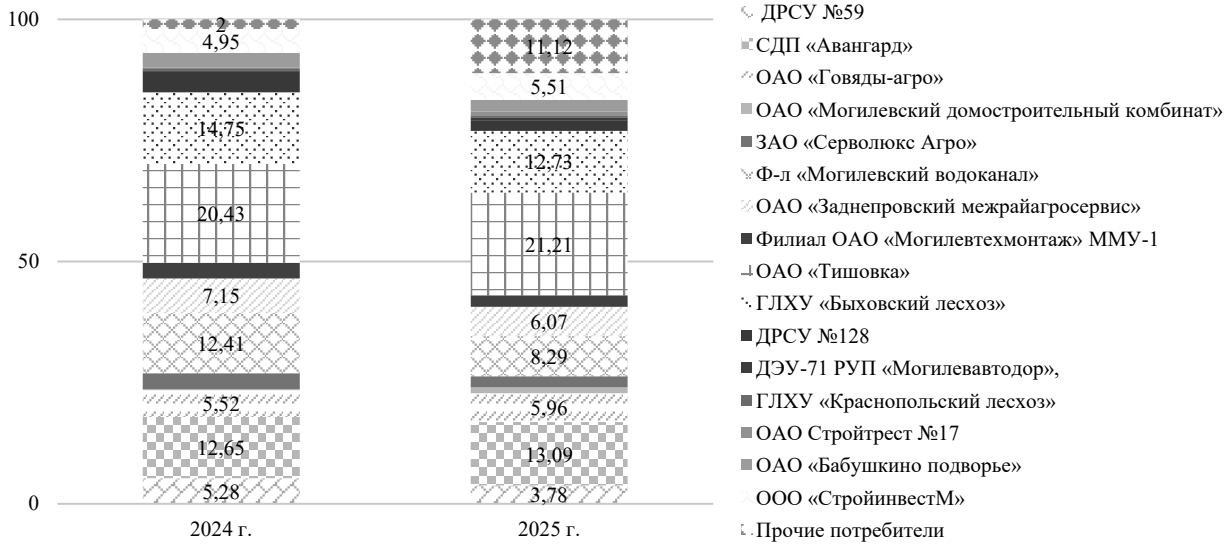


Рис. 1. Анализ структурной динамики отгрузок клиентам ОДО «Технолог-М» за 2024–2025 гг.

Наиболее значимая отрицательная структурная динамика отгрузки запасных частей к автомобилям, тракторам и сельхозтехнике за 2024–2025 гг. отмечена по следующим клиентам: филиал «Могилевский водоканал» (–4,12 п. п.), филиал КУП «Могилевоблдорстрой» ДРСУ № 128 (–2,19 п. п.), ГЛХУ «Быховский лесхоз» (–2,03 п. п.), филиал КУП «Могилевоблдорстрой» ДРСУ № 59 (–1,50 п. п.), ОАО «Заднепровский межрайагросервис» (–1,08 п. п.), ЗАО «Серволюкс Агро» (–1,02 п. п.). Таким образом, сегментация клиентской базы ОДО «Технолог-М» по критериям эффективности взаимоотношений контрагентов произведена на основе структурно-динамического анализа клиентской базы по индикаторам объема закупок, уровня рентабельности в канале сбыта, финансовой стабильности потребителя запасных частей с выделением наиболее значимых покупателей.

УДК 657.471

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО: АНАЛИЗ ЗАТРАТ, ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБНОВЛЕНИЯ

Т. Г. НЕЧАЕВА, Т. А. БОРОДИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Для хозяйствующих субъектов, функционирующих в условиях развития рынка, особую актуальность приобретает получение достоверной и объективной оценки издержек как в текущем, так и в перспективном периоде, а также выявление резервов их минимизации в целях улучшения конечных финансовых результатов и увеличения прибыли. Для решения указанной задачи необходимо уделять достаточное внимание вопросам учёта и отражения производственных расходов, а также калькулированию себестоимости продукции на стадиях её разработки и выпуска.

Под затратами на производство понимаются расходы хозяйствующего субъекта, непосредственно связанные с изготовлением выпускаемой продукции. Данный показатель носит качественный характер, т. к. отражает степень эффективности использования всех видов ресурсов, которыми располагает предприятие.

Изучение расходов, связанных с выпуском продукции, выполнением работ и оказанием услуг, приобретает особую значимость. Подобный анализ позволяет выявить закономерности динамики данного показателя, оценить степень выполнения плановых заданий по его уровню, установить воздействие отдельных факторов на его изменение и на основании полученных результатов сформировать объективную оценку деятельности предприятия в части использования имеющихся резервов, а также определить направления снижения себестоимости продукции, работ и услуг.

Проведённый анализ затрат на производство продукции ОАО «Могилевхимволокно» позволяет сделать следующие выводы.

Во-первых, наблюдается менее рациональное использование ресурсов на производство продукции, о чём свидетельствует снижение затрат на рубль произведённой продукции на 0,0244 р. в целом по предприятию и на 0,024 р. по основному виду деятельности. На увеличение затрат на рубль произведённой продукции в значительной степени повлияли ценовой фактор и изменение структуры производства. Рост цен на сырьё, материалы и комплектующие привёл к увеличению затрат на рубль произведённой продукции на 0,028 р. Сдвиг структуры продукции в сторону более затратоёмкой обусловил рост данного показателя на 0,471 р. Изменение цен на произведённую продукцию, работы и услуги способствовало снижению затрат на рубль товарной продукции на 0,162 р. Сокращение объёма произведённой продукции в натуральном выражении привело к снижению затрат на рубль произведённой продукции на 0,313 р.

Во-вторых, отмечается снижение эффективности использования материальных ресурсов за счет преобладания более материалоёмкой продукции, что подтверждает рост материалоёмкости по прямым материальным затратам на 0,0003 р./р. и увеличение удельного веса материальных затрат в себестоимости продукции.

В структуре материальных затрат наибольший удельный вес занимают сырьё и материалы, доля которых возросла на 2,5 п. п. и достигла 85,71 %. Большинство статей материальных затрат в 2025 г. характеризуются увеличением, что в основном обусловлено увеличением объёмов производства более материалоёмкой продукции, работ и услуг.

В 2023 г. и 2025 г. зафиксирован рост затрат на производство продукции. В целом за четыре года затраты на производство увеличились на 136,1 %. Динамика затрат на рубль произведённой продукции указывает на снижение данного показателя в 2023–2024 гг. относительно предыдущего года и 2022 г., а также на его рост в 2025 г. Причём в 2025 г. затраты на производство продукции превысили объём производства, что свидетельствует о снижении эффективности управления затратами на предприятии.

Максимального сокращения производственных издержек удаётся добиться благодаря совершенствованию технического оснащения предприятия: освоению новой техники и прогрессивных технологий, внедрению средств механизации, автоматизации и компьютерных систем, применению современных материалов, а также новых разновидностей сырья и топливных ресурсов.

При реализации указанных мероприятий следует принимать во внимание, что производство химической продукции характеризуется рядом определенных особенностей: высокой сложностью протекающих химических процессов, значительной чувствительностью к отклонениям от заданных режимов, присутствием в рабочей зоне веществ, опасных и вредных для здоровья персонала, а также взрыво- и пожароопасностью перерабатываемых соединений.

Для снижения себестоимости произведённой продукции, работ и услуг анализируемого предприятия предлагается сократить затраты в результате автоматизации производства. Внедрение одного станка PEGAS 360x500 SHI-LR позволяет обеспечить необходимый объём производства, который ранее выполнялся на двух отрезных станках 8В66. Кроме того, применение оборудования с более высокой мощностью позволит предприятию производить сверх внутризаводской потребности дополнительный объём производства в размере 3 242 тыс. р. За счёт повышения уровня производства происходит сокращение численности работников на одного рабочего. Годовая экономия фонда заработной платы составит 7 629,62 р. Использование более экономичного двигателя позволит сократить расходы на электроэнергию. Годовая экономия потребления электроэнергии составит 1 240,78 р. Резерв сокращения затрат на рубль произведённой продукции составит 0,0037 р.

Таким образом, проведение автоматизации даст возможность повысить качество производимой продукции, снизить расходы на электроэнергию и увеличить объёмы производства.

УДК 658

ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ В СОВРЕМЕННОМ ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Т. Г. НЕЧАЕВА, Д. А. ФОМЧЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В современных условиях синергетичности и цифровизации хозяйственного потенциала эффективность использования основных средств выступает одним из обусловливающих факторов конкурентоспособности промышленного предприятия, поскольку именно они формируют материально-техническую базу производства и во многом обусловливают его производственный потенциал. При этом наращивание и совершенствование основных средств является определяющим условием повышения качества и конкурентоспособности предоставляемых услуг.

Основные активы предприятия характеризуются как средства труда, которые задействованы в производственном процессе на протяжении множества циклов, длительное время сберегая при этом свои первоначальные свойства и натурально-вещественную форму. По мере физического и морального износа их стоимость постепенно переносится на себестоимость готовой продукции.

Объектом исследования выступило одно из крупных лифтостроительных предприятий региона. Был проведён анализ основных системных показателей, сгенерированных использованием основных активов предприятия. Текущая стоимость данного актива увеличилась на 17 982 тыс. р. в отчётном периоде относительно прошлого года. В течение анализируемого периода наблюдается рост стоимости машин и оборудования – на 28 094 тыс. р., зданий и сооружений – на 26 280 тыс. р., транспортных средств – на 2 104 тыс. р. Выявленная динамика указывает на значительные темпы обновления основных средств. Коэффициент обновления основных средств составил за прошлый год 0,0602, в том числе активной части – 0,0917. В отчётном году обновление выросло. Коэффициент обновления увеличился на 0,012 и составил 0,0722, в том числе активной части – 0,0953. Приобретаемые транспортные средства вводились в эксплуатацию неактивно. В отчётном году коэффициент их обновления сократился на 0,1487. Коэффициент обновления машин и оборудования вырос на 0,0058. Техническое состояние основных средств анализируемого предприятия оценивается как неудовлетворительное при тенденции дальнейшего постепенного ухудшения, поскольку коэффициент годности в релевантном диапазоне не превышал 45 %.

Фондоотдача основных средств в отчётном году, по сравнению с прошлым годом, снизилась на 0,16. Темп снижения составил 7,82 %.

Необходимо отметить, что основные средства используются неэффективно, о чём свидетельствует снижение фондорентабельности на 2,49 п. п., что обусловлено уменьшением фондоотдачи машин и оборудования – на 1,341 п. п., удель-

ного веса машин и оборудования – на 0,04 п. п., фондоотдачи активной части – на 1,381 п. п.

Действенность применения основных средств предприятия целесообразно реализовать через следующие направления:

а) модернизацию и техническое усовершенствование орудий труда;

б) продление периода эксплуатации машин и оборудования;

в) оптимизацию организации и управления процессами выпуска продукции;

г) уменьшение издержек на производство продукции, выполнение работ и оказание услуг.

Рост времени работоспособности оборудования может быть достигнут за счёт:

а) более рационального сервисного обслуживания основных средств, оптимизации соблюдения разработанной технологической карты работ, а также оптимизации организации трудовых и производственных процессов, что обеспечивает объективную эксплуатацию машин и оборудования;

б) реализации мероприятий, направленных на увеличение доли основных производственных операций в структуре рабочего времени.

Повышение эффективности использования основных средств предприятия также может быть обеспечено путём сокращения затрат и наращивания объёмов произведённой продукции, выполненных работ и оказанных услуг.

Проведённый анализ показал, что рентабельность продукции оказала отрицательное влияние на фондорентабельность и обусловила её снижение на 0,583 п. п.

ОАО «Могилевлифтмаш» использует свой подвижной состав для перевозок лифтов в Российскую Федерацию и, соответственно, задействует наличный парк подвижного состава, представленный грузовыми автомобилями-тягачами в сцепке с полуприцепами. В обратном направлении возможна загрузка автомобилей предприятия грузами (лифтовым оборудованием, комплектующими), предназначенными для предприятия от контрагентов.

Согласно произведённым расчётам, в результате применения предложенного мероприятия для анализируемого предприятия объём реализации (работ, услуг) увеличится на 16 934,4 р. При этом величина расходов возрастёт на 14 412,24 р., однако положительной тенденцией является увеличение прибыли предприятия на 2 522,16 р. Влияющим фактором в этом случае являются доходы от перевозки, которые повышают выпуск продукции, работ, услуг на 16 934 р., содействуя тем самым росту фондоотдачи транспортных средств на 0,003 р. В то же время рост фондоотдачи транспортных средств приведёт к повышению фондоотдачи активной части на 0,0001 р. Рост фондоотдачи основных средств составит 0,00007 р., что положительно отразится на фондорентабельности. В качестве фактора влияния выступает прибыль от перевозки, которая обусловит резерв роста фондорентабельности на 0,001 п. п.

Таким образом, повышение эффективности использования основных средств требует комплексного подхода, объединяющего технические, организационные и экономические меры, реализация которых обеспечит устойчивое развитие промышленного предприятия в долгосрочной перспективе.

УДК 658.7

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЗАКУПОЧНОЙ ЛОГИСТИКИ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК

А. А. ОЛЕЙНИК, Н. А. ВАКУЛИЧ
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

В современных условиях цифровая трансформация становится одним из ключевых направлений развития промышленных предприятий. Усиление конкуренции, рост требований потребителей и нестабильность внешней среды требуют повышения эффективности управления цепями поставок. Важную роль в решении данной задачи играет цифровизация закупочной логистики, позволяющая оптимизировать процессы снабжения, сократить затраты и повысить устойчивость деятельности предприятий [1, 2].

Закупочная логистика представляет собой систему управления материальными, информационными и финансовыми потоками, связанными с обеспечением предприятия необходимыми ресурсами. Ее основными задачами являются выбор надежных поставщиков, обеспечение своевременного поступления сырья и материалов, минимизация издержек и поддержание необходимого уровня запасов. Эффективная организация закупочной деятельности оказывает непосредственное влияние на результаты функционирования предприятия и его конкурентоспособность на рынке [3].

Традиционные методы организации закупок зачастую характеризуются значительными временными затратами на обработку информации, оформлением большого количества документов и ограниченными возможностями оперативного контроля. Кроме того, ручное выполнение многих операций повышает вероятность ошибок и снижает скорость принятия управленческих решений. Внедрение цифровых технологий позволяет устранить данные недостатки и обеспечить более высокий уровень эффективности закупочной деятельности [2, 3].

К наиболее распространенным инструментам цифровизации закупочной логистики относятся электронные системы закупок и специализированные цифровые платформы. Их использование обеспечивает автоматизацию процессов поиска поставщиков, проведения закупочных процедур, заключения договоров и контроля исполнения обязательств. Благодаря этому сокращается продолжительность закупочного цикла, снижается вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором, и повышается прозрачность взаимодействия между участниками цепи поставок. Дополнительным преимуществом является возможность оперативного обмена информацией и координации действий между всеми участниками логистического процесса [1].

Особое значение приобретают технологии искусственного интеллекта и анализа больших данных. Они позволяют прогнозировать потребность в материальных ресурсах, оценивать надежность поставщиков, выявлять потенциальные риски и формировать оптимальные закупочные решения.

Использование аналитических инструментов способствует снижению уровня избыточных запасов и уменьшению затрат на хранение продукции [1, 2].

Перспективным направлением развития закупочной логистики является применение технологий блокчейн. Данная технология обеспечивает высокий уровень прозрачности и достоверности информации о перемещении товаров и выполнении договорных обязательств. Это способствует укреплению доверия между участниками цепей поставок и снижению риска мошенничества. Использование блокчейн-технологий также позволяет повысить уровень безопасности хранения данных и обеспечить возможность отслеживания происхождения продукции на всех этапах ее движения [1].

Наряду с этим важную роль в цифровизации закупочной деятельности играют облачные технологии и системы электронного документооборота. Их внедрение позволяет организовать удаленный доступ к информации, ускорить согласование документов и повысить эффективность взаимодействия между структурными подразделениями предприятия и внешними контрагентами. Применение подобных решений способствует снижению административных расходов и повышению оперативности управления закупочными процессами [2].

Цифровизация закупочной логистики оказывает положительное влияние на эффективность функционирования всей цепи поставок. Основными результатами внедрения цифровых технологий являются сокращение сроков поставки, снижение логистических издержек, повышение точности планирования и улучшение качества обслуживания потребителей. Кроме того, цифровые решения позволяют предприятиям быстрее адаптироваться к изменениям рыночной конъюнктуры и внешним рискам, обеспечивая устойчивость и гибкость цепей поставок в современных условиях [1, 3].

Таким образом, цифровизация закупочной логистики является важным фактором повышения эффективности цепей поставок и конкурентоспособности промышленных предприятий. Использование современных информационных технологий способствует оптимизации закупочных процессов, снижению затрат и повышению качества управления материальными потоками. Дальнейшее развитие и внедрение цифровых решений будут создавать дополнительные возможности для инновационного развития экономики и формирования устойчивых логистических систем, отвечающих требованиям современного рынка [1, 2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аникин, Б. А.** Управление цепями поставок : учебник / Б. А. Аникин, Т. А. Родкина. – М. : Проспект, 2023. – 216 с.

2. Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы. – URL: https://pravo.by (дата обращения: 19.06.2026).

3. **Гаджинский, А. М.** Логистика : учебник / А. М. Гаджинский. – 23-е изд., перераб. и доп. – М. : Дашков и К°, 2024. – 484 с.

УДК 656.073.7

КОРРЕКТИРОВКА ПАРАМЕТРОВ ЗАГРУЗКИ ВАГОНОВ-ЦИСТЕРН С УЧЕТОМ СЕЗОННЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

В. А. ОЛЕНЦЕВИЧ
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутск, Россия

Согласно оценкам экспертов, российская газовая отрасль продолжит переориентирование экспорта в Азию. Начиная с 2025 г. отрасль сочетает действующую экспортную базу, технологическую модернизацию, поиск новых мощностей для транспортировки сжиженного природного газа (СПГ) и внутренних поставок. Компания работает на стыке производства и транспорта, связывая добывающий контур с магистральными маршрутами и экспортными направлениями. Транспортировка СПГ требует точной координации работы железнодорожных станций, терминалов и диспетчерских систем. Для этого ООО «Газпромтранс» формирует деятельность не как грузоперевозчик, а выступает звеном интегрированной цепи, где важны ритм, безопасность и технологическая дисциплина всех участников перевозочного процесса [1–3].

Научное исследование рассматривает перевозочный процесс Восточного полигона железных дорог как систему правил, мощностей и диспетчерского управления. На примере ООО «Газпромтранс» показано, как маршрутизация, налив газового конденсата и сезонные ограничения влияют на результат перевозок и экономический эффект участников перевозочного процесса. Разработаны методы, дана оценка корректировки параметров загрузки и маршрутизации СПГ с учетом сезонных и технологических ограничений.

Диагностика проблем организации перевозочного процесса СПГ по Восточному полигону железных дорог: неритмичность планов и сезонные провалы; высокая загрузка и ограниченная скорость движения поездов, из-за чего инфраструктурный комплекс полигона является лимитирующим местом при продвижении маршрутов СПГ; наличие скрытых потерь от недогруза вагонов-цистерн при перевозке газового конденсата.

Нормативную базу заполнения вагонов-цистерн СПГ определяет приказ Минтранса РФ от 29.07.2019 № 245. Проведен анализ превышения расчётного веса загрузки вагонов-цистерн СПГ согласно установленной нормативной базе над фактическим погруженным весом. Фрагмент результата представлен на рис. 1, *а*. Расчётная масса округляется вверх до полной тонны, что формирует «срезанный» объём, не учитываемый при тарификации [3–6].

На основе результатов исследований предложена методика корректировки наливного объёма СПГ на основе распределения по уровню заполнения последней тарифной тонны. Для каждого вагона-цистерны рассчитывалась масса сверх предыдущей полной тонны (шаг – 100 кг, диапазон – 0...1000 кг). Корректировка возможна только в сторону уменьшения погрузки. На рис. 1, *б* представлено частотное распределение вагонов по уровням процентного заполнения последней округляемой тарифной тонны СПГ.

а) *б*)

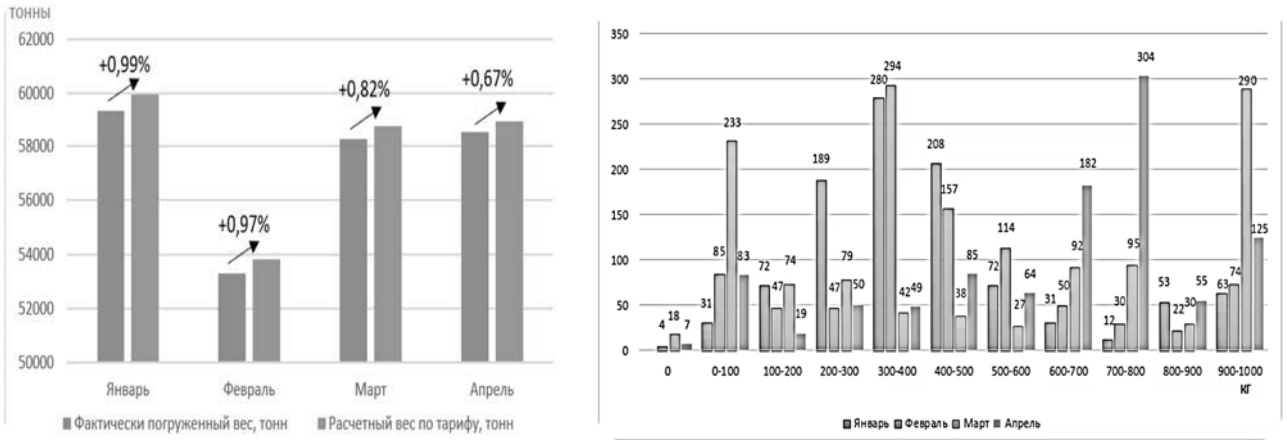


Рис. 1. Обоснование необходимости корректировки наливного объёма СПГ: *а* – доля превышения расчётного веса над фактическим ; *б* – частотное распределение вагонов

Оптимальный интервал округления составляет 500...600 кг. При превышении 700 кг выгода для участников перевозочного процесса становится отрицательной, а также повышает риски потери груза, приводит к нарушению уровня безопасности перевозочного процесса на Восточном полигоне. Внедрение системы оптимизации способно сократить недополученные доходы ОАО «РЖД» на 10,2 млн р./год. Для ООО «Газпромтранс» максимальная выгода при округлении 500...600 кг составит 1,6 млн р./мес., по причине снижения сезонных факторов – 0,7 млн р./мес. (для расчета принят месяц максимальной перевозки) [2–4, 7].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 27 нояб. 2021 г. № 3363-р // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 11.10.2026).

2. Восточный полигон железных дорог: эксплуатационные, технические и финансово-экономические аспекты деятельности / Б. Архит, Н. П. Асташков, Ю. И. Белоголов [и др.]. – Иркутск : ИрГУПС, 2025. – 319 с.

3. Российские железные дороги: официальный сайт. – URL: http://www.rzd.ru (дата обращения: 11.10.2026).

4. **Сольская, И. Ю.** Анализ и оценка эффективности в системе управления предприятием железнодорожного транспорта / И. Ю. Сольская, Н. В. Трубина, Д. А. Динец. – Иркутск : ИрГУПС, 2009. – 308 с.

5. **Оленцевич, В. А.** Обоснование необходимости формирования корпоративных финансов с учетом системы пропускных и провозных мощностей инфраструктурного комплекса ОАО «РЖД» / В. А. Оленцевич // Финансовый менеджмент. – 2025. – № 12. – С. 238–245.

6. **Оленцевич, В. А.** Методическое и программное обеспечение прогнозирования значений уровня безопасности функционирования железнодорожной транспортной системы / В. А. Оленцевич, В. Е. Гозбенко. – Иркутск : ИрГУПС, 2019. – 172 с.

7. **Оленцевич, В. А.** Задачи приспособления транспортной инфраструктуры к новым технологиям / В. А. Оленцевич, В. Е. Гозбенко // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2021. – № 8. – С. 189–190.

УДК 614.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

П. С. ОРЛОВСКИЙ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В условиях технологического перевооружения и модернизации промышленного производства на предприятиях машиностроения и нефтегазового комплекса вопросы обеспечения пожарной и промышленной безопасности выходят на первый план. Сложность внедрения новых систем, появление новых материалов, технологий, изменение планировок и влияние человеческого фактора могут значительно снизить уровень безопасности, что требует усовершенствования подходов в управлении рисками [1].

Проведенный статистический анализ травматизма и аварийности на производстве, ознакомление с технологиями производства и применяемыми методиками оценки риска показали, что развитие и внедрение нового подхода позволит снизить вероятность аварий до приемлемого уровня, при этом соответствуя трендам концепции «Индустрия 4.0».

Традиционного нормативного подхода, утвержденного на законодательном уровне, в данных условиях может быть недостаточно, т. к. не учитываются все реальные факторы, влияющие на вероятность возникновения опасности [2–4]. В связи с этим переход к риск-ориентированному подходу с применением количественной оценки пожарного риска должен стать ключевым элементом в системе управления промышленной и пожарной безопасностью.

Существующие методики оценки пожарного риска требуют значительных временных затрат при пересчете в условиях меняющейся технологической среды. В данной работе предлагается подход, основанный на математическом моделировании процесса возникновения опасных факторов пожара и алгоритмизации расчета. Разработанный алгоритм позволяет формализовать входные параметры объекта (площадь, категория помещения, наличие систем противопожарной защиты) и в автоматизированном режиме получать количественную оценку индивидуального пожарного риска. Апробация логики расчета на примере объектов автомобильной газозаправочной станции показала, что такой подход снижает вероятность ошибки, связанной с человеческим фактором, при оформлении деклараций пожарной безопасности и позволяет оперативно оценивать эффективность внедряемых технических решений.

Расчет пожарного риска позволяет не просто проверить объекты на соответствие требованиям безопасности, а также выявить наиболее уязвимые места до того момента, как случится авария, и оптимизировать затраты на применение наиболее надежных и качественных защитных мероприятий и средств защиты [5]. Это дает возможность не переплачивать за выполнение всех

указанных в нормативных документах требований, но усилить защиту в тех местах, где риск реально высок.

Пример технологической модернизации производственных площадок предприятий машиностроительного комплекса показывает, как внедрение новых сборочных линий и окрасочных камер требует пересмотра существующих карт пожарного риска. Расчет индивидуального пожарного риска позволяет оптимизировать размещение противопожарных преград и систем раннего обнаружения и тушения пожара.

На примере объектов хранения нефтепродуктов и автогазозаправочных станций выявлено, что при замене устаревшего резервуарного парка на современные технологические модули применяемые методы оценки риска могут давать погрешность. Внедрение и применение новых методов расчета пожарного риска позволяет объективизировать уровень безопасности.

Совершенствование риск-ориентированного подхода через интеграцию расчетов пожарного риска в единую систему управления промышленной и пожарной безопасностью в Республике Беларусь позволит достичь перехода от формальных проверок к управленческим решениям.

В дальнейшем развитие направления может быть связано с внедрением цифровых двойников для мониторинга и проведения оценки рисков на различных объектах, а также разработкой единых межотраслевых методик расчета. Разработка и совершенствование подобных методик оценки рисков является важным вкладом в обеспечение технологического суверенитета и устойчивого развития промышленности, что соответствует стратегическим задачам, стоящим сегодня перед научным сообществом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Орловский, П. С.** Методы управления риском на промышленном предприятии / П. С. Орловский, А. П. Бызов // Человек и окружающая среда : сб. докл. IX Всерос. молодежной науч. конф., посвящ. 100-летию Респ. Коми. – 2021. – С. 114–117.

2. **Андреев, А. В.** Методика балльно-факторной оценки частоты инициирующих пожароопасные ситуации событий для подземных емкостей автомобильной газозаправочной станции / А. В. Андреев, А. П. Бызов, П. С. Орловский // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2023. – № 4 (68). – С. 131–141.

3. **Орловский, П. С.** Методика балльно-факторной оценки частоты инициирующих пожароопасные ситуации событий для надземных емкостей АГЗС / П. С. Орловский, А. П. Бызов, А. В. Андреев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 3 (63). – С. 141–146.

4. **Орловский, П. С.** Методика балльной оценки факторов влияния на возникновение пожароопасной ситуации для надземных емкостей АГЗС / П. С. Орловский, А. П. Бызов // Siberian Fire and Rescue Bulletin. – 2024. – № 2 (33). – С. 157–167.

5. **Орловский, П. С.** Определение значимости факторов, влияющих на вероятность аварии на автомобильных газозаправочных станциях с надземной емкостью для сжиженных углеводородных газов / П. С. Орловский // Молодежь в науке – 2024 : тез. докл. XXI Междунар. науч. конф. молодых ученых : в 2 ч. – Мн., 2024. – С. 368–369.

УДК 621.91.01

ОБУЧЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ, ПОСТРОЕННЫХ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ «ИНДУСТРИЯ 4.0»

В. М. ПАШКЕВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Концепция «Индустрия 4.0» в настоящее время рассматривается как основной тренд развития промышленных систем, интегрирующий современные информационные технологии с робототехникой, мехатроникой, искусственным интеллектом, Big Data, киберфизическими системами, цифровыми двойниками, аддитивными технологиями, промышленным интернетом вещей и др.

Используемые применительно к таким системам термины «интеллектуальные», «смарт» характеризуют их способность к принятию решений, действию в сложной производственной обстановке без участия оператора (человека). Такая способность чаще всего определяется возможностью улучшения поведения технологической системы во времени на основе накопления информации, ее анализа на основе определенного алгоритма и автоматического построения модели поведения, что в совокупности чаще всего определяется как «алгоритм обучения». Спектр используемых алгоритмов обучения для решения производственных задач разного рода довольно широк [1] – от простейшего запоминания последовательности действий, применения ряда методов распознавания образов (метрического, статистического, логического), статистических методов кластеризации до использования методов глубокого обучения на основе сверточных нейронных сетей или эволюционных методов поиска на основе генетических алгоритмов.

Применение алгоритмов обучения, таким образом, может быть объединено в единую среду, обслуживающую совокупность производственных задач и обеспечивающую интеграцию информационного обмена между ними. Среди задач такого рода можно выделить следующие.

1. Управление технологическими процессами (механообработки и сборки). Обучение для задач такого типа строится на преобразовании многочисленных входных переменных (режимов резания, характеристик технологического оборудования, технических требований и т. д.) в переменную управления (погрешность обработки, режимы оборудования). Для обучения могут строиться многофакторные модели, применяться функциональные семантические сети и др.

2. Техническое зрение и распознавание изображений. Сценами для распознавания могут быть как изображения с камеры робота (автоматизированная сборка) или контрольного приспособления (потоковый контроль на конвейере), так и частично упорядоченные сцены с элементами привязки (маркировка на объектах для сортировки). Обучение ведется на наборе изображений, классифицированных учителем, и реализуется, как правило, с использованием сверточных нейронных сетей.

3. Технологический контроль. Может вестись как одна из операций технологического процесса изготовления или реализовываться в форме отдельного этапа оценки качества продукции, связанного с процессом ее последующей сортировки по кондициям.

4. Сортировка продукции. Задачи такого типа могут быть во многом сходны с предыдущей задачей, однако на практике часто реализуются в упрощенном варианте (распознавание по маркировке, в том числе по RFID-меткам). Обучение распознаванию в этом случае носит элементарный характер.

5. Транспортировка и автоматизированное складирование продукции. Включает для автономных транспортных систем алгоритм обучения на основе картирования производственного участка и склада (по результатам маршрутной ультразвуковой или лидарной топографической съемки) или обучение по жесткому сценарию заучивания траектории перемещения.

Несмотря на разнообразие типов алгоритмов обучения, все упомянутые задачи могут быть типизированы на основе их решения интеллектуальными агентами, обменивающимися информацией в едином информационном поле «доски объявлений». Типичный контент агента может включать упрощенную структуру следующего типа (рис. 1).

Технологическая операция	Контроль
Входной сигнал	Input_1; VGA 640x480
Выходной сигнал	Output_2; 0/1
Алгоритм обучения	YOLO
Обработчик	Visio_1.py
Адрес хранения конфигурации	0x004: 0x016
Адрес сообщений «доски объявлений»	0x001: 0x004

Рис. 1

Управление агентами ведется на основе типовых операций: запуск и остановка агента; чтение из указанного канала входной информации; запись выходной информации в установленный канал; запуск процедуры обучения агента; запуск процедуры обработки текущей конфигурации агента; сохранение конфигурации агента в памяти «доски объявлений»; вывод информации агента на «доску объявлений» с целью обмена информацией с коллаборативными устройствами; чтение информации с «доски объявлений».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рассел, С.** Искусственный интеллект: современный подход : пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг. – 2-е изд. – СПб. : Питер ; М. : Вильямс, 2006. – 1408 с.

УДК 338.45

РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ ОАО «НАФТАН»

Ю. Э. ПЕКАРСКАЯ, М. П. МИШКОВА
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

Современное промышленное производство развивается в условиях повышения требований к рациональному использованию ресурсов и экологической безопасности. Для нефтеперерабатывающих предприятий это особенно актуально из-за значительного потребления сырья и энергии, а также образования выбросов и отходов. Поэтому внедрение экологически ориентированных технологий становится одним из направлений технологического развития предприятий.

Экологизация производства предполагает рациональное использование ресурсов, снижение негативного воздействия на окружающую среду и совершенствование производственных процессов [1]. При этом экологические мероприятия способны обеспечивать не только природоохранный, но и экономический эффект.

ОАО «Нафтан» является крупным предприятием нефтеперерабатывающей промышленности Республики Беларусь. Специфика деятельности предприятия обусловливает необходимость постоянной модернизации производственных мощностей, повышения глубины переработки нефти и снижения экологической нагрузки.

Одним из ключевых направлений экологизации является более полное использование нефтяного сырья. На ОАО «Нафтан» данная задача решается, в частности, посредством эксплуатации комплекса замедленного коксования. Его внедрение позволило увеличить глубину переработки нефти до 92 %, повысить выход светлых нефтепродуктов и получить дополнительные продукты, включая серу и нефтяной кокс [2].

Важное значение имеет также снижение энергоемкости производства. Модернизация оборудования, сокращение энергетических потерь и совершенствование технологических процессов позволяют уменьшать расход ресурсов и производственные затраты. Таким образом, экологическая модернизация может одновременно способствовать повышению экономической эффективности предприятия [3].

Основными проблемами внедрения экологически ориентированных технологий являются высокая стоимость технологического обновления, длительный период окупаемости отдельных инвестиций и необходимость постоянного совершенствования оборудования. Поэтому экологические мероприятия должны рассматриваться как часть долгосрочной стратегии развития предприятия.

Перспективными направлениями для ОАО «Нафтан» являются дальнейшее повышение глубины переработки нефти, снижение удельного потребления энергии и сырья, расширение переработки побочных продуктов и совершенствование экологического мониторинга. Эффективность данных мероприятий целесообразно оценивать по изменению ресурсных затрат, объемов отходов и выбросов, производственных расходов и сроков окупаемости инвестиций.

Таким образом, внедрение экологически ориентированных технологий является важным условием развития современного промышленного производства. Опыт ОАО «Нафтан» показывает, что технологическая модернизация позволяет одновременно повышать эффективность использования сырья и снижать экологическую нагрузку. Дальнейшее развитие предприятия целесообразно связывать с ресурсосбережением, повышением энергоэффективности, переработкой побочных продуктов и совершенствованием экологического контроля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологизация производства: теория и практика : монография / под ред. Н. П. Кузнецова. – М. : ИНФРА-М, 2021. – 256 с.

2. Нефтепереработка и нефтехимия: научно-технические достижения и перспективы развития / под ред. А. В. Крылова. – М. : Химия, 2020. – 384 с.

3. **Короленко, О. Я.** Организационно-экономическое обеспечение модернизации предприятий нефтеперерабатывающей промышленности : монография / О. Я. Короленко. – Мн. : БГТУ, 2022. – 218 с.

УДК 331.101.6

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА НА ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ»

Ю. Э. ПЕКАРСКАЯ, М. П. МИШКОВА
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

Производительность труда является одним из основных показателей эффективности промышленного производства. Ее повышение позволяет увеличивать объем выпуска продукции без пропорционального роста численности работников, снижать трудоемкость и себестоимость продукции, а также повышать конкурентоспособность предприятия. В современных условиях рост производительности труда все больше связан не только с интенсификацией труда работников, но и с техническим перевооружением, автоматизацией и совершенствованием организации производства [1].

Для машиностроительных предприятий данная проблема имеет особое значение, поскольку производство характеризуется значительной трудоемкостью изготовления деталей и сборки продукции. Одним из крупнейших предприятий отрасли в Беларуси является ОАО «Гомсельмаш», специализирующееся на производстве сельскохозяйственной техники. В связи с этим исследование современных направлений повышения производительности труда на данном предприятии представляет практический интерес.

Производительность труда определяется количеством продукции, произведенной одним работником за определенный период, или затратами рабочего времени на изготовление единицы продукции. На ее уровень оказывают влияние технические, организационные и социально-экономические факторы. В современных условиях особое значение приобретают автоматизация производственных операций, модернизация оборудования, совершенствование организации труда и повышение квалификации работников [2].

ОАО «Гомсельмаш» осуществляет комплексную модернизацию производственных мощностей. В рамках реализуемых инвестиционных проектов предусматривается закупка современного оборудования и внедрение новых технологий в металлообрабатывающем, термическом, кузнечно-прессовом, сварочном и окрасочном производствах. По информации предприятия, применение нового высокоточного оборудования позволяет выполнять отдельные операции с использованием одного станка вместо нескольких, что сокращает временные и финансовые затраты и снижает дефектность изделий.

Таким образом, одним из основных направлений повышения производительности труда является техническое перевооружение. Использование современного оборудования позволяет уменьшить продолжительность производственных операций, сократить простои и снизить трудоемкость изготовления продукции. Автоматизация отдельных процессов также дает возможность перераспределить работников на более сложные операции, требующие контроля и принятия решений.

Важным направлением является совершенствование организации труда. Повышение производительности возможно за счет сокращения непроизводительных потерь рабочего времени, оптимизации движения материалов и деталей между производственными участками, улучшения организации рабочих мест и применения рациональных методов выполнения операций. В условиях машиностроительного производства это особенно важно, поскольку даже небольшие простои отдельных участков могут увеличивать продолжительность всего производственного цикла.

Еще одним направлением является повышение квалификации работников. Внедрение современного оборудования требует от персонала новых технических и цифровых компетенций. Поэтому повышение производительности труда должно сопровождаться обучением работников работе с автоматизированными системами и современным станочным оборудованием. Это позволяет более эффективно использовать технические возможности предприятия [3].

Для ОАО «Гомсельмаш» перспективным является дальнейшее сочетание технической модернизации и совершенствования организации труда. В рамках реализуемых проектов предприятие планирует создание новых высокопроизводительных рабочих мест и внедрение современных производственных технологий, что создает предпосылки для дальнейшего роста эффективности труда.

Оценивать результативность мероприятий целесообразно по динамике выработки на одного работника, трудоемкости продукции, численности персонала, фонда рабочего времени и объема выпуска. При этом рост производительности труда должен сопровождаться контролем качества продукции, поскольку увеличение скорости производства не должно приводить к росту количества дефектов.

Таким образом, повышение производительности труда в современном промышленном производстве связано прежде всего с техническим перевооружением, автоматизацией, совершенствованием организации труда и развитием профессиональных компетенций работников. Опыт ОАО «Гомсельмаш» показывает, что модернизация оборудования позволяет сокращать продолжительность производственных операций, снижать трудоемкость и повышать качество продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Нехорошева, Л. Н.** Экономика предприятия: учебник / Л. Н. Нехорошева. – Мн. : Выш. шк., 2004. – 383 с.

2. **Русак, Е. С.** Экономика предприятия: курс лекций / Е. С. Русак. – Мн. : Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2008. – 214 с.

3. **Бабук, И. М.** Экономика предприятия : учеб. пособие / И. М. Бабук. – Мн. : ИВЦ Минфина, 2008. – 327 с.

УДК 338.45:629.3

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА ПРИМЕРЕ ОАО «МТЗ»

Ю. Э. ПЕКАРСКАЯ, М. П. МИШКОВА
Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

Машиностроение занимает важное место в промышленном комплексе Республики Беларусь, обеспечивая продукцией сельское хозяйство, транспорт, строительство и другие отрасли экономики. Современное развитие машиностроения происходит в условиях изменения спроса, роста требований к техническим характеристикам продукции, необходимости технологического обновления и усиления конкуренции на внешних рынках. В связи с этим особое значение приобретают повышение эффективности производства, модернизация основных средств и внедрение современных технологий [1].

Состояние промышленного производства Республики Беларусь характеризуется неоднородной динамикой. По данным Белстата, объем промышленного производства в 2025 г. в сопоставимых ценах составил 98,2 % к уровню 2024 г. В таких условиях для машиностроительных предприятий особенно важны обновление производственных мощностей, снижение затрат, повышение производительности труда и развитие экспортного потенциала [2].

Показательным примером является ОАО «Минский тракторный завод» – одно из крупнейших предприятий белорусского машиностроения, специализирующееся на производстве тракторной техники. Предприятие выпускает колесные и гусеничные тракторы для сельскохозяйственных, строительных, лесных и коммунальных работ. Значительная часть продукции ориентирована на внешние рынки: более 90 % произведенных тракторов поставляется за рубеж.

Одной из основных тенденций развития МТЗ является модернизация производственных мощностей. В 2024 г. сообщалось о планах предприятия направить около 300 млн долл. на модернизацию до 2028 г. Проекты предусматривают обновление действующего производства и развитие выпуска тракторов высокой мощности. Технологическое обновление создает условия для повышения производительности и качества продукции, а также сокращения производственных потерь.

Важное значение имеет обновление модельного ряда. Современный рынок сельскохозяйственной техники предъявляет повышенные требования к мощности, надежности, производительности и функциональности машин. Поэтому дальнейшая конкурентоспособность предприятия будет зависеть от способности разрабатывать и внедрять новые модели, соответствующие требованиям различных рынков [3].

Еще одной современной тенденцией является развитие цифровых и автоматизированных технологий. Их применение позволяет совершенствовать планирование производства, контроль качества, управление оборудованием и техническое обслуживание. Для машиностроительного предприятия цифровизация выступает инструментом повышения производительности труда и эффективности использования основных средств.

Вместе с тем отрасль сталкивается с рядом проблем: высокой потребностью в инвестициях для обновления оборудования, зависимостью от стоимости материалов и комплектующих, усилением конкуренции и необходимостью привлечения квалифицированных кадров. Для предприятий с высокой экспортной ориентацией дополнительным фактором является изменение спроса и условий на внешних рынках [1].

Перспективным направлением развития ОАО «МТЗ» является комплексная модернизация производства, расширение применения автоматизированных технологий и совершенствование управления затратами. Одновременно необходимо продолжать обновление модельного ряда, развивать сервисное обслуживание и расширять географию экспорта. Диверсификация рынков сбыта позволит снизить зависимость от отдельных направлений и создать дополнительные возможности для роста объемов реализации [2].

Таким образом, основными тенденциями современного развития машиностроения Республики Беларусь являются технологическое обновление, цифровизация, повышение производительности труда, развитие инновационной продукции и расширение экспортных возможностей. На примере ОАО «МТЗ» видно, что дальнейшее повышение эффективности машиностроительного производства связано с модернизацией основных средств, внедрением современных технологий и адаптацией продукции к требованиям различных рынков. Реализация данных направлений создает условия для повышения конкурентоспособности предприятия и устойчивого развития белорусского машиностроения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сергиевич, Т. В.** Экономический анализ развития машиностроительного комплекса Республики Беларусь / Т. В. Сергиевич // Экономическая наука сегодня. – 2023. – № 18. – С. 97–130.

2. **Сергиевич, Т. В.** Сценарный подход в прогнозировании развития белорусского машиностроения / Т. В. Сергиевич // Экономическая наука сегодня. – 2025. – № 21. – С. 79–89.

3. **Катеринич, Д.** Инновационные подходы к повышению конкурентоспособности продукции машиностроения / Д. Катеринич // ЭКО. – 2018. – № 10. – С. 53–57.

УДК 338.45:691.32

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ РЫНКА АВТОКЛАВНЫХ СИЛИКАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ В СОВРЕМЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Л. Ю. ПИРИЕВА, Д. А. ВАСИЛОВ
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

Материалы автоклавного твердения широко используются в строительстве ввиду оптимального сочетания физико-механических и технико-эксплуатационных свойств, обеспечивающих долговечность конструкций и комфортную среду для жизнедеятельности. Их производство связано с небольшой длительностью технологического цикла, минимальным расходом топлива и электроэнергии [1]. Одними из наиболее экономичных и распространенных в России стеновых материалов являются автоклавные силикатные материалы.

С 2009 г. по 2016 г. силикатная промышленность испытала серьезные проблемы, связанные со снижением спроса и усилением конкуренции со стороны материалов-заменителей. По данным Росстата, производственные мощности к 2016 г. сократились на 7 %. Число действующих предприятий по выпуску силикатных стеновых материалов снизилось с 72 (2015 г.) до 59 (2018 г.) заводов, а средняя загрузка производственных мощностей составила 35 % [2]. Многие заводы были вынуждены приостановить работу сезонно или полностью. Таким образом, объемы производства силикатных стеновых материалов в стране к 2016 г. снизились на 36,8% по сравнению с аналогичным периодом 2015 г. (до 210 млн шт. усл. кирпича в год).

До 2021 г. в России сохранялась тенденция напряженного социально-экономического развития. Тем не менее к 2024 г. доля российских стройматериалов в строительстве увеличилась с 66 % до 72 % [3]. Силикатная промышленность увеличила производство на 10,9 % (до 5 712,3 млн усл. ед. кирпича) [4]. Наибольший вклад внес Центральный федеральный округ (ЦФО), обеспечивший почти 42 % общего объема. Рост обусловлен увеличением ввода жилья, прежде всего индивидуального (до 87 % потребления штучных материалов).

Анализ текущего состояния рынка показал, что за январь – октябрь 2025 г. объем выпуска силикатного кирпича в России достиг 1 142,8 млн усл. кирпичей. Лидером отрасли стал Приволжский федеральный округ (ПФО), произведший 373,8 млн шт., или 32,7 % от общероссийского показателя. Этот факт подтверждает высокую концентрацию мощностей и развитость инфраструктуры региона.

В октябре 2025 г. месячный объем производства составил 109,6 млн шт., что на 12,5 % выше показателей сентября, но на 13,0 % ниже уровня октября 2024 г. При этом, по сравнению с январем 2025 г. (79,6 млн шт.), зафиксирован значительный рост на 37,7 %, отражающий оживление строительного сектора [5].

Основной объем производства силикатных стеновых материалов в России сосредоточен в шести федеральных округах. Распределение производства в октябре 2025 г. было следующим:

– Приволжский федеральный округ – 33,2 млн усл. кирпичей;

– Центральный федеральный округ – 25,9 млн усл. кирпичей;

– Уральский федеральный округ – 16,2 млн усл. кирпичей;

– Южный, Северо-Западный и Сибирский федеральные округи демонстрируют меньшие объемы.

Динамика выпуска силикатного кирпича в 2025 г. поддерживается устойчивым спросом со стороны строительных и инфраструктурных проектов, модернизацией производственных линий, совершенствованием логистики и расширением номенклатуры продукции. Одновременно статистика Росстата (2017–2025 гг.) фиксирует стабильное увеличение средних рыночных цен на силикатный кирпич. Основная причина удорожания – увеличение себестоимости производства, которая лишь частично компенсируется за счет оптимизации технологических процессов.

Рынок силикатного кирпича в России напрямую зависит от состояния строительной отрасли и благосостояния населения. Материал востребован в сегментах индивидуального жилищного строительства, а также при реконструкции и капремонте жилого фонда. Отрасль демонстрирует устойчивость и потенциал развития благодаря: рациональной региональной структуре производства; экологичности материала и возможности использования вторичного сырья; энергоэффективности: расход топливно-энергетических ресурсов при производстве силикатного кирпича в 2 раза ниже, чем при производстве керамики.

Таким образом, несмотря на рост себестоимости и цен, рынок автоклавных силикатных изделий в России сохраняет положительные перспективы развития как на внутреннем, так и на внешнем рынках, отвечая современным требованиям к качеству и экологичности строительства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аниканова, Л. А.** Силикатные автоклавные материалы с использованием вторичного ангидритового сырья / Л. А. Аниканова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – Т. 26, № 2. – С. 185–193.

2. **Володченко, А. Н.** Силикатные автоклавные материалы на основе алюмосиликатного сырья как фактор оптимизации системы «человек – материал – среда обитания» / А. Н. Володченко, В. С. Лесовик // Известия вузов. Строительство. – 2014. – № 3. – С. 27–33.

3. **Семенов, А. А.** Тенденции развития отечественной силикатной промышленности / А. А. Семенов // Строительные материалы. – 2018. – № 12. – С. 25–26.

4. **Семенов, А. А.** Итоги развития российского рынка стеновых материалов в 2021 г. / А. А. Семенов // Строительные материалы. – 2022. – № 3. – С. 44–45.

5. The expert spoke about the growing use of Russian building materials. – URL: https://en.iz.ru/en/1878995/2025-04-30/expert-spoke-about-growing-use-russian-building-materials (date of access: 01.05.2026).

УДК.621.74.047

ПРИМЕНЕНИЕ ДОРНА ПРИ НЕПРЕРЫВНО-ЦИКЛИЧЕСКОМ ЛИТЬЕ НАПРАВЛЕННЫМ ЗАТВЕРДЕВАНИЕМ

В. Б. ПОПОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Метод непрерывно-циклического литья направленным затвердеванием, разработанный в Институте технологии металлов НАН Республики Беларусь [1], позволяет получать высококачественные заготовки из серого, высокопрочного, белого чугунов и цветных металлов.

Исходя из принципа формирования отливки, внутренняя поверхность образуется непосредственно из фронта кристаллизации расплава в водоохлаждаемой форме. В данном случае на толщину получаемой заготовки оказывают влияние следующие основные факторы: общее время формирования, химический состав расплава, температура подачи расплава в кристаллизатор, время заполнения, являющиеся характерными для этого способа получения отливок.

Для ограничения роста стенки отливки возможно использовать дорн, который не является элементом базовой схемы литья. Применение нагревательного устройства в конструкции дорна существенно улучшает технологический процесс за счет появления внутренней формообразующей поверхности, разогретой до температуры, сравнимой с температурой внутренней стенки отливки к моменту ее извлечения, а именно с температурой солидуса. В данном случае сохраняется направленность затвердевания и ограничивается рост стенки отливки. Дорн можно вводить в расплав в момент заполнения стационарного кристаллизатора. Извлечение дорна в данном случае происходит во время извлечения отливки из стационарного кристаллизатора. Опытный образец дорна был изготовлен из графита марки МГ-1 с последующим напылением на рабочую поверхность оксида алюминия.

Применение нагреваемого дорна позволяет получить новый технологический процесс с улучшением геометрии отливок за счет ограничения роста стенки отливки с сохранением направленности затвердевания и, соответственно, уменьшить припуски на механическую обработку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Попов, В. Б.** Получение заготовок деталей машиностроения из серого чугуна методом направленного затвердевания / В. Б. Попов // Ученые и специалисты – народному хозяйству области : материалы науч.-техн. конф. – Могилев : МТЦНТИ, 1989. – С. 78.

УДК 621.9

О ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А. П. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ, А. А. ДЕНИСОВА
Воронежский институт высоких технологий
Воронеж, Россия

Для того чтобы различные виды объектов были сформированы в аддитивном производстве, требуется осуществлять настройку различных видов технологических процессов (ТП). При этом необходимо ориентироваться на те характеристики качества, которые задаются потребителями. Они будут получаться при использовании соответствующих математических моделей [1].

Целью данной работы является рассмотрение возможностей улучшения технологического процесса, используемого в ходе реализации аддитивного производства.

Мы исходили из того, что некоторые определенные стандартные операции ТП задаем в некоторой последовательности. Это позволит получить объект в аддитивном производстве. Есть входные $\sum_{j=1}^{l} X_{jn} = \{x_{1n}, x_{2n}, ..., x_{ln}\}$, а также выходные $\sum_{i=1}^{k} Y_{in} = \{y_{1n}, y_{2n}, ..., y_{kn}\}$, $i = 1...k$, $j = 1...l$, параметры ТП.

На рис. 1 представлены основные шаги мониторинга ТП.

В связи с тем, что в ТП необходимо учитывать множество параметров, для их настройки предлагается применять сформированный нами модифицированный дискриминационный метод. Он основывается на том, что в ходе оценки качества характеристик объекта, создаваемого в аддитивном производстве, соответствующие критерии будут задаваться при учете их степени влияния [2].

Осуществлено уточнение оценок по таким критериям. Это позволяет задавать не ограниченное число критериев, а такое, которое требуется для данных условий производства.

Была разработана математическая модель на основе предлагаемого подхода. Она была проверена в ходе проведения соответствующих экспериментальных исследований на реальном оборудовании.

В качестве входных параметров рассматривались следующие: температура начального слоя, температура экструдера, скорость проведения печати, коэффициент подачи материала, диаметр сопла для экструдера, ширина формируемой нити материала.



Рис. 1. Основные шаги мониторинга ТП

Решалась задача, в которой требовалось обеспечить управление ТП для создания объекта с заданными характеристиками, например имеющего минимальную массу при требуемых параметрах прочности. Математическая модель корректировалась по мере того, как в испытаниях создавались новые партии объектов.

Достоинством предлагаемого подхода является то, что даже если в ТП были неконтролируемые параметры, которые оказывали влияние на значения получаемых экспериментальных данных, это можно было компенсировать. С учетом адаптивного управления были получены соответствующие результаты моделирования. Они демонстрируют, что будет улучшение параметров от одной партии создаваемых аддитивных объектов к другой. Показаны возможности повышения прочности создаваемых объектов за счет того, что происходила подстройка модели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Филиппенко, Н. Г.** Управление технологическим процессом послойного отверждения фотополимеров при аддитивном производстве / Н. Г. Филиппенко, Т. Т. Чумбадзе, С. К. Каргапольцев // Системы. Методы. Технологии. – 2025. – № 4 (68). – С. 7–13.

2. **Загидуллин, Р. С.** Функциональная модель управления качеством изделий авиационно-космической техники в условиях аддитивного ПРОИЗВОДСТВА / Р. С. Загидуллин, Н. В. Родионов // Авиация и космонавтика : сб. тез. 21 Междунар. конф. – М. : Моск. авиац. ин-т (нац. исслед. ун-т), 2022. – С. 329–331.

УДК 658.562:621.002

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОСНАЩЕНИЯ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ

А. П. ПРУДНИКОВ, И. А. РЕКИШ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Ремонтное производство является важнейшим элементом промышленной инфраструктуры современного предприятия, обеспечивающим работоспособность технологического оборудования и качество конечной продукции. Согласно отраслевым исследованиям, от 20 % до 35 % отказов производственного оборудования обусловлены низким качеством ремонтных работ [1], что непосредственно транслируется в брак готовой продукции. Цель данной работы – установить характер и степень влияния технического уровня оснащённости ремонтного производства на ключевые показатели качества продукции.

Понятие «технический уровень ремонтного производства» включает степень механизации и автоматизации ремонтных процессов, уровень оснащённости измерительной и диагностической техникой, а также возраст и степень обновления станочного парка [2]. Переход ремонтных предприятий на прецизионное оборудование с ЧПУ снижает рассеивание размеров восстанавливаемых деталей в 2–3 раза, что непосредственно повышает ресурс отремонтированного агрегата [3].

Для оценки технического уровня ремонтного производства использованы четыре показателя: коэффициент механизации ремонтных работ $K_м$, уровень автоматизации контрольно-измерительных операций $K_а$, средний возраст технологического оборудования $T_{об}$ и индекс обновления парка оборудования $I_{обн}$. Качество продукции оценивалось по уровню дефектности (доля бракованных изделий), индексу воспроизводимости процесса C_{pk} и среднему межремонтному ресурсу агрегатов. Статистическая обработка выполнена методом корреляционно-регрессионного анализа и методом главных компонент (PCA).

Корреляционный анализ выявил сильную отрицательную связь между средним возрастом оборудования и индексом воспроизводимости процесса ($r = –0{,}78$, $p < 0{,}01$). Коэффициент механизации ремонтных работ оказал наиболее выраженное влияние на уровень дефектности: при росте $K_м$ с 0,40 до 0,75 доля бракованных изделий снижалась с 4,2 % до 1,6 % (в 2,6 раза). Уровень автоматизации контрольно-измерительных операций положительно коррелировал со средним межремонтным ресурсом агрегатов ($r = 0{,}71$).

Методом главных компонент выделены два латентных фактора, объясняющие 81 % дисперсии: «техническая современность» производства ($T_{об}$, $I_{обн}$) и «операционная автоматизация» ($K_м$, $K_а$). Это показывает, что обновление парка оборудования и автоматизация контроля – взаимодополняющие, а не тождественные направления повышения качества.

$$D = 8{,}3 - 4{,}1 \cdot K_м - 2{,}8 \cdot K_а + 0{,}21 \cdot T_{об} \quad (R^2 = 0{,}74).$$

Регрессионная модель уровня дефектности статистически значима ($F = 18{,}6$, $p < 0{,}001$) и объясняет 74 % вариации уровня дефектности в выборке.

Проведённое исследование подтвердило существенную зависимость показателей качества продукции от технического уровня оснащения ремонтного производства. Наибольшее влияние оказывают степень механизации ремонтных работ и уровень автоматизации контрольно-измерительных операций. На основании полученных результатов рекомендуется: приоритезировать внедрение автоматизированных систем измерения и контроля; при планировании технического перевооружения в первую очередь заменять оборудование возрастом свыше 15 лет; оценивать технический уровень комплексно, не ограничиваясь возрастом станочного парка. Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение влияния цифровизации ремонтных процессов на основе технологий промышленного интернета вещей (IIoT).

Текущее техническое состояние ремонтного производства характеризуется переходом от простой механизации к цифровизации, но с существенным разрывом между стратегическими целями и базовой готовностью предприятий. Ключевой парадокс 2026 г.: прежде чем внедрять ИИ и предиктивную аналитику, компаниям приходится возвращаться к фундаментальным основам планирования ремонтов. Проблематика технического состояния и развития ремонтного производства в Беларуси и России находится в фокусе нескольких типов организаций: академических институтов, отраслевых НИИ и университетских кафедр. Среди белорусских научных центров ведущее место занимают Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси и Белорусский национальный технический университет. Сфера научных интересов Белорусско-Российского университета также тесно связана с проблемами модернизации технического оснащения ремонтных производств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Герасимов, Г. Е.** Техническое оснащение ремонтных производств как фактор качества / Г. Е. Герасимов, С. А. Думенко // Вестник машиностроения. – 2021. – № 4. – С. 45–51.

2. **Суслов, А. Г.** Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 2018. – 320 с.

3. **Новиков, В. Ю.** Технология машиностроения / В. Ю. Новиков. – М. : Академия, 2019. – 528 с.

УДК 656.212.6:004.032.26

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

А. В. ПУЛЬТЯКОВ, И. В. СУДАРЕВ
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутск, Россия

Стратегия «Цифровой железной дороги» предполагает дальнейшую автоматизацию процессов на сортировочных станциях, где для корректного управления вагонными замедлителями требуется быстро определять характеристики подвижного состава и контролировать состояние объектов инфраструктуры в зоне роспуска [1]. Методы, зависящие от квалификации дежурного по горке, не обеспечивают требуемой скорости и точности при высокой интенсивности роспуска, сложных погодных условиях и переменном освещении [1]. Решение подобных задач все чаще связывают с методами машинного обучения – нейросетевыми моделями компьютерного зрения, способными в реальном времени анализировать видеопоток и извлекать из него информацию.

В основе рассматриваемых решений лежат сверточные нейронные сети, обучаемые на специально сформированных и размеченных наборах данных. Для распознавания типа подвижного состава может применяться технология обнаружения объектов на изображении, где выделяется ограничивающая область, которой присваивается тип вагона. Такой подход позволяет быстро находить объекты на видеопотоке, однако не дает представления о точной форме объекта и хуже справляется с ситуациями, когда в кадре одновременно присутствуют вагоны и посторонние элементы инфраструктуры [1]. Более полный анализ сцены обеспечивает сегментация по классам, при которой каждый объект выделяется не рамкой, а выделяется его точный контур. Это позволяет раздельно распознавать не только различные виды подвижного состава, но и разные напольные устройства: датчики, опоры контактной сети, вагонные замедлители, элементы пути, тем самым снижая вероятность ложного срабатывания при наличии посторонних объектов в кадре [2, 3].

Независимо от конкретной архитектуры процесс обучения строится по общей схеме: модель многократно обрабатывает размеченный набор изображений, постепенно уменьшая расхождение между предсказанием и эталонной разметкой, а качество итогового решения проверяется на отдельной, не участвовавшей в обучении выборке. Для оценки применяются такие показатели, как точность (доля верных предсказаний среди отнесенных к классу) и полнота (доля найденных объектов среди всех присутствующих), а также обобщающие метрики на их основе. Кроме того, анализируются характерные ошибки модели по типам объектов [4]. Применение нейросетевых моделей компьютерного

зрения позволяет получить ряд принципиальных преимуществ. Обработка видеопотока происходит в темпе, достаточном для оперативного управления вагонными замедлителями, а качество распознавания не зависит от усталости или квалификации дежурного. Современные архитектуры детектирования и сегментации демонстрируют устойчивость к типичным для железнодорожной среды помехам – переменному освещению, атмосферным осадкам, что подтверждается испытаниями на реальных горочных полигонах в разное время года [2–4]. Применение таких систем сталкивается с рядом ограничений. Итоговое качество модели напрямую зависит от полноты и сбалансированности обучающей выборки: редко встречающиеся типы объектов распознаются менее уверенно, чем те, которых больше. Скопление большого числа разных объектов инфраструктуры в поле зрения камеры повышает риск путаницы между близкими по внешнему виду классами. Любые изменения условий эксплуатации, например новые типы вагонов, перенос камер, требуют пополнения и переразметки данных, т. е. периодического дообучения модели [2, 4].

Рассмотренные задачи распознавания подвижного состава и объектов инфраструктуры – лишь малая часть всех возможностей применения машинного обучения на железной дороге. Схожие подходы применимы для оценки скорости и параметров движения отцепов, автоматического выявления дефектов пути и подвижного состава, распознавания номеров вагонов, прогнозирования технического состояния оборудования по накопленным данным. В совокупности эти направления формируют технологическую основу концепции «Цифровой железной дороги», обеспечивая переход от автоматизации отдельных операций к комплексным интеллектуальным системам управления перевозочным процессом [1–4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Долгий, А. И.** Цифровая железнодорожная станция как ключевой элемент повышения эффективности перевозочного процесса / А. И. Долгий // Железнодорожный транспорт. – 2025. – № 9. – С. 7–11.

2. **Сударев, И. В.** Интеллектуальные системы автоматизации сортировочных процессов и их внедрение в образовательную деятельность / И. В. Сударев // Наука и образование: актуальные вопросы теории и практики : материалы VI Междунар. науч.-метод. конф., Оренбург, 26–27 марта 2026 г. – Оренбург, 2026. – С. 358–360.

3. **Левин, Д. Ю.** Цифровая железнодорожная станция / Д. Ю. Левин // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : Бел. гос. ун-т транспорта, 2023. – С. 151–153.

4. **Пультяков, А. В.** Цифровые технологии в работе сортировочной горки / А. В. Пультяков, И. В. Сударев // Железнодорожный транспорт. – 2026. – № 5. – С. 14–17.

УДК 004.896

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

С. А. ПЯТКОВСКИЙ, Е. Е. ИСТРАТОВА
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, Россия

Интернет вещей (IoT) представляет собой инфраструктуру взаимодействия физических и виртуальных объектов с использованием информационно-коммуникационных технологий. В последнее время активное развитие сферы телекоммуникаций, в которых ключевую роль играет вопрос улучшения инфраструктуры интернета вещей, стимулирует появление сетей с экстремально высокой плотностью подключенных узлов. Причем для обеспечения их работоспособности применяется широкий спектр коммуникационных решений, что формирует гетерогенную среду IoT, включающую системы сбора информации, машинные взаимодействия (M2M), дистанционное управление и другие элементы. Однако многообразие используемых технологий диктует необходимость классификации направлений и тенденций развития сетей интернета вещей, гарантирующих высокую эффективность и надежность передачи данных в меняющихся условиях.

Цель работы заключалась в изучении современных направлений в развитии сетей интернета вещей. Актуальность этой темы обусловлена как оперативным развитием данной сферы, так и повышением уровня требований, предъявляемых к технической реализации и информационной безопасности передаваемых данных.

Современное развитие сетей IoT связано с увеличением количества подключаемых устройств и ростом требований к сетевой инфраструктуре. При этом ключевыми требованиями являются следующие: масштабируемость; широкая зона покрытия; низкое энергопотребление; минимальные задержки при передаче данных; обеспечение высокого уровня информационной безопасности. Одной из основных тенденций остается распространение энергоэффективных технологий передачи данных. К ним относятся NB-IoT и LTE-M, ориентированные на датчики, счетчики, системы мониторинга и другие устройства, передающие небольшие объемы информации. Данные технологии обеспечивают широкое покрытие и длительное время автономной работы устройств [1].

Значительное влияние на развитие IoT оказывает интеграция с мобильными сетями пятого поколения. Для устройств, которым не требуется полный набор возможностей 5G, развивается технология Reduced Capability (RedCap), а также ее новейшая интерпретация – технология eRedCap, ориентированная на снижение сложности оборудования и энергопотребления [2]. Такие решения занимают промежуточное положение между NB-IoT, LTE-M и высокопроизводительными устройствами 5G.

Еще одним направлением является применение сетей Non-Terrestrial Networks (NTN), позволяющих организовывать подключение устройств в районах, где создание наземной инфраструктуры затруднено или экономически нецелесообразно. Решения на основе данной технологии нашли применение в сельском хозяйстве, транспортных системах, энергетике и экологическом мониторинге [3].

Одновременно развивается концепция граничных вычислений Edge Computing. При традиционной архитектуре данные от множества устройств передаются в удаленные центры обработки, что увеличивает нагрузку на сети и задержки при передаче данных. Multi-access Edge Computing предусматривает размещение вычислительных ресурсов ближе к конечным устройствам, что позволяет выполнять предварительную обработку данных непосредственно на границе сети и уменьшать объем передаваемой информации.

Важной тенденцией становится объединение IoT с технологиями искусственного интеллекта и облачными вычислениями. Такие системы способны не только передавать данные, но и выполнять их анализ, обнаруживать изменения и автоматически формировать управляющие воздействия. Однако в данном случае повышаются риски несовместимости устройств различных производителей и используемых протоколов.

Рост количества подключаемых устройств также повышает требования к информационной безопасности. Уязвимость отдельного элемента IoT может создавать угрозу для всей связанной инфраструктуры.

Таким образом, развитие сетей интернета вещей происходит в направлении повышения масштабируемости, энергоэффективности и доступности связи. Основными тенденциями при этом являются следующие: распространение NB-IoT и LTE-M; интеграция с 5G; развитие RedCap и eRedCap; использование спутниковых сетей; применение граничных вычислений; усиление требований к безопасности. Причем различные технологии используются совместно и выбираются в зависимости от требований конкретной IoT-системы к дальности связи, скорости передачи данных, задержке и энергопотреблению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Игошева, А. М.** Тенденции развития промышленных сетей и устройств промышленной автоматизации / А. М. Игошева // Перспективы развития информационных технологий. – 2015. – № 26. – С. 16–19.

2. **Касатиков, Н. Н.** Тенденции развития программных систем для обработки и анализа больших данных устройств интернета вещей (IoT) / Н. Н. Касатиков, А. Д. Фадеева, Ш. М. Умаров // Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. – 2022. – № 2. – С. 41–49.

3. **Маншуров, Ш. Т.** Новейшие технологии интернета связи: от 5G к будущим стандартам передачи данных / Ш. Т. Маншуров, Ю. Ш. Шахабидинова // Oriental Renaissance: Innovative, Educational, Natural and Social sciences. – 2024. – № 3. – С. 315–327.

УДК 658.7

УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЦЕПИ ПОСТАВОК

Т. В. РОМАНЬКОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Цепь поставок представляет собой совокупность последовательно выполняемых процессов, направленных на создание и доставку товара от первоначального поставщика до конечного потребителя. В цепи поставок перемещаются три потока:

1) материальный;
2) информационный;
3) финансовый.

Для бесперебойной работы цепи поставок и ее защиты необходимо анализировать и мониторить уровень ее безопасности, который определяется:

1) надежностью поставщиков (начального и поставщиков различных уровней), которая зависит от их финансовой устойчивости и выполнения обязательств;

2) финансовой стабильностью всех участников цепи поставок (начального поставщика, фокусной компании и конечного потребителя), т. е. сохранением их платежеспособности и контролем за денежными потоками между звеньями логистической цепи;

3) защитой активов, которая достигается минимизацией рисков задержки грузов, повреждения товаров, таможенных или санкционных угроз;

4) правовыми аспектами, т. е. соблюдением законов и международных стандартов.

Безопасность цепи поставок при перемещении материального и сопутствующих потоков между ее участниками формируется на этапах максимального контроля в зонах:

1) автоматизации ключевых или вспомогательных бизнес-процессов (системы класса ERP (планирование ресурсов предприятия), TMS (управление транспортом) и WMS (управление складом));

2) юридической и финансовой ответственности (подписания договоров, соглашений);

3) инфраструктурных объектов (распределительные центры (А-класса), таможенные терминалы, морские порты и грузовые склады аэропортов);

4) проведения аудита, т. е. проверки всех звеньев (поставщиков, складов и перевозчиков) для выявления скрытых уязвимостей и минимизации рисков потерь;

5) выбора партнеров.

Таким образом, для повышения безопасности цепи поставок и бизнес-процессов необходимо сквозное управление риском (страхование, контроль, планирование и др.) на каждом уровне и у каждого участника.

УДК 633.85:631.3

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ АГРОТЕХНОЛОГИИ ПОДСОЛНЕЧНИКА

Н. А. РЯБЦЕВА
Донской государственный аграрный университет
Персиановский, Россия

В 2025 г. подсолнечник как ведущая высокорентабельная масличная культура выращивался в России на 11,4 млн га. Общеизвестно, что ресурсосбережение и рентабельность производства – это основные задачи устойчивости АПК РФ. Новые вызовы агроэкологических и экономических рисков в виде усиления аридности Ростовской области и санкционного давления заставляют аграриев искать пути ресурсосбережения в наиболее затратных приемах агротехнологии, в том числе в способах обработки почвы и семенном потенциале высокоурожайных гибридов подсолнечника факторам.

Цель исследований – изучить влияние способа обработки (отвальный (Gaspardo Mikro 8+1-30 см), безотвальный (Artiglio Gaspardo-30 см), без обработки (прямой посев John Deere DB 80)) черноземных почв на рентабельность агротехнологии (с учетом рекомендаций Аграрного научного центра «Донской») подсолнечника двух гибридов среднеранней группы спелости «Сапсан» и «Фогор» по предшественнику (озимая пшеница) в х. Калиновка Родионово-Несветайского района Ростовской области в Российской Федерации. Считаем данное исследование актуальным для аграриев в связи с экономическими и агроэкологическими вызовами.

В период трехлетнего эксперимента (2022–2025 гг.) наблюдалась тенденция к аридизации условий, что повлияло на рентабельность производства. Максимальная рентабельность 71 % получена при использовании отвального способа обработки почвы и гибрида «Фогор». Уровень рентабельности 60 %, что является минимумом в эксперименте, обеспечивает использование гибрида «Сапсан» при отсутствии обработки почвы (прямой посев).

Трехлетний двухфакторный эксперимент выявил влияние способа обработки почвы и гибрида на урожайность и рентабельность агротехнологии подсолнечника. Усиление аридности климата привело к формированию невысокой урожайности – 3,05…3,48 т/га. Наибольшая полевая всхожесть (85 %) и сохранность растений к уборке (94 %) зафиксированы при отвальной вспашке. Максимальная урожайность обоих гибридов получена на фоне отвальной обработки, а минимальная – при отказе от обработки почвы. Гибрид подсолнечника «Фогор» превосходил «Сапсан» по урожайности на 0,13...0,18 т/га независимо от способа обработки почвы.

Для рентабельного производства в Ростовской области рекомендуем использовать гибрид подсолнечника «Фогор» и отвальную обработку почвы (Gaspardo Mikro 8+1-30 см).

УДК 621.926

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ И МАТЕРИАЛОВ

Л. А. СИВАЧЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Огромное количество используемых в мире сырьевых и техногенных материалов, расширение их ассортимента, увеличение степени переработки, ужесточение экологических требований при одновременной необходимости управляемого изменения их свойств вызывают острую потребность в совершенствовании применяемого для этих целей технологического оборудования. Эволюционный парадокс при этом заключается в том, что указанные процессы являются не только наиболее древними из используемых человеком и самыми массовыми и затратными в современной экономике, но, к сожалению, энергетически и технологически самыми неэффективными.

Констатируя исторический прогресс в области переработки сырья и материалов, можно выделить следующий фундаментальный вектор их развития: дробление, помол, классификация, смешивание, диспергирование, механоактивация, механосинтез [1].

Это обусловлено необходимостью рационального использования как непосредственно природных ресурсов, так и неуклонно возрастающих требований практической реализации потенциальных возможностей обработанных исходных материалов в составе готовых изделий или продуктов.

Одной из главных задач современного материаловедения является придание перерабатываемой среде требуемых свойств, в частности, крупности частиц, их формы, дефектности структуры, состояния поверхности, насыщения внешней энергией для повышения реакционной способности для химических превращений и т. д., а также получение ультрадисперсных порошков, суспензий, эмульсий, паст и различных композиций требуемых реологических характеристик [1, 2].

Развитие технологических процессов, особенно основанных на механохимических способах переработки, в первую очередь сдерживается низким уровнем оборудования, которое в подавляющем большинстве базируется на технических идеях и научных знаниях второй половины XIX – первой половины XX в. Сложившейся ситуация требует разработки и создания технологических аппаратов принципиально новых способов воздействия на обрабатываемую среду.

Дальнейшая интенсификация целого ряда технологических процессов может быть реализована на основе использования аппаратов адаптивного действия. Суть этого научно-технического направления заключается в осуществлении таких механизмов воздействия на обрабатываемую среду, которые бы позволили

с максимальной эффективностью и минимальными издержками производить требуемый вид переработки [3, 4].

В основу концепции адаптивных подходов и методов положены следующие принципы:

– изменение линейных размеров элементов рабочего оборудования в соответствии с внешними воздействиями;

– изменение формы рабочей поверхности, придание ей определённых технологических или защитных свойств;

– кинематическое управление процессом движения рабочих органов;

– обеспечение максимальной энергонапряженности в рабочих зонах;

– резонансная подстройка под оптимальные условия проведения процесса;

– совмещение различных видов силового воздействия в одной рабочей камере и, таким образом, расширение возможностей оборудования.

На кафедре «Транспортные и технологические машины» Белорусско-Российского университета в течение более 40 лет ведутся работы по созданию различных конструкций технологических аппаратов адаптивного действия. Научным коллективом авторов и разработчиков за этот период создано семейство новых видов такого оборудования. В частности, можно выделить следующие виды оборудования, которые характеризуются мировой технической новизной:

– пружинные технологические аппараты многоцелевого назначения (смесители, мельницы, грохоты, питатели, диспергаторы, механоактиваторы);

– волновые аппараты для комплексной переработки сырья и материалов (грохоты, смесители, питатели, измельчители);

– иглощеточные аппараты многоцелевого назначения (смесители, диспергаторы, коллоидные мельницы, механоактиваторы, механореакторы).

На основании выполненных работ по данному научному направлению защищены 2 докторские и 7 кандидатских диссертаций, издано 9 монографий, получено около 350 патентов на изобретение, опубликовано около 600 научных статей. Более 1000 различных единиц оборудования адаптивного действия используются в промышленных условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сиваченко, Л. А.** Технологические аппараты адаптивного действия / Л. А. Сиваченко. – Мн. : БГУ, 2008. – 375 с.

2. **Сиваченко, Л. А.** Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия : монография / Л. А. Сиваченко. – Барановичи : БарГУ, 2020. – 359 с.

3. Машины и агрегаты адаптивного действия для селективной переработки природных и техногенных материалов : монография / В. С. Севостьянов, В. И. Уральский, Л. А. Сиваченко, А. М. Проценко. – Белгород : БГТУ, 2024. – 351 с.

4. **Сиваченко, Л. А.** Цепные технологические агрегаты многоцелевого назначения и их развитие / Л. А. Сиваченко, А. М. Ровский, И. А. Реутский // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2016. – № 1 (50).

УДК 658.7:004.9

ПРОЦЕССНАЯ ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КИТАЯ

СУНЬ КЭ
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Промышленные цепи поставок все чаще управляются данными, а не жесткой последовательностью закупки, производства, запасов и доставки. Бодендорф, Дентлер и Франке считают, что интеграция цепи поставок зависит от организационной совместимости, планирования и обмена информацией, а процессная аналитика снижает координационные разрывы [1]. Поэтому цифровое производство нельзя отделять от качества планирования, закупок и логистики.

Цель работы состоит в том, чтобы определить, как цифровые технологии закрепляются в процессах цепи поставок китайских промышленных предприятий, и выделить процессы, требующие первоочередного улучшения. Цифровая цепь поставок рассматривается как система управления из пяти связанных процессов: планирование и прогнозирование; координация закупок; производство; продажи и сервис; складирование и логистика.

Эмпирическую базу составили годовые отчеты промышленных предприятий Китая на рынке A-share. Для пяти процессных направлений был составлен словарь ключевых слов, а интенсивность раскрытия рассчитывалась как число цифровых терминов на 10 000 слов раздела Management Discussion and Analysis. Тянь, Чэнь, Тянь, Хуан и Ху показывают, что показатели на основе годовых отчетов применимы для анализа цифровой трансформации и операционных улучшений в китайской промышленности [2]. Обновленная выборка включает 40 250 наблюдений типа «компания – год» по 4 405 предприятиям за 2010–2025 гг.

Данные подтверждают устойчивый рост раскрытия о цифровизации цепей поставок. Совокупная интенсивность увеличилась с 1,4358 упоминания на 10 000 слов MDA в 2010 г. до 12,3993 в 2025 г. Структура остается несбалансированной: производство формирует 59,10 % терминов, продажи и сервис – 33,21 %, планирование – 0,41 %, закупки – 1,84 %, складирование и логистика – 5,44 %.

Хуэй и Фань считают, что интеграция цепи поставок частично передает влияние цифровой трансформации на результативность цепи поставок у листинговых производственных компаний Китая [3]. Полученные расчеты указывают на сходную проблему: предприятия чаще описывают системы, оборудование и онлайн-каналы, чем сквозную связь планирования, закупок и логистики. Проверка пилотной политики инноваций и применения цепей поставок также

не выявила статистически значимого эффекта после учета фирменных и годовых фиксированных эффектов.

В объединенной выборке 2010–2025 гг. предприятия с более высоким раскрытием цифровизации цепей поставок меньше зависят от узкой группы контрагентов. Их медианная концентрация клиентов составляет 26,86 % против 33,16 %, а медианная концентрация поставщиков – 26,98 % против 34,12 %. В 2025 г. соответствующие значения равны 32,00 % и 26,93 % для группы с более высоким раскрытием и 39,87 % и 34,99 % для группы с более низким раскрытием. Чжан и Гу считают, что цифровизация цепи поставок может повышать устойчивость, хотя такой эффект способен сопровождаться потерями эффективности управления [4].

Сетевые данные уточняют управленческий вывод. В сети цепей поставок VI за 2025 г. было 1 341 узел и 1 960 связей, средняя суммарная степень составила 2,9232, медианная – 2. Предприятия с высокой центральностью и низким цифровым раскрытием должны в первую очередь исправлять связи данных в планировании, закупках и логистике. Практическое улучшение следует начинать с единой нормативно-справочной базы по материалам, поставщикам, клиентам, заказам, партиям и складам, а ERP, MES, WMS, TMS, CRM и SCM нужно связывать вокруг исполнения заказов, контроля запасов, производственного расписания и видимости логистики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Bodendorf, F.** Digitally enabled supply chain integration through business and process analytics / F. Bodendorf, S. Dentler, J. Franke // Industrial Marketing Management. – 2023. – Vol. 114. – P. 14–31.

2. The role of digital transformation practices in the operations improvement in manufacturing firms: a practice-based view / M. Tian, Y. Chen, G. Tian [et al.] // International Journal of Production Economics. – 2023. – Vol. 262. – Art. 108929.

3. **Hui, J.** Digital Transformation, Supply Chain Integration and Supply Chain Performance: Evidence From Chinese Manufacturing Listed Firms / J. Hui, Y. Fan // SAGE Open. – 2024. – Vol. 14, № 3.

4. **Zhang, S.** Supply Chain Digitization and Supply Chain Resilience / S. Zhang, C. Gu // Journal of Finance and Economics. – 2024. – Vol. 50, № 7. – P. 21–34.

УДК 694.1

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Е. С. ХМЕЛЬНИЦКИЙ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В мировой практике последних десятилетий наблюдается тенденция переселения людей в города. В результате большая часть городов расширяется, сталкиваясь при этом с нехваткой жилья. Это, в том числе и в нашем государстве, приводит к тому, что цены на квартиры становятся непомерно высокими по сравнению с доходами большинства граждан. Поэтому, особенно в сфере социального жилья, остро необходимы недорогие и эффективные решения для массового строительства, которые должны отвечать требованиям качественной и устойчивой архитектуры. Для реализации таких решений требуется актуальный промышленный стандарт, пригодный для использования архитекторами, инженерами, конструкторами и строителями. В том числе это требуется для уменьшения строительных расходов, приходящихся на избыточное и неоправданное проектирование. В связи с этим необходимо внедрение универсальной модели проектирования на базе BIM-технологий, использующих методы 3D-планирования и унифицированные строительные модули. В данном контексте древесина идеально подходит для заводского производства конструкций, а наличие хорошей возобновляемой экологичной сырьевой базы делает дальнейшее развитие в этом направлении весьма перспективным и открывает перед деревянным домостроением отличные шансы занять лидирующие позиции в процессе будущей индустриализации строительной отрасли.

Однако из-за норм пожарной безопасности, а также вследствие распространенных методов строительства (использование стальных и железобетонных конструкций) большинство жилых зданий не возводится из дерева или с применением гибридных деревянных конструкций. Тем не менее это могло бы стать шагом в сторону индустриального строительства, поскольку значительное количество зданий возводится на основе единого проектного решения. Еще одна проблема – низкий уровень заводской готовности конструкций и выполнение основной части строительных работ непосредственно на площадке. Кроме того, многократное повторение одного и того же типа зданий создает риск архитектурного однообразия городской среды.

На данный момент отрасль сборного домостроения в значительной степени утратила ключевой принцип индустриализации – массовое производство идентичных изделий на основе единого, полностью проработанного проекта. Производители, вынужденные реагировать на растущее стремление заказчиков частных домов к индивидуализации, сегодня сталкиваются с необходимостью выполнения значительного объема работ по адаптации проектов. Системы сборного железобетонного строительства уже достигали высокого уровня индустриализации, однако это сопровождается снижением архитектурного

качества, которое в современных условиях является неприемлемым. Здания должны гармонично вписываться в существующую городскую среду. Особенно в районах плотной городской застройки земельные участки имеют уникальные очертания. Их использование требует оптимального соотношения площади участка и жилой площади, в том числе по экономическим причинам.

Следующим логическим шагом к индустриализации строительного процесса является разработка системных строительных комплектов, ориентированных на конкретный тип конструкции, но не привязанных к конкретной компании-производителю. Они должны представлять собой системы закрытого типа с использованием предложенной методики сборки для конкретного типа конструкции. В идеальном случае – с задействованием уже имеющихся производственных мощностей, без привлечения дополнительных инвестиций или при незначительных вложениях. Базисом для такого развития могут быть существующие сырьевая и производственные отрасли в области деловой древесины с переориентацией их использования на внутренний рынок. К тому же существуют немалый накопленный опыт в области деревянного зодчества и хорошие примеры по реализации различных техносферных объектов с деревянными несущими конструкциями на территории страны. Так, отдельные элементы, такие как перекрытия, кровля, внутренние и наружные стены, может изготовить любая хорошо оснащенная плотницкая мастерская или предприятие по производству сборных домов мелкоразмерных сооружений. При этом их использование будет осуществляться в соответствии с действующими строительными нормами. Данная концепция справедлива и для гибридных конструкций, сочетающих элементы деревянного каркаса и сборные бетонные перекрытия, а также для систем на основе CLT-панелей и каркаса из клееного бруса с высокоэффективной теплоизоляцией наружных стен и кровли (такие решения могут применяться и для зданий высотой до восьми этажей).

Таким образом, для перехода к индустриализации строительных процессов в области использования деревянных несущих конструкций необходим пересмотр подходов во всех секторах отрасли:

– проектировщикам требуется работать с четко определенными элементами и узлами, а также взять на себя роль координаторов всего процесса;

– производителям строительных конструкций необходимо укреплять свои позиции на рынке не только за счет модификации продукции, но и путем оптимизации производства и организации работ, что обеспечит привлекательные цены, высокое качество и надежность поставок;

– заказчикам требуется осваивать иные стратегии оптимизации. Максимизация полезной площади больше не должна быть единственным критерием принятия решений. Необходимо учитывать качество конечного продукта, скорость реализации проекта, а также применять стандартизированные методы оценки жизненного цикла;

– необходимо обновление нормативно-правовой базы для индустриального развития в области строительства.

УДК 54-481

ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЕ ПРОИЗВОДСТВО ВЫСОКОЧИСТЫХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТИВОВ

Н. А. ЦУРКОВ, Н. О. СТЕПАНОВ, О. В. ФЕДОТОВА, Р. Р. САФАРОВ
ООО «Торговый дом ХимМед»
Москва, Россия

Современное промышленное производство высокочистых химических компонентов переживает трансформацию, обусловленную геополитическими и экономическими изменениями последних лет. Такие отрасли производства, как микроэлектроника, фармацевтика, аналитическая химия, находятся в критической зависимости от импортных поставок высокочистых реактивов. Это, в свою очередь, стало не просто логистическим неудобством, а стратегическим риском. В данном контексте импортозамещение становится конкретной производственной задачей отечественных предприятий.

К примеру, глобальный рынок ацетонитрила – одного из ключевых растворителей для высокоэффективной жидкостной хромотографии – демонстрирует устойчивый рост: по оценке [1], к 2035 г. его объём составит 325,2 млн долл. США при среднегодовом темпе роста 5,5 %. Этот рост обусловлен высокими требованиями к чистоте растворителей в аналитических лабораториях. Кроме того, растет спрос со стороны фармацевтической промышленности и производства литий-ионных батарей.

До недавнего времени российский рынок высокочистых химических компонентов был практически полностью ориентирован на зарубежные поставки. Растворители для высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), включая ацетонитрил, метанол, изопропанол и гексан, поступали из Китая, США и Израиля. Высокочистые минеральные кислоты закупались у ведущих мировых производителей, таких как BASF и Honeywell. Особо чистая ртуть, необходимая для микроэлектроники и полупроводниковой промышленности, монопольно поставлялась компаниями Merck и Johnson Matthey.

С 2020 г. компания «ХимМед» участвует в программе ипортозамещения, в рамках которой запущено собственное производство растворителей высокой степени чистоты [2]. На текущий момент создано первое и единственное производство ацетонитрила высокой степени чистоты для ВЭЖХ и УФ-спектроскопии. Выпускаемая продукция соответствует стандартам Государственной фармакопеи РФ и международным стандартам Ph.Eur (Pharmacopoeia Europaea), не уступая по характеристикам зарубежным аналогам ведущих брендов. Чистота партий ацетонитрила достигает 99,9999 %. Важной особенностью стоит отметить то, что разлив растворителей осуществляется в инертной атмосфере в специализированной зоне, что позволяет сохранить заявленный уровень чистоты и минимизировать контакт с влагой и кислородом. Таким образом, оте-

чественный продукт более привлекателен по цене, качеству и доступности с точки зрения логистики.

Параллельно ведется разработка технологий производства высокочистых кислот (серной, азотной, соляной и плавиковой), крайне необходимых в таких отраслях, как микроэлектроника и фотоника. В данном случае критическим фактором становится не только контроль элементного химического состава, но и содержание нерастворимых взвешенных частиц, размеры которых сопоставимы с топологическими нормами (минимально допустимыми размерами элементов интегральных микросхем).

Стоит отметить ряд проблем, возникающих в процессе импортозамещения производства высокочистых химических реактивов. Во-первых – необходимость воссоздания технологии с нуля в условиях ограниченного доступа к зарубежному оборудованию и научно-технической информации. Разработка собственных технологий требует значительных временных и финансовых затрат, а также привлечения высококвалифицированных специалистов.

Во-вторых – обеспечение стабильности качества от партии к партии. В аналитической химии и фармацевтике воспроизводимость результатов критически важна. Это вынуждает выстраивать многоступенчатые системы контроля качества продукции.

В-третьих – конкуренция с устоявшимися зарубежными брендами. Для потребителя, привыкшего к определенным маркам, важно не только ценовое преимущество, но и доказательная работа – предоставление паспортов качества и демонстрация воспроизводимости.

Важно ещё и отметить контроль со стороны регулирующих органов – производство должно быть экологичным. Ацетонитрил, как летучее органическое соединение, требует специальной обработки и соблюдения нормативных требований.

Таким образом, опыт компании «ХимМед» показывает, что путь от импортозависимости до технологического суверенитета реализуем. Создание первого отечественного производства ацетонитрила, разработка технологий высокочистых минеральных кислот – конкретные шаги, превращающие научные разработки в серийную продукцию, удовлетворяющую потребности внутреннего рынка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Размер, спрос и перспективы рынка ацетонитрила с 2025 по 2035 год. – URL: https://www.futuremarketinsights.com/ru/reports/acetonitrile-market (дата обращения: 14.09.2026).

2. Курс на импортозамещение | Новости «ХИММЕД». – URL: https://chimmed-new.ru/news/kurs-na-importozameshchenie-id=86 (дата обращения: 14.09.2026).

УДК 621.3:658.34

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ СРЕДАХ

Л. Г. ЧЕРНАЯ[1], А. Е. САЗОНКО[2], Е. М. КАЗАК[2]
[1]Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь
[2]Департамент по надзору за безопасным ведением работ в промышленности (ГОСПРОМНАДЗОР)
Минск, Беларусь

Белорусско-Российский университет как специализированная организация по взрывозащищенному электрооборудованию и электроустановкам во взрывоопасных зонах осуществляет свою деятельность по обеспечению промышленной безопасности производственных объектов, имеющих взрывоопасные среды и эксплуатирующих взрывозащищенное электрооборудование, в соответствии с действующим договором о сотрудничестве с Госпромнадзором от 8 мая 2003 г. № 03-1301.

Научно-исследовательская лаборатория «Взрывозащищенное электрооборудование» (НИЛ «ВЗЭО») Белорусско-Российского университета согласовывает основные направления научно-исследовательских разработок с Госпромнадзором и занимается следующими видами деятельности.

1. Разработка эксплуатационной и ремонтной документации на взрывозащищенное электрооборудование в соответствии с требованиями ТР ТС 012/2011 по результатам эскизирования и исследования технических параметров взрывозащищенного электрооборудования (рис. 1).



Рис. 1

2. Разработка методик по безопасной эксплуатации взрывозащищенного электрооборудования, энергосберегающих частотно-регулируемых электропри-

водов для взрывоопасных зон промышленных предприятий, шахт и рудников (рис. 2).

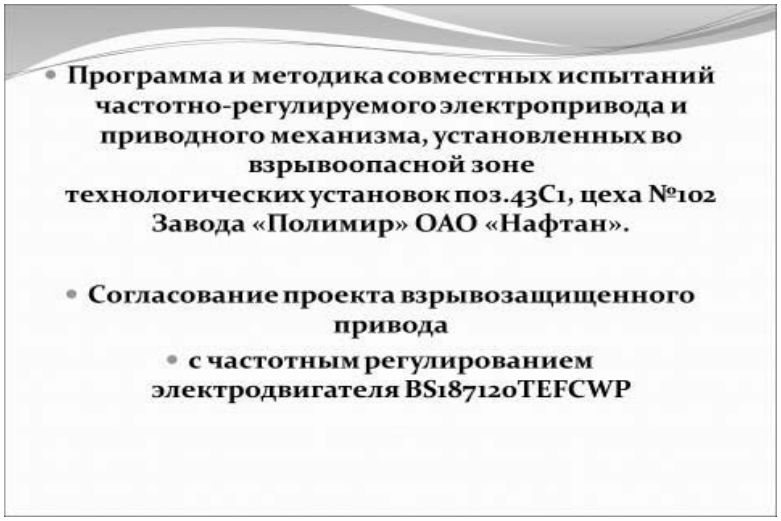


Рис. 2

3. Профессиональная подготовка, переподготовка, повышение квалификации специалистов, занятых техническим обслуживанием (эксплуатацией, ремонтом, монтажом, наладкой), конструированием взрывозащищенного электрооборудования, КИПиА, электроустановок во взрывоопасных зонах в автоматизированном производстве (рис. 3).



Рис. 3

Основными партнерами по внедрению разработок являются ведущие предприятия Республики Беларусь: ОАО «Мозырский НПЗ» (г. Мозырь), ОАО «Нафтан» (г. Новополоцк), Завод «Полимир» (г. Новополоцк), ОАО «Гродно Азот» (г. Гродно), ОАО «Беларуськалий» (г. Солигорск), ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» (г. Минск), а также предприятия Российской Федерации: ООО «Электротяжмаш-Привод» и ООО «Хоффманн Техникс Рус».

УДК 621.311.22:628.477

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРАТЕГИИ УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

М. Ф. ШАГЕЕВ, Э. Р. ЗВЕРЕВА, Р. И. ГИЛЬМУТДИНОВА
Казанский государственный энергетический университет
Казань, Россия

Актуальность проблемы утилизации золошлаковых отходов (ЗШО) тепловых электрических станций (ТЭС) в условиях Арктической зоны обусловлена высокими экологическими рисками и жесткими логистическими ограничениями. В России ежегодно образуется около 25 млн т ЗШО, при этом уровень утилизации составляет лишь 4 %, что значительно отстает от показателей европейских стран (90 %...100 %) [1]. Для арктических ТЭС проблема усугубляется экстремальными климатическими условиями (температуры – от –40 °С до +30 °С), ограниченной инфраструктурой и высокими транспортными расходами. Целью работы является сравнительная оценка двух путей вовлечения ЗШО в хозяйственный оборот: производство строительных материалов и извлечение редкоземельных металлов (РЗМ). Объектом исследования выбрана Апатитская ТЭЦ (филиал «Кольский» ПАО «ТГК-1», Мурманская область, РФ).

В ходе исследования выполнен теплотехнический расчет котлоагрегата ПК-10п-2 (Е-220-100), сжигающего каменный уголь марки Д (зольность – 15,9 %). Определены низшая теплота сгорания топлива (22 337,7 кДж/кг), КПД котла (82,35 %), расчетный расход топлива (5,8 кг/с). Годовой объем образования ЗШО составил 193 600 т. Рентгенофлуоресцентный анализ золы показал высокое содержание SiO_2 (51,28 %) и Al_2O_3 (23,05 %), что обеспечивает высокую пуццолановую активность для строительного применения. Также выявлено присутствие РЗМ (до 700 г/т), включая церий (191,6 г/т), рубидий (28,6 г/т), скандий (22,1 г/т), потенциальная стоимость которых превышает 80 000 р./т.

Экономическая оценка проводилась с расчетом чистого дисконтированного дохода (NPV), индекса доходности (PI) и срока окупаемости. Для строительного направления (замена 50 % песка в бетоне) при CAPEX 40 млн р. NPV составил 117,02 млн р. при PI = 2,93 и сроке окупаемости 1,24 года. Для извлечения металлов при CAPEX 200 млн р. NPV равен 124,15 млн р., PI = 0,62, срок окупаемости составил 3,01 года.

Для объективного выбора оптимального пути применен многокритериальный анализ методом TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) по семи критериям: чистый дисконтированный доход (NPV); срок окупаемости; капитальные затраты (CAPEX); индекс доходности (PI); годовой чистый денежный поток; экономия на экологических платежах; добавленная стоимость [2]. Веса критериев рассчитаны методом энтропии. Относительная близость альтернативы к идеальному решению определяется по формуле

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-},$$

где D_i^+, D_i^- – расстояния до идеального и анти-идеального решений соответственно.

Результаты показали, что метод энтропии присвоил максимальные веса критериям с наибольшей дисперсией между альтернативами: добавленная стоимость (w_7 = 0,329), CAPEX (w_3 = 0,263) и индекс доходности (w_4 = 0,250). Критерий NPV получил минимальный вес (w_1 = 0,001) из-за близких значений у обеих альтернатив. Строительное направление имеет наибольший коэффициент близости (C_i = 0,560 против 0,440 у извлечения металлов) за счет низких капитальных затрат, быстрой окупаемости и высокого индекса доходности, что минимизирует инвестиционные риски в условиях финансовой нестабильности предприятия.

Практические рекомендации для ПАО «ТГК-1» включают комбинированный подход: на первом этапе (1–2 года) – внедрение строительного направления для быстрого получения дохода и снижения экологической нагрузки; на втором этапе (3–5 лет) – пилотные испытания технологии извлечения РЗМ с постепенным масштабированием при улучшении финансового состояния компании [3, 4]. На региональном уровне реализация строительного направления позволит исключить захоронение 193 600 т ЗШО ежегодно, снизив экологическую нагрузку на хрупкую арктическую экосистему Мурманской области и создав локальный рынок вторичных строительных материалов.

Таким образом, для арктических ТЭС в качестве первоочередной стратегии рекомендуется внедрение строительного направления утилизации ЗШО, что обеспечит быструю окупаемость, снижение экологической нагрузки и соответствие целям Энергетической стратегии РФ до 2050 года (достижение 50 % утилизации к 2036 г.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексное использование золошлаковых отходов / О. В. Афанасьева, Г. Р. Мингалеева, А. Д. Добронравов, Э. В. Шамсутдинов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – № 7–8. – С. 26–36.

2. Processing of Ash and Slag Waste from Coal Fuel Combustion at CHPPs in the Arctic Zone of Russia with Obtaining Porous Geopolymer Materials / E. A. Yatsenko, B. M. Goltsman, S. V. Trofimov [et al.] // Therm. Eng. – 2022. – Vol. 69. – P. 615–623.

3. **Красавцева, Е. А.** Особенности состава и свойств золошлаковых отходов Апатитской ТЭЦ / Е. А. Красавцева, Л. А. Иванова // Арктика: экология и экономика. – 2025. – Т. 15, № 4. – С. 619–627.

4. Комплексный метод утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций / Э. Р. Зверева, В. П. Плотникова, Ф. И. Бурганова, Л. О. Зверев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 2 (42). – С. 15–26.

УДК 338.4:664

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОПЫТ РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А. А. ШОРНИКОВА, О. Н. КВАШИНА
Великолукская государственная сельскохозяйственная академия
Великие Луки, Россия

В современных экономических условиях, характеризующихся волатильностью цен, санкциями и необходимостью импортозамещения, пищевая промышленность России сталкивается с задачей повышения операционной эффективности. Одним из ключевых резервов является оптимизация управления запасами – как сырья, так и готовой продукции. Избыточные запасы «замораживают» оборотные средства, увеличивают затраты на хранение и снижают гибкость производства. В то же время дефицит запасов приводит к сбоям в поставках и потере клиентов.

Псковская область – один из ведущих регионов Северо-Запада по производству мяса. В 2024 г. в хозяйствах всех категорий произведено 453,7 тыс. т скота и птицы на убой (в живом весе), при этом три крупнейших мясоперерабатывающих предприятия (ОАО «Великолукский мясокомбинат», ООО «ПсковАгроИнвест», ООО «Псковмяспром») обеспечивают 85 %...90 % переработки. Высокий уровень концентрации переработки в регионе создаёт хорошие условия для внедрения современных систем управления цепочками поставок. Следует отметить, что большая часть потерь на производстве прямо или косвенно связана именно с запасами. Анализируя данные предприятия, мы выявили, что доля излишних запасов в структуре общих потерь (Muda) составила 17 % [1]. И здесь не только запасы сырья, находящиеся в морозильных камерах, но и упаковочные материалы, и выпускаемая продукция «про запас» без привязки к реальным заказам. Также была выявлена недостаточная оперативная связь между производством, складом и системой сбыта. Очевидно, что оборачиваемость запасов на данных предприятиях ниже на 5 %...10 %, чем в среднем по отрасли. Чтобы исправить ситуацию, необходимо применять следующие инструменты: ERP-систему для учёта движения сырья и полуфабрикатов, систему «Канбан» для автоматического отслеживания расходных материалов, WMS и прогнозные модели на основе машинного обучения для складской логистики.

Внедрение ERP-системы с модулем управления запасами и производственным планированием. Такая система позволяет в реальном времени отслеживать движение сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, формировать заявки на пополнение склада на основе прогнозов продаж и производственных графиков.

Применение системы «Канбан» в цифровом исполнении. Традиционная карточка «Канбан» заменяется электронными сигналами, генерируемыми при достижении минимального остатка на складе. Это позволило на упаковочном

участке снизить страховые запасы оболочки и специй на 40 % без риска остановки производства [1].

Использование WMS-системы для оптимизации складских операций. Внедрение WMS на складе готовой продукции ведет к сокращению трудозатрат на комплектацию заказов до 25 %. Положительный опыт зафиксирован в ГК «ЭкоНива», где отечественная WMS-система Consid.WMS на складе площадью 4 тыс. м^2 позволила автоматизировать контроль качества товарных запасов с учётом минимальных сроков годности [2]. В компании «Роял Кейк» применение автоматизации учёта снизило процент ошибки отгрузок с 18 % до 5 %. Аналогичное решение на рыбокомбинате «Батень» сократило складские запасы на 26 %, что повысило выполнение заказов до 96 % [3, 4].

Итак, прогнозные модели на основе машинного обучения достигают точности 85 %...90 %, что важно для скоропортящейся продукции. По проведенным нами расчетам, эффект от цифровизации запасов на ОАО «Великолукский мясокомбинат» составит 9 млн р. в год при затратах около 0,5 млн р. [1]. Однако проблемы в отрасли остаются: дефицит квалифицированных кадров, сложность интеграции с устаревшими системами. В 2026 г. найдено отраслевое решение «1С: УНФ. Управление пищевым производством 3», которое можно применить для малых и средних перерабатывающих предприятий [5].

Опыт мясоперерабатывающих предприятий Псковской области свидетельствует о том, что локальные решения (WMS, электронный «Канбан», прогнозная аналитика) обеспечивают быстрый экономический эффект и формируют базу для последующей цифровой трансформации АПК. Приоритетными направлениями дальнейшей работы являются интеграция с контрагентами в цепочках поставок, внедрение IoT-решений для контроля температурных режимов и создание региональных цифровых экосистем, способных объединить всех участников продовольственного рынка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Квашина, А. А.** Применение инструментов бережливого производства на мясоперерабатывающих предприятиях Псковской области / А. А. Квашина, О. Н. Квашина // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2026. – № 2 (55). – С. 59–67.

2. «ЭкоНива» автоматизировала производственный склад // Вестник цифровой трансформации. – 2025. – 17 нояб. – URL: https://cio.osp.ru/news/171125-EkoNiva-avtomatizirovala-proizvodstvennyy-sklad (дата обращения: 09.09.2026).

3. «Роял Кейк» автоматизировал складской учет // 1С:Консалтинг. – 2024. – URL: https://consulting.1c.ru/cases/print.php?id=387658 (дата обращения: 09.09.2026).

4. Рыбокомбинат «Батень» модернизировал информационную систему // 1С:Консалтинг. – URL: https://consulting.1c.ru/cases/56989.html (дата обращения: 09.09.2026).

5. «1С-Рарус» и «1С» выпустили «1С:УНФ. Управление пищевым производством 3» // Tadviser. – 2026. – 28 апр. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:1С:УНФ._Управление_пищевым_производством (дата обращения: 09.09.2026).

Научное издание

ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА И ПРОИЗВОДСТВО В XXI ВЕКЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Материалы юбилейной
Международной конференции
(Могилев, 19–20 ноября 2026 года)

**Авторы несут персональную ответственность
за содержание публикуемых материалов**

Корректоры *И. В. Голубцова*, *А. А. Подошевко*

Компьютерный дизайн *Н. П. Полевничая*

Подписано в печать 18.11.2026. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 22,55. Уч.-изд. л. 24,25. Тираж 30 экз. Заказ № 818.

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.