

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

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Материалы Международной
научно-технической конференции
молодых ученых
(Могилев, 24–25 октября 2024 года)

Могилев
«Белорусско-Российский университет»
2024

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

ББК 34.5:22.21:39.3:38:31.291

H72

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. *М. Е. Лустенков* (гл. редактор); д-р техн. наук, проф. *В. М. Пашкевич* (зам. гл. редактора); канд. техн. наук, доц. *С. В. Данилов*; канд. техн. наук, доц. *А. С. Коваль*; канд. техн. наук, доц. *А. О. Коротеев*; канд. техн. наук, доц. *И. В. Лесковец*; канд. физ.-мат. наук, доц. *И. И. Маковецкий*; канд. техн. наук, доц. *С. С. Сергеев*; канд. техн. наук, доц. *В. М. Шеманков*; д-р техн. наук, доц. *А. И. Якимов*; канд. техн. наук, доц. *Д. И. Якубович*; *И. В. Брискина* (отв. секретарь)

H72

Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2024. – 254 с.: ил.

ISBN 978-985-492-310-9.

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

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

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

ББК 34.5:22.21:39.3:38:31.291

ISBN 978-985-492-310-9

© Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарное заседание

ОРЛОВСКИЙ П. С. Определение значимости факторов, влияющих на вероятность аварии на АГЭС с подземной емкостью для СУГ.....	11
ФЕТИСОВА Е. А. Технологические характеристики дуговой сварки с модифицированной газовой средой.....	14
ХАРИТОНОВ Ю. М. Волновые аппараты для эффективной переработки сырьевых материалов.....	17

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

АЛЬХИМОВИЧ А. В. Постановка задачи анализа упругопластического деформирования шкива и полого вала при использовании горячей посадки.....	23
АНДРЕЕВ И. К., БУТЬКО В. Ю. Сравнение балок равного сопротивления с поперечными сечениями в виде квадрата и гексагона.....	24
ГАЛЮЖИН М. А., СТАЦЕНКО А. А. Обеспечение сложного движения выходного звена механизма с редуцированием частоты вращения.....	26
ГОРДЮК Т. С. Программа выбора допусков на размеры звеньев рычажных механизмов.....	27
ДЕМИДЕНКО Е. Ю., СЛАВИКОВ А. О. Приспособление для контроля размера по роликам наружного шлицевого венца непрямолинейного продольного профиля.....	29
ДРОЗДОВ В. С., САСКОВЕЦ К. В. Разработка средств автоматизации для контроля кинематических характеристик механических передач.....	30
ДРОЗДОВ В. С., САСКОВЕЦ К. В. Экспериментальная оценка кинематических параметров двухступенчатого планетарного радиально-плунжерного редуктора.....	31
ЗАБАЛУЕВ Е. К., МУЛИН И. А. Создание импортозамещающего аналога установки нанесения покрытий методом DEEP-COAT.....	32
ЗЫЛЬ С. А. Определение сил в механизме параллельных кривошипов циклоидально-цевочной передачи.....	33
КЛЯЧКОВА П. С., ЛЕВКИНА А. Д., ЗАЙЦЕВ Е. В. Применение аддитивных технологий для производства окклюдеров.....	34
КООВИТ В. С., МУХА А. В. Конструкция вспомогательного инструмента для упрочняющей обработки пневмоударом	36
МАНКЕВИЧ В. А., ХОРТ Н. А. Влияние газовой среды обжига на цвет керамических изделий.....	37
МУЛИН И. А., ЗАБАЛУЕВ Е. К. Оптимизация процесса выбора оборудования для аддитивной промышленности.....	39

ПЛЯЦ Д. С. Озонаторный аппарат с теплообменной системой для очистки сточных вод.....	40
ПОЛИВОДА Н. А., ЩЕТИНИН М. М., ПРИХОДЬКО А. А. Анализ трехподвижной высшей кинематической пары «зубчатое колесо – зубчатая рейка».....	41
ПОЛИВОДА Н. А., ЩЕТИНИН М. М., ПРИХОДЬКО А. А. Динамика поршневого компрессора с планетарным исполнительным механизмом.....	43
ПРОТАЦКАЯ А. А. Влияние технологии литья под низким давлением на гидравлическую плотность алюминиевых заготовок.....	45
ТАРАДЕЙКО М. В. Оценка износостойкости валов, модифицированных импульсно-ударным накатыванием.....	47
ТЕРЕХОВ А. С. Использование автоматических линий и роботизации в производстве мороженого	48
УФИМЦЕВ А. В. Автоматизация масляного пылеуловителя на нефтегазовом месторождении.....	49
ЧЕРНЕНКОВА А. А. Разработка вакуумного захватного устройства для выборки мармеладных изделий.....	51
ЧУВАШОВ Д. С., КАШПЕРОВ А. А. Опыт совершенствования конструкции специализированного медицинского инструмента.....	52
ЮМАНОВА А. Н., РАБЫКО М. А., ДУДКИНА С. С. Экспериментальная проверка сходимости результатов имитационного моделирования процесса упрочнения тлеющим разрядом различной частоты горения.....	54

Секция 2. Технологии получения и обработки новых материалов и покрытий

АН ЙИН, ДОБРОВОЛЬСКИЙ А. Д., МАХНОВЕЦ Д. С. Влияние охлаждающих сред при закалке на свойства модифицированных хромовых бронз.....	55
БАРЕЙША М. В. Исследование НДС крышки редуктора.....	57
БЕЛЯКОВИЧ В. А., АНДРЕЕВ И. К., ОЛЕНЦЕВИЧ А. С. Оптимизация процесса плазменного напыления порошков системы $Al_2O_3-TiO_2-Ni-Al$	59
БОЧКАРЕВ И. Д., КУЗМЕНКО М. О., САМОЙЛОВ Е. П. Прототипирование 3D-моделей образцов из материалов аддитивного синтеза.....	60
ВАСИЛЕНКО А. С. Прочность и деформативность ПВХ-шпунта, выполненного из вторичного пластика.....	62
ЖУРАВЛЕВ А. А. Получение полупроводникового фосфора пресованием.....	64
ЗАЙЦЕВА А. Д., ГАЛАКТИОНОВ С. С., КРАСНОЩЕКОВ А. Н. Инновационные технологии для процессов переработки диоксида.....	65
ЗИНЕВИЧ Д. В. Коррозионно-стойкие цинк-никелевые покрытия.....	67
КЛОЧКО П. В. Композиционные термопластичные материалы для изготовления изделий специального назначения.....	69

КУЗИН Е. Н. Синтез и применение комплексного титансодержащего коагулянта.....	71
КУЗЬМЕНКО Е. Д. Физико-механические свойства керамики на основе карбида и нитрида гафния.....	73
ЛИВОНОВИЧ З. С., ЛИВОНОВИЧ К. С. Супергидрофобные покрытия на основе наночастиц оксида кремния и полицианоакрилата.....	74
ЛОЗИКОВ И. А. Влияние времени выдержки при закалке на свойства модифицированных хромовых бронз.....	76
ЛОЗИКОВ И. А. Влияние температуры нагрева при закалке на свойства модифицированных хромовых бронз.....	78
МИХАЛКО А. М. Электрохромные покрытия, нанесенные из активной газовой фазы.....	80
МУЗАПАРОВ Р. А., РАХИМЖАНОВА А. С. In silico-исследование инкапсуляции витамина А циклодекстринами.....	81
НОСОВА Т. И., НИШУКОВА М. А. Получение комплексного органического коагулянта для очистки сточных вод.....	83
ОЛЕНЦЕВИЧ А. С. Механически легированные гранулированные композиции на основе алюминия.....	85
САРАНЦЕВА А. А. Обзор методов получения феррата натрия из отходов металлургических производств.....	86
СИРАЗЕЕВА А. Р., АКСЕНОВ Д. А., БОЛЬШАКОВ Б. О., КУЛЯСОВА О. Б. Структура и механические свойства Zn–Li–Mn, подвергнутого интенсивной пластической деформации.....	88
СУХАРЕВА К. В. Модификация поверхности резин фторсодержащими соединениями.....	89
ТАНДЕЛОВ А.-Т. Т., КОРНИЛОВ А. Д., ТЕРТЫШНАЯ Ю. В. Молекулярное моделирование взаимодействия пурпурина-18 с функциональными группами модифицированного полилактида.....	91
ХАБИБОВА Е. Д. Оценка химического состояния и толщины оксидных слоев стали ВНС-5, модифицированной пучками ионов углерода и хрома.....	92
ХАСАНОВА А. Р., АКСЕНОВ Д. А., БОЛЬШАКОВ Б. О., АСФАНДИЯРОВ Р. Н. Влияние прокатки и интенсивной пластической деформации на структуру и механические свойства сплава Zn – 0,8 % Li.....	94
ЩЕРБАКОВА В. Б. Особенности моделирования кинетики восстановления оксидов в условиях процесса Ачесона.....	95
Секция 3. Сварка, родственные процессы и технологии	
КОРОТЕЕВА А. А., МООР Р. Д., ДОЛГАЯ В. Д. О перспективах применения BF_3 в составе защитного газа при сварке стали A335 Grade P91.....	97

КОРОТЕЕВА А. А., ФЕТИСОВА Е. А., ДОЛГАЯ В. Д. Применение газовых флюсов для управления технологическими и металлургическими характеристиками процесса дуговой сварки.....	98
МИХЕЕВ Р. С., БЫКОВ П. А., КАЛАШНИКОВ И. Е., КОБЕЛЕВА Л. И. Разработка присадочных материалов для дуговой наплавки дисперсно-упрочненных композиционных покрытий на основе сплава АК12М2МгН.....	99
СЕРГЕЙЧИК А. О., ЮМАНОВ Д. Н. Разработка графического кода управления качественными параметрами при контактной рельефной сварке.....	101
СТЕЦЕНКО С. А. Определение высоты слоя гранулята при дуговой сварке в защитных газах на керамических подкладках.....	102
ТОЛПЫГО Н. А. Измерение параметров сварочных процессов в мобильном регистраторе.....	104
ФЕТИСОВА Е. А., КОРОТЕЕВА А. А., СЕРДЮКОВА К. Н. Влияние модификации защитной газовой атмосферы SF ₆ на механические характеристики наплавленного металла.....	105
ФИЛИППОВ М. Н., МИНЬКОВ А. Л. Моделирование температурных полей, деформаций и коробления пластины 200 × 100 × 10 мм из стали Р91 при многопроходной сварке на базе пакета программы LS-DYNA.....	106
ШАБЛОВСКИЙ А. В., ЯКУБОВИЧ Д. И. Растворение кремния в расплавленном металле сварного шва.....	108
ШЕРСТОБИТОВ А. С., НИКИТЕНКО Н. П. Испытания сварных соединений держателей термопар.....	109
ШУКАН Н. М., ЛОПАТИНА А. А. Лазерная сварка медных токоподводящих контактов.....	110
ШУКАН Н. М., ПОПОВ Н. В. Применение оптоволоконного лазера для сварки элементов конструкций из титановых сплавов.....	111
ЮМАНОВ Д. Н., СЕРГЕЙЧИК А. О. О проектировании электродного узла для контактной рельефной сварки Т-образных соединений.....	112
ЯКУБОВИЧ Д. И., ВАСЕНИЧЕВА А. В. Установка для получения мелкодисперсного порошка методом точечного электроэрозионного диспергирования.....	113
ЯНВАРЁВА Е. П. Исследование структурно-фазового состава композиционных покрытий состава Б83–(Al–Bi), сформированных процессом дуговой наплавки.....	114

Секция 4. Наземные транспортные и технологические машины и комплексы

ВЕСЕЛОВ В. О. О распределении продольных реакций грунта по передним граням грунтозацепов.....	116
КАЙЛЬ А. И., ЕСКИН Е. С., ВОЙНАШ С. А. Современные подходы к уплотнению грунтов при строительстве и ремонте дорожных покрытий.....	117

КУЗЬМЕНКОВА М. С. Грохот волновой непрерывного действия.....	119
СЕРОВ К. Н., ВОЙНАШ С. А. Электромеханический порталый мост для трактора 3–4 тяговых классов.....	120
ТАЛДЫКИН Д. С., ГРИШКИНА А. В. Анализ изменения качества моторных масел при эксплуатации двигателей сельскохозяйственной техники.....	122
ХАРИТОНОВ Ю. М. Волновой смеситель адаптивного действия.....	124
ЧЕРДИНЦЕВ И. А. Расположение зарядной инфраструктуры на магистралях.....	125
ШАШЕНКО С. Ф. Интенсификация процесса тонкого грохочения на основе дугообразных самоочищающихся сит.....	127
 Секция 5. Инновации в строительстве	
АМЕЛИНА М. А. Определение вероятности потери устойчивости железобетонной рамы при аварийном воздействии.....	128
ДУБОВ Д. Е. Эффективная добавка, повышающая прочность арболита.....	130
КИРИЛИН Д. А., УТЕГЕНОВ Б. Б. Исследование влияния опoки на прочность тяжелого бетона.....	132
МАРЧЕНКО А. С. Проведение экспериментов по измельчению щебня в вертикальной центробежной роторной дробилке.....	134
МИШИЧЕВ Д. К. Исследование частичного заслонения при расчете ветровых нагрузок на комплекс зданий.....	136
САПРАНКОВ Н. В. Многофакторная комплексная оценка проектов с учетом LCA.....	138
САПРАНКОВ Н. В. Сравнительный анализ цифровых технологий в оценке жизненного цикла объекта.....	140
СИВУХА А. С. Оценка прочностных характеристик гипсовых конгломератов.....	142
СОЛОВЬЕВ К. Д., КРУЧИНИНА Н. Е. О возможности применения вскрышных пород в технологиях защиты окружающей среды.....	143
СУБОЧ А. В. Анализ влияния строительных материалов на окружающую среду с использованием Tally LCA.....	145
СУБОЧ А. В. Анализ жизненного цикла стройматериалов на основе BIM-модели для зеленого строительства.....	147
ТИТОВ Г. И., ИВАНОВ С. В. Информационное моделирование в строительстве.....	149
ТОЩАКОВА А. С. Новый способ оценки огнестойкости металлических конструкций зданий.....	151
ТУРКИН В. Н., ПОПОВ А. С., МАРЬЯШИН А. Н. Классификация и эффективность бинарных фундаментов-оболочек на слабых грунтах в гражданском строительстве.....	153
ЦАБАДЗЕ С. Р., АГАДЖАНЫН А. Н. Лазерное сканирование при строительстве и реконструкции объектов различного назначения.....	155

ЯЛОВСКИЙ Б. О., ШАРОЙКИНА Е. А. Благоустройство жилого района г. Могилева.....	157
Секция 6. Автоматизация, электропривод, электрооборудование	
ГРОМЫКО И. Л., ГАЛУШКО В. Н., ПАЦКЕВИЧ В. А. Разработка системы диагностики трансформаторов с применением сети ResNet-18.....	158
КАПИТОНОВ О. А., ШНИП Д. В. Тепловая идентификация асинхронного электродвигателя.....	160
МЕЛИХОВ М. К., САЛАХОВ Р. Р. Влияние алгоритмов управления на поддержание температуры в теплогидравлических системах.....	161
ПАНЬКИНА А. Д. Использование частотного регулирования насосного оборудования в индивидуальных тепловых пунктах.....	163
ТРЕТЬЯКОВ А. С., ШНИП Д. В. Методика идентификации параметров тепловой модели асинхронного электродвигателя с учетом вентиляции.....	165
ШНИП Д. В. Автоматизация технологических процессов нагрева в специализированном оборудовании сельскохозяйственного назначения.....	166
Секция 7. Методы и приборы контроля качества продукции и природной среды	
АЗОПКОВ С. В., ПЕРЕСУНЬКО Ю. Д. Влияние рН среды на процесс дефторирования сточных вод.....	168
ГОНЧАРИК Ю. М. Экспресс-обнаружение загрязняющих веществ в технологических и сточных водах.....	170
ИВАНОВ А. А. Применение персульфата аммония для очистки сточных вод от синтетических красителей.....	172
КУВШИННИКОВ В. С. Цифровая симуляция при практико-ориентированной подготовке и оценке навыков специалистов по радиационному виду неразрушающего контроля.....	174
ЛЮБУШКИН Т. Г. Фотокаталитическое разложение пероксодисерной кислоты.....	176
МОСТОВЫК П. Р. Применение процесса Фентона для очистки сточных вод от синтетических красителей.....	178
МОСТОВЫК П. Р., ИВАНОВ А. А. Определение максимума светопоглощения раствора пероксодисерной кислотой.....	180
ПЕРЕСУНЬКО Ю. Д. Изучение систем Фентона и Раффа с использованием пероксодисерной кислоты для деструкции красителей.....	182
ПИСАРЕВА А. А. Исследование влияния рН среды на процесс окислительной деструкции фенола пероксодисерной кислотой.....	184
ПОНОМАРЕВА Е. А. Изучение коррозионной активности пероксодисерной кислоты.....	186
САФОНОВА А. О. Моделирование управления процессом аддитивного производства.....	188
ШАЙХУТДИНОВА И. И. Методы искусственного интеллекта при выявлении дефектов отливок.....	190

ШТЕМПЕЛЬ А. Н. Применение визуального и оптического контроля для повышения качества монтажа печатных плат.....	192
--	-----

Секция 8. Информационные технологии

АРХИПЧУК А. А., ЗАЙЧЕНКО Е. А. Выбор языка программирования для разработки платформы онлайн-обучения.....	193
ДЕНИСЕВИЧ Д. А., САВИЦКИЙ Е. И., ХАРЛАМОВ И. В. Исследование алгоритма 2-орт для решения задачи о коммивояжере.....	194
ЗАЙЦЕВ А. А., ЗАЙЦЕВ Д. С., САДОВСКИЙ В. Т. Создание веб-приложения для изучения сетевых технологий на основе графического симулятора сети.....	196
КОРЧАГИН В. Д. Поиск дефектов в сварных металлических соединениях при помощи технологий компьютерного зрения.....	197
КУЦАЕВА И. Ю., МИКАЛУЦКИЙ Д. В., ПЛИСКО И. Г. Создание приложения для обучения и проверки знаний студентов по дисциплине «Системный анализ и исследование операций».....	199
МАКАРЕВИЧ А. П., ВАРАНЕЦКИЙ А. М. Формирователь пучков бесселева типа для системы лазерной связи в свободном пространстве.....	200
МИЩЕНКО И. И. Применение компьютерного зрения в системах поддержки принятия решений для диагностики травм позвоночника.....	202
ПРОКОПЕНКО С. А. Использование нейро-нечетких компонентов при выявлении производственного брака на предприятиях.....	204
САФИНА И. З. Метод анализа принадлежности аккаунтов одному владельцу в блокчейн-сетях.....	206
СМИРНОВ М. С. Автоматизация процесса учета посещаемости обучающихся на аудиторных занятиях.....	208
СОЛОНОВИЧ Д. А. Интеграция имитационной модели в систему управления производственным предприятием.....	210
ХАРЛАМОВ П. С. Перспективный комплекс информационных систем в органах местного самоуправления.....	212
ХАРЛАМОВА О. Е. Метод многофакторной аутентификации как элемент информационной безопасности сложной экономической системы.....	213
ХАРЛАМОВА О. Е. Прогнозная комплексная модель электорального поведения избирателя на основе нечеткой свертки.....	215
ЧЕРНОВА Е. А. Инновационные методы сбора обратной связи в рамках маркетинговых коммуникаций для веб-приложений.....	217
ЧЕРНОВА Е. А. Интеграция искусственного интеллекта в анализ обратной связи для веб-приложений.....	218

Секция 9. Инновационная экономика и гуманитарное образование в развитии общества

БОКЛАШОВА В. О. Направления укрепления инвестиционного климата и совершенствования инвестиционной деятельности в Республике Беларусь.....	219
---	-----

ВАСИЛЕГО Е. А. Ревитализация как возможность развития экономики региона.....	221
VASILENKO J. V. The 8 types of fun as motivational factors in a traditional English as a foreign language classroom at a university.....	223
ДЕМИДЕНКО В. О. Управленческий анализ сбытовой деятельности.....	225
ДУДНИК А. И. Роль международных организаций в стимулировании инновационной экономики.....	227
ЖАБЕНКО М. В. Декларирование таможенной стоимости ввозимых инновационных материалов и оборудования на территорию Республики Беларусь.....	229
ЖАРЕЙКО Т. А. Проектно-аналитическая поддержка целесообразности реализации инновационно-инвестиционного проекта.....	231
ЖУКОВА С. В. Инновационные подходы к управлению финансовой устойчивостью предприятия.....	233
КИРИЛЛОВА Е. А. Анализ потока инноваций как основа оценки результативности и динамики изменений экосистемы.....	235
МАЛЕВИЧ Е. П., КИРИЛЛОВА Е. А. Механизм госзакупки как инструмент стимулирования спроса на инновации.....	237
МАТУШАНСКИЙ А. В. Стратегические перспективы развития стекольной отрасли.....	239
МОХОВЦОВА А. Н. Стратегическое развитие деятельности предприятия путем внедрения мероприятий по импортозамещению.....	241
НИКОЛАЕНКО А. И., АГОРОДНИКОВА У. Е. Совершенствование кадровой политики промышленного предприятия.....	242
ПЕТРОВА Н. А. Экономическая эффективность инновационных малотоннажных технологий в лесной промышленности.....	243
ПРОХОРОВА А. В. Повышение эффективности управления основными средствами промышленного предприятия.....	245
РУДОМАЗИН В. В., ШМЕЛЕВА Н. В. Подходы к управлению ресурсной эффективностью производства строительных материалов.....	246
СТЕПАНОВА В. В. Системный подход к управлению инновационно-инвестиционной деятельностью предприятия.....	248
СТЕПАНОВА М. А. Продуктовые инновации в системе устойчивого развития промышленного предприятия.....	250
ХАРЛАМОВ П. С. Модель применения инструментария ИТ-контроллинга при автоматизации процессов в муниципальном образовании.....	251
ХАРЛАМОВ П. С. Паттернализованная система показателей социально-экономического развития муниципального образования.....	252
ХАРЛАМОВА О. Е. Воздействие коллизионного социально-экономического аспекта становления информационного общества на сложные экономические системы.....	253

УДК 614.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЕРОЯТНОСТЬ АВАРИИ НА АГЗС С ПОДЗЕМНОЙ ЕМКОСТЬЮ ДЛЯ СУГ

П. С. ОРЛОВСКИЙ¹Научный руководитель А. П. БЫЗОВ², канд. техн. наук, доц.¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Россия

Со временем растет популярность использования газового топлива для автомобилей, что связано с его невысокой стоимостью. По этой причине стало значительно увеличиваться количество автомобильных газозаправочных станций (АГЗС), которые считаются наиболее опасными среди объектов нефтепродуктообеспечения из-за обращения на них сжиженных углеводородных газов (СУГ) [1]. Обеспечение пожарной безопасности на таких объектах является актуальным в силу их расположения в населенных пунктах рядом с местами проживания или скопления людей [2, 3]. Как показывает статистика, аварии и пожары на АГЗС и подобных объектах случаются довольно часто.

В разработанной методике оценки пожарного риска на АГЗС [4] при расчете ожидаемой частоты аварии в формуле применяются весовые коэффициенты факторов влияния:

$$P = \lambda_{возр} \cdot P_{ср} \cdot \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}}{B_{ср}},$$

где p_i – весовой коэффициент i -й группы факторов;

q_{ij} – доля (весовой коэффициент) j -го фактора в i -й группе.

На основе разработанной системы факторов [4, 5] для получения наиболее объективных значений коэффициентов, применяя метод анализа иерархий [6], с помощью сервиса Yandex Forms была создана форма для опроса экспертов, где сравниваются группы факторов и факторы методом парных сравнений с использованием шкалы важности, которая предусматривает девять вариантов ответов.

С помощью созданной формы опрос прошли 25 специалистов, включая сотрудников организаций, эксплуатирующих АГЗС, сотрудников организаций, осуществляющих надзор за опасными производственными объектами, и научных сотрудников, занимающихся исследованиями в области пожарной безопасности. При проведении такого рода опросов рекомендуется, чтобы число задействованных экспертов было не менее количества элементов (факторов) в системе, которых для объектов с подземным резервуаром насчитывается 25, объединенных в четыре группы.

В результате опроса были получены ответы с наиболее важными, по мнению экспертов, факторами. Чтобы получить значения коэффициентов методом

анализа иерархий, строятся матрицы парных сравнений [6]. Для внесения полученных ответов в матрицу в соответствии со шкалой важности предлагается использовать наиболее популярный ответ из девяти возможных и не брать во внимание редкие, единичные ответы, учитывая возможную личную чувствительность эксперта к некоторым факторам и условия прохождения опроса. При получении в одном вопросе двух и более самых популярных и одинаковых по количеству ответов был взят ответ, расположенный ближе ко второму по популярности. Как показывает анализ ответов формы, в каждом вопросе отсутствуют ответы, которые получили равное количество по популярности, но противоположные по значению. Таким образом, в основном, наиболее популярные ответы располагаются близко друг к другу, что говорит о единстве мнения независимых респондентов и достоверности полученных результатов.

При балльно-факторной системе оценивания реально можно выявить наиболее существенный элемент в зависимости от соотношения весовых коэффициентов, значения которых представлены в табл. 1.

Табл. 1. Факторы влияния и их весовые коэффициенты

Группа факторов	Вес группы	Фактор влияния		Вес фактора в группе
1	2	3		4
FG ₁ : Механические разрушения	0,10	F ₁₁	Отношение фактической толщины стенки резервуара к требуемой	0,03
		F ₁₂	Дефекты сварных швов	0,12
		F ₁₃	Рабочее (избыточное) давление	0,09
		F ₁₄	Исправность и надежность запорной и предохранительной арматуры	0,39
		F ₁₅	Гидроиспытания	0,04
		F ₁₆	Возможность возникновения гидравлических ударов	0,06
		F ₁₇	Система автоматизированного контроля (наличие)	0,22
		F ₁₈	Аварии и отказы, имевшие место на АГЗС по причине механических разрушений	0,05
FG ₂ : Коррозия	0,17	F ₂₁	Температура среды	0,04
		F ₂₂	Тип и состояние изоляционного покрытия	0,35
		F ₂₃	Коррозионные свойства грунтов (почвенная коррозия)	0,07
		F ₂₄	Качество работы устройств ЭХЗ	0,35
		F ₂₅	Мониторинг и контроль эффективности ЭХЗ	0,07
		F ₂₆	Аварии и отказы, имевшие место по причине коррозии	0,12
FG ₃ : Уровень технической эксплуатации	0,64	F ₃₁	Эксплуатационная документация	0,04
		F ₃₂	Контроль воздушной среды на наличие утечек	0,32
		F ₃₃	Квалификация персонала	0,14
		F ₃₄	Нарушение клиентами АГЗС инструкций по безопасной заправке автомобилей	0,42
		F ₃₅	Аварии и отказы, имевшие место по причине нарушений правил эксплуатации	0,08

Окончание табл. 1

1	2	3		4
FG ₄ : Природные воздействия	0,09	F ₄₁	Подвижки и деформации грунта	0,17
		F ₄₂	Уровень грунтовых вод	0,05
		F ₄₃	Состав грунта с точки зрения его несущей способности	0,09
		F ₄₄	Грозная активность	0,49
		F ₄₅	Глубина заложения резервуара	0,05
		F ₄₆	Аварии и отказы, имевшие место по причине природных воздействий	0,15

Для выявления самых существенных, по мнению экспертов, факторов допустимо провести анализ путем произведений веса группы факторов на вес фактора внутри группы. Таким образом, наиболее важными факторами на объектах с подземным расположением резервуаров получились «Нарушение клиентами АГЗС инструкций по безопасной заправке автомобилей», «Контроль воздушной среды на наличие утечек», «Квалификация персонала».

В результате проведенных исследований были получены весовые коэффициенты факторов влияния. Привлечение широкого круга специалистов в области проектирования, строительства и эксплуатации резервуаров с СУГ повышает объективность оценок весовых коэффициентов, которые будут применены при оценке частоты аварий на АГЗС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Орловский, П. С.** Анализ риска аварий на опасных производственных объектах нефтепродуктообеспечения в Республике Беларусь / П. С. Орловский // Актуальные проблемы науки и техники: материалы II Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию ИМИ-ИжГТУ и 60-летию СПИ (филиал) ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова». – Ижевск, 2022. – С. 841–843.

2. **Орловский, П. С.** Влияние особенностей проектов АЗС на величину риска аварии / П. С. Орловский // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2022. – С. 125.

3. **Орловский, П. С.** Оценка вкладов различных технических и организационных мероприятий в величину риска аварии / П. С. Орловский // Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность-2022): материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию УГАТУ. – Уфа, 2022. – С. 59–61.

4. **Андреев, А. В.** Методика балльно-факторной оценки частоты иницирующих 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.

5. **Орловский, П. С.** Коррозионная активность грунта как причина разрушения подземных емкостей для хранения нефтепродуктов / П. С. Орловский // Экологическая неделя БРУ – СПбПУ: материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 120–124.

6. **Орловский, П. С.** Определение коэффициентов важности с помощью метода анализа иерархий / П. С. Орловский // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2023. – С. 121.

УДК 621.791.763

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДУГОВОЙ СВАРКИ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДОЙ

Е. А. ФЕТИСОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время при производстве металлоконструкций широкое применение находят высокопрочные стали, обладающие многокомпонентной системой легирования, позволяющие снизить металлоемкость изделия, сохраняя при этом его прочностные показатели на высоком уровне, что является необходимым при эксплуатации в динамических, знакопеременных и статических условиях нагружения.

Такие стали, в сравнении с обычными низкоуглеродистыми и низколегированными, требуют специального подхода к разработке технологии сварки, что обусловлено повышенной склонностью к образованию трещин в околошовной зоне по замедленному механизму разрушения, обусловленных диффузионным водородом. Кроме того, существует высокая вероятность образования трещин, вызванных наличием больших внутренних напряжений в области существования закалочных структур зоны термического влияния.

Протекание стабильного процесса сварки во многом зависит от характера плавления присадочной электродной проволоки, переноса расплавленного электродного металла в зону сварочной ванны и его коэффициента разбрызгивания, от химического состава стали и присадочных материалов и т. д. В свою очередь, при механизированной дуговой сварке на вышеперечисленные характеристики оказывает непосредственное влияние состав защитной газовой атмосферы.

Была проведена работа по исследованию технологических характеристик дуговой механизированной сварки высокопрочных сталей с модификацией защитной газовой среды $Ar + CO_2$ галогенидным соединением SF_6 .

Ранее описывалась разработанная установка для получения модифицированной среды $Ar + CO_2 + SF_6$ с последовательным смешиванием компонентов. По предлагаемой технологии расход защитного газа оставался в пределах 12...15 л/мин при содержании в смеси 82 % Ar и 18 % CO_2 и введении в нее 0,25 %...2,0 % SF_6 (по объему). В качестве присадочного материала использовалась проволока сплошного сечения Св-08Г2С.

По результатам экспериментальных исследований установлена степень влияния SF_6 на частоту и характер переноса электродного металла с целью

определения наиболее стабильной области существования процесса. Установлено, что ключевым параметром в этом случае является напряжение на дуге. Область значений практического применения параметров режима смещена в сторону с большими диапазонами U_d для стабилизации процесса, что объясняется необходимостью повышения мощности дугового разряда. Модифицирование защитной среды $Ar + CO_2$ гексафторидом серы приводит к снижению частоты отрыва капель расплавленного металла от торца плавящейся проволоки с увеличением количества SF_6 , что наблюдалось при малых значениях силы сварочного тока, соответствующих области переноса с короткими замыканиями дугового промежутка.

Определена область оптимального соотношения параметров режима с минимальными потерями электродного металла на разбрызгивание, соответствующая характеру переноса электродного металла в виде короткого замыкания дугового промежутка (при этом значение скорости подачи сварочной проволоки соответствует 5,3 м/мин).

При повышенных значениях скоростей подачи проволоки, которым соответствует сила сварочного тока 210...290 А, наблюдается дестабилизация процесса, приводящая к неоднозначным значениям коэффициента потерь металла на разбрызгивание.

Переход легирующих элементов присадочного материала через дуговой промежуток в зону высокотемпературного расплавленного металла сварочной ванны также является важным моментом при выборе и разработке дуговых технологий. От его особенностей будет зависеть конечный химический состав наплавленного металла, который, в свою очередь, влияет на структуру сварных соединений, а также на комплекс эксплуатационных характеристик.

Оценка перехода легирующих элементов в наплавленный металл в условиях модификации защитной газовой атмосферы проводилась при наплавке присадочными проволоками сплошного сечения Св-08Г2С (низколегированная низкоуглеродистая) и ESAB ОК Aristorod 69 (высокопрочная низколегированная). Количество вводимого гексафторида серы в газовую защиту 82 % $Ar + 18\% CO_2$ составляло от 0,5 % до 2 %.

По полученным данным спектрального оптико-эмиссионного анализа химических элементов было отмечено снижение углерода в наплавленном металле. Выявлено повышение количества Mn и Si в составе наплавленного металла в процентном соотношении 8 %...10 % и 30 %...32 % соответственно. Такой эффект отмечен при наплавке как высокопрочной проволокой, так и низколегированной низкоуглеродистой. Объясняется это тем, что при сохранении параметров режима (скорости подачи проволоки и напряжения на дуге) в условиях модификации защитной среды $Ar + CO_2$ газообразным SF_6 меняются

условия существования дугового промежутка. Отмечается уменьшение длины и мощности дуги, что непосредственным образом связано со снижением времени взаимодействия расплавленной капли присадочного металла с газовыми компонентами защитной среды, что, в свою очередь, приводит к снижению потерь электродного металла в высокотемпературной области.

Отмечено, что наплавка на пониженных значениях напряжения в защитной среде с модификацией гексафторидом серы способствует сдерживанию роста серы в металле. Изменение напряжения на 4...5 В в случае с присадочной проволокой Св-08Г2С снижает количество серы более чем в 2 раза. В случае же использования высокопрочной проволоки ESAB ОК Aristorod 69 изменение напряжения на 2...4 В в меньшую сторону сохраняет содержание S на допустимом уровне (0,025 %...0,03 %).

Отмечено, что присутствие SF_6 в защитной газовой среде способствует увеличению значений глубины проплавления на 20 %...30 % в сравнении с технологией сварки и наплавки в смеси 82 % Ar + 18 % CO_2 . Её вид принимает более вытянутую форму по оси наплавки ближе к основанию. Наибольший рост глубины проплавления наблюдается при введении SF_6 до 1 %. При дальнейшем увеличении концентрации газообразного модификатора существенного влияния на изменение формы и размера геометрической характеристики не происходит.

Ширина валика наплавленного металла с введением гексафторида серы уменьшается. Наиболее отчетливо это прослеживается при концентрации SF_6 в составе защитной газовой среды до 1 %. Такой эффект свидетельствует о более сконцентрированном вводе тепловой энергии в изделие, что немаловажно при сварке металлов, склонных к термическому циклу.

По результатам, полученным в ходе проведенных исследований в рамках выполняемой работы, можно сделать вывод о том, что предлагаемая технология дуговой сварки с модификацией защитной газовой атмосферы галогенидсодержащим компонентом SF_6 может выступать в качестве способа воздействия на происходящие металлургические и физико-химические процессы, которые, в свою очередь, способствуют получению качественных сварных соединений без дополнительных затрат на специальные предварительные технические и технологические приемы.

УДК 621.92

ВОЛНОВЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю. М. ХАРИТОНОВ

Научный руководитель Л. А. СИВАЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Проблемы переработки влажных сырьевых и неоднородных и сложных по составу материалов имеют важное народно-хозяйственное значение, что обусловлено их огромными объёмами, высокой стоимостью и сложностью применяемого оборудования, большими эксплуатационными издержками [1].

Существующее оборудование в должной степени эти проблемы не решает, что, в первую очередь, связано с отсутствием научно аргументированных разработок в области проектирования технологических агрегатов для этих целей. Одним из направлений повышения их эффективности может быть разработка волновых аппаратов для переработки сырьевых материалов [2, 3].

Волновые аппараты характеризуются адаптивным механизмом воздействия на обрабатываемую смесь. Идеология их возникновения [4, 5] основана на том, что рабочее оборудование выполняется в виде одно- или двухволновых оболочек (лотков), установленных под углом к горизонту и связанных с приводом для их кинематического деформирования. При этом перерабатываемые продукты подаются в верхнюю часть таких камер, причем их внутренние стенки производят силовое воздействие на исходные компоненты, осуществляя требуемый характер их преобразования. Собственно, волновые оболочки могут быть выполнены в виде гибких сплошных, перфорированных листов или цепных завес, а сами рабочие камеры дополнительно оснащаются интенсификаторами процессов – лопастями, цепями, билами, зубьями, ножами, маховиками и т. д.

Дадим краткую характеристику разработанных конструкций волновых аппаратов, кинематические схемы и общие виды экспериментальных вариантов которых представлены на рис. 1.

Схема 1. Волновой аппарат с боковым закреплением шатуна на рабочей камере. Рабочая камера претерпевает сложные деформирования, вследствие чего её стенки передают интенсивные перемещения находящимся в ней компонентам. Стенки могут быть выполнены в виде цепных завес. Соответственно этому в аппарате реализуются процессы смешивания, грохочения или грохочение с дезагрегацией.

Схема 2. Волновой аппарат с качательным движением рабочей камеры. Особенностью конструкции является то, что полотно рабочей камеры деформируется под действием инерционных сил. Камера монтируется на вертикальном подвесе и в ней, в зависимости от вариантов конструкции, могут осуществляться процессы смешивания, грохочения, обезвоживания и др.

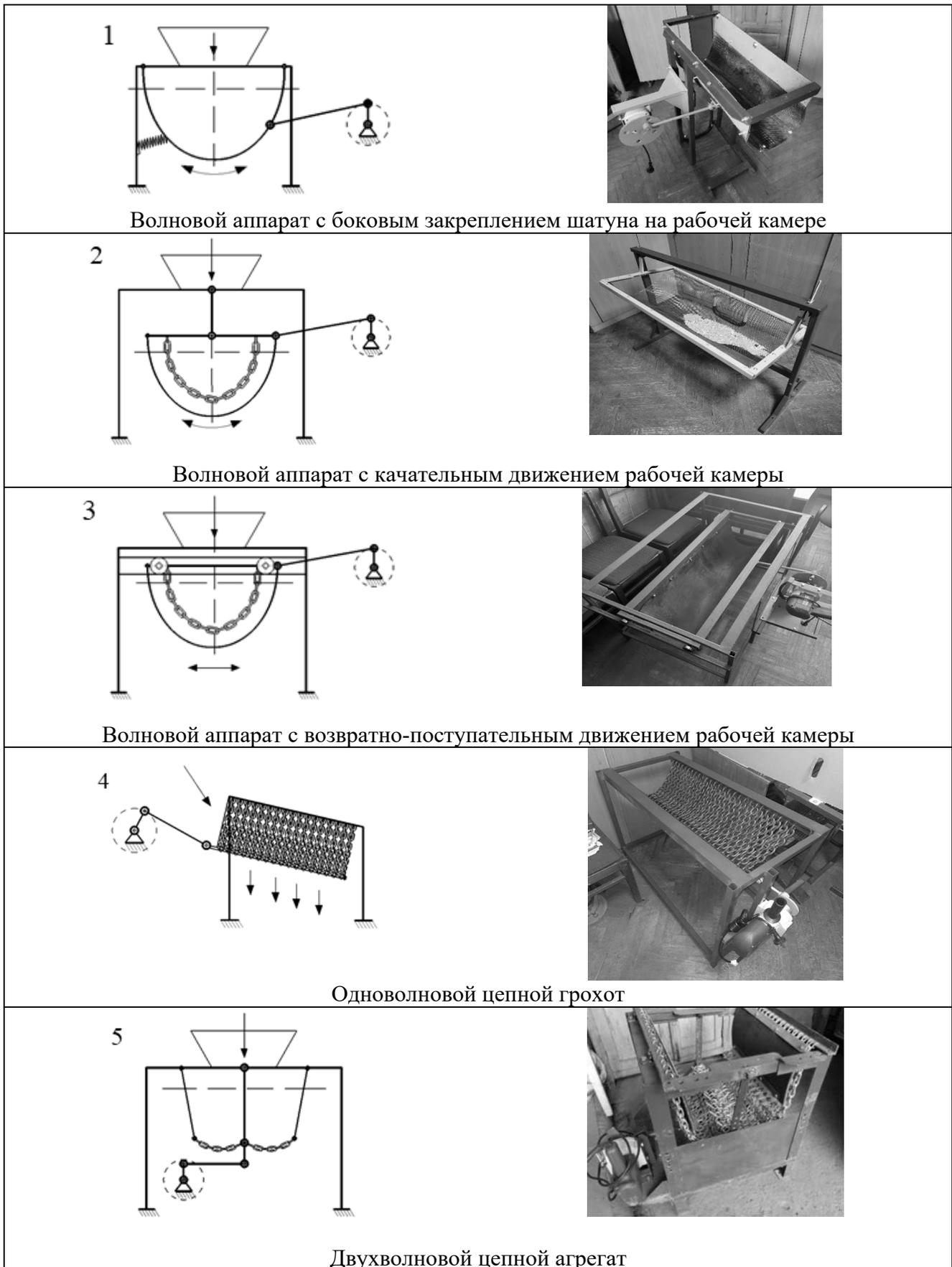


Рис. 1. Варианты конструкций волновых аппаратов для переработки отходов

Схема 3. Волновой аппарат с возвратно-поступательным движением рабочей камеры. В отличие от схемы 2, камера движется в горизонтальных направляющих, что принципиальных отличий в части проведения рабочего процесса не имеет.

Схема 4. Цепной грохот с осевыми колебаниями. Конструкция может быть выполнена только с использованием многозвенных элементов, в частности грузовых цепей. Рабочей поверхности колебания передаются по принципу гирационного подвеса на ее нижнюю часть. Аппарат может быть использован как грохот с одновременной возможностью разрушать малопрочные куски и агрегаты.

Схема 5. Цепной двухволновой агрегат. Конструктивно рабочая камера образована двумя волнообразными собранными из цепей поверхностями, которым колебательные движения сообщаются, как и всем другим волновым устройствам, от кривошипно-шатунного (кулисного) механизма посредством толкающей штанги, закреплённой на вертикальном подвесе. Цепной агрегат обладает высокой надёжностью, но требует дополнительных исследований происходящих в нем процессов взаимодействия с перерабатываемыми продуктами.

Для определения потенциальных возможностей аппаратов проведён комплекс исследований по изучению процессов смешивания и разделения материалов по крупности, т. е. грохочения, а также определена активная площадь рабочей камеры в зависимости от амплитуды колебаний рабочей поверхности.

Смешивание проводилось на сухих строительных смесях с крупностью заполнителя до 4 мм. В качестве ключевого компонента использовался рубленый полиэтилен 5:1. Исследовался один рабочий режим: частота колебаний $n = 300 \text{ мин}^{-1}$; амплитуда колебаний $A = 70 \text{ мм}$. При этом переменным фактором служил угол наклона рабочей камеры к горизонту. Полученные результаты в виде графика представлены на рис. 2.

На основании проведённых экспериментов можно сделать вывод, что предпочтительным является работа волнового смесителя на углах наклона рабочей камеры $12^\circ \dots 15^\circ$. При этом расслоения компонентов смеси не наблюдается, а рабочая камера достаточно равномерно распределяет смесь как по длине, так и по сечению.

Для процесса грохочения гибкая рабочая камера выполнена в виде перфорированного резинового листа с круглыми отверстиями диаметром 50 мм. Полученные результаты в виде графика влияния угла установки α рабочей камеры на эффективность C грохочения и производительность Π грохота представлены на рис. 3.

В процессе испытаний установлено, что перфорированная волновая поверхность при размерах отверстий 50 мм является очень эффективным рабочим

оборудованием для сортировки трудноразделяемых материалов [6, 7]. На такой поверхности отсутствует налипание, а просеивающие отверстия не забиваются исходными кучками. Полученные зависимости со всей очевидностью показывают, что предпочтительными углами α установки рабочей камеры следует считать углы $12,5^\circ \dots 17,5^\circ$.

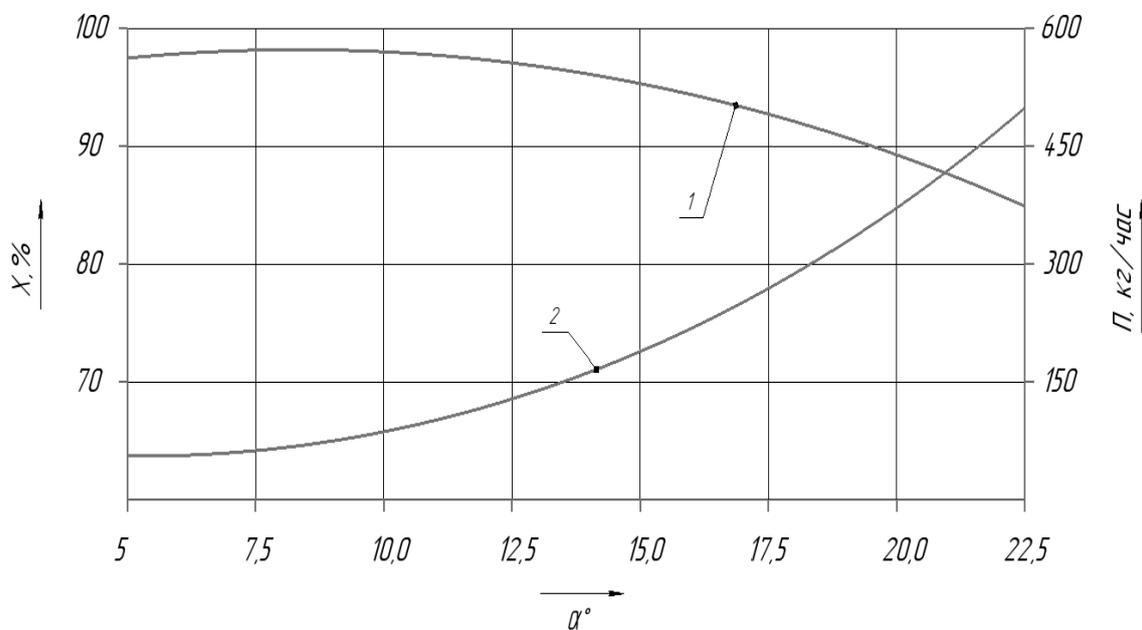


Рис. 2. График влияния угла установки α рабочей камеры на однородность приготавливаемой смеси X (1) и производительность Π (2) смесителя

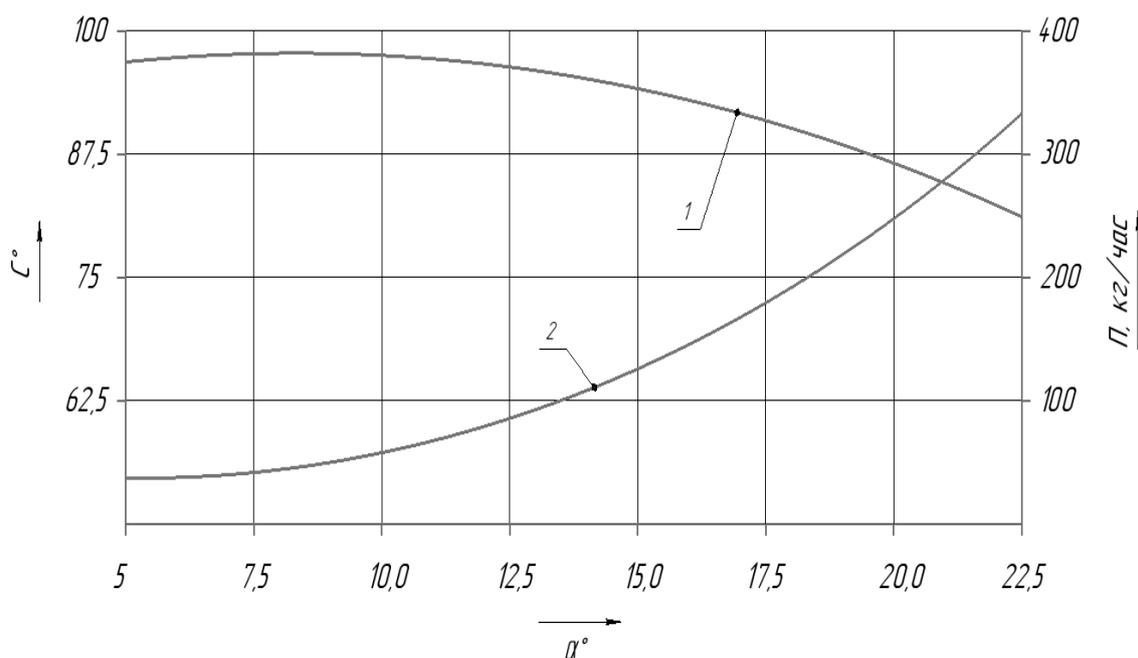


Рис. 3. График влияния угла установки α рабочей камеры на эффективность грохочения C (1) и производительность Π (2) грохота

В ходе исследования была проведена серия экспериментов на лабораторных макетах волновых аппаратов, позволившая определить активную площадь для каждой схемы с разной амплитудой колебаний. На основании полученных результатов исследований был построен график, представленный на рис. 4.

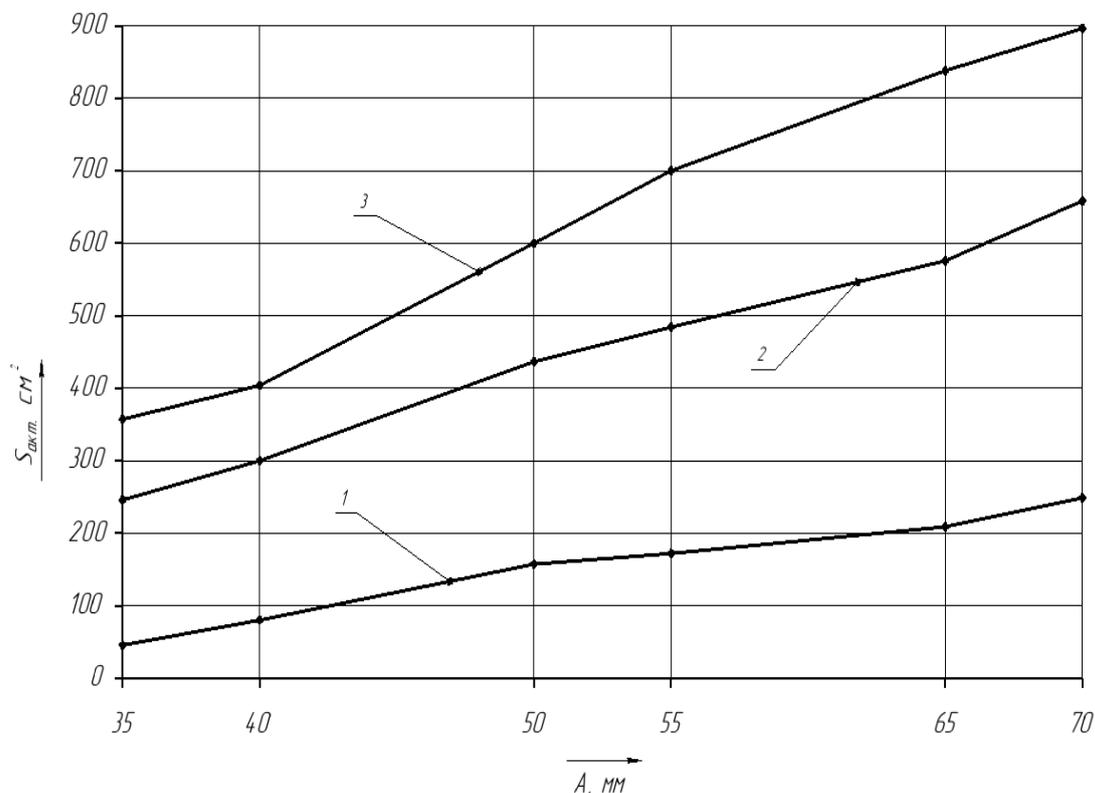


Рис. 4. График изменения активной площади рабочей камеры в зависимости от амплитуды колебаний рабочей поверхности: 1 – волнового аппарата с боковым закреплением шатуна на рабочей камере (схема 1); 2 – волнового аппарата с возвратно-поступательным движением рабочей камеры (схема 3); 3 – волнового аппарата с качательным движением рабочей камеры (схема 2)

На основе графика можно сделать вывод, что волновой аппарат с качательным движением рабочей камеры (схема 2) является наиболее оптимальным выбором за счёт большей активной площади, а также многофункциональным, что позволяет выполнять различные операции по технологической переработке материала, в том числе может быть использован для переработки неоднородных по составу и свойствам материалов, а также при приготовлении из различных компонентов однородных по качеству смесей с сохранением оптимальной производительности.

Оценивая работу волновых аппаратов, можно отметить, что технологическими областями использования волновых аппаратов могут быть: сортировка неоднородных и сложных по составу и свойствам природных и технологических материалов; первичная переработка природного минерального и органи-

ческого сырья (мела, глины, мергеля, трепела, торфа, бурого угля, глинозема, прочих сланцев и др.); перемешивание зернистых материалов, например приготовление силикатных формовочных смесей или комбикорма; предварительная сушка с целью удаления поверхностной влаги для улучшения условий последующей технологической переработки целого ряда сырья и материалов; селективная дезинтеграция и обогащение, в частности, твердых коммунальных отходов; гранулирование (предполагается) и др.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Харитонов, Ю. М.** Многоцелевые аппараты с волновой рабочей камерой / Ю. М. Харитонов, Л. А. Сиваченко, М. С. Кузьменкова // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2021. – Вып. XX. – С. 259–264.
2. Технологические аппараты адаптивного действия: монография / Л. А. Сиваченко [и др.]. – Минск: БГУ, 2008. – 375 с.
3. Интенсификация технологических процессов на основе аппаратов адаптивного действия: монография / Л. А. Сиваченко [и др.]; под ред. Л. А. Сиваченко. – Барановичи: БарГУ, 2020. – 359 с.
4. Новое технологическое оборудование для переработки твердых коммунальных, строительных и промышленных отходов / Л. А. Сиваченко [и др.] // Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 ч. – Минск: БГТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 204–211.
5. **Сиваченко, Л. А.** Многоцелевые технологические аппараты с гибким волновым рабочим оборудованием / Л. А. Сиваченко, В. А. Потапов, М. С. Кузьменкова // Вестн. БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2022. – № 9. – С. 88–98.
6. Грохот волновой с цепной просеивающей поверхностью / Л. А. Сиваченко [и др.] // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. – С. 309–314.
7. **Сиваченко, Л. А.** Сортировочно-обогащительная установка для переработки ТКО / Л. А. Сиваченко, М. С. Кузьменкова // Интерстроймех-2022: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Ярославль: ЯГТУ, 2022. – С. 212–220.

УДК 621

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АНАЛИЗА УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО
ДЕФОРМИРОВАНИЯ ШКИВА И ПОЛОГО ВАЛА
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГОРЯЧЕЙ ПОСАДКИ

А. В. АЛЬХИМОВИЧ

Научный руководитель В. А. ПОПКОВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В [1] анализом напряженно-деформированного состояния шкива и полого вала, возникающего при использовании горячей посадки, было установлено, что в некоторых областях контактной поверхности данного соединения возникают остаточные напряжения, превышающие предел текучести рассматриваемого материала. Здесь следует отметить, что в [1] алгоритм анализа напряженно-деформированного состояния сборки базировался на линейной постановке задачи (считался справедливым закон Гука). Исходя из вышесказанного, для повышения достоверности получаемых результатов необходимо учитывать упругопластический характер деформирования сочленяемых деталей. Математический аппарат компьютерной системы SolidWorks Simulation позволяет учесть данную нелинейность, используя идеализированную диаграмму Прандтля (рис. 1).

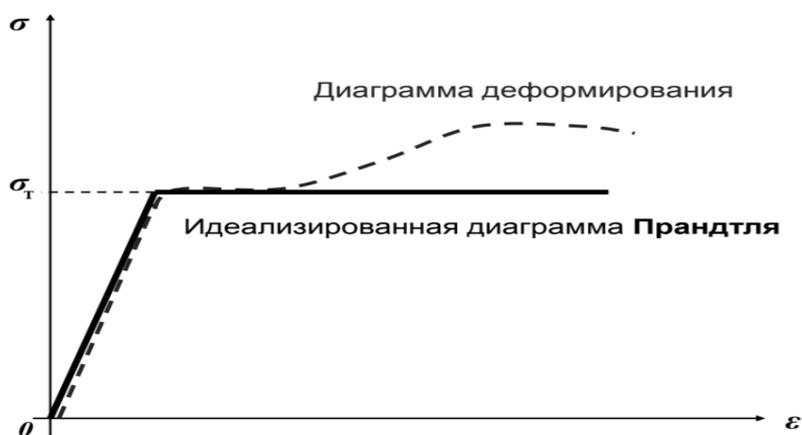


Рис. 1. Идеально упругопластическое тело

Кроме отмеченного уточнения, целесообразно учесть неравномерный характер остывания системы «шкив – полый вал». То есть решать взаимосвязанную задачу – нестационарное температурное поле в процессе охлаждения и упругопластическое деформирование материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попковский, В. А. Напряженно-деформированное состояние шкива и полого вала при использовании горячей посадки / В. А. Попковский, А. В. Альхимович // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2024. – № 3. – С. 31–38.

УДК 621

СРАВНЕНИЕ БАЛОК РАВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ С ПОПЕРЕЧНЫМИ СЕЧЕНИЯМИ В ВИДЕ КВАДРАТА И ГЕКСАГОНА

И. К. АНДРЕЕВ, В. Ю. БУТЬКО

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

Аддитивные технологии представляют собой инновационный подход к производству. Они позволяют создавать любые детали и компоненты, которые ранее были очень сложны в изготовлении. Применение этих технологий имеет ряд преимуществ, таких как экономия времени и материалов, возможность создания сложных изделий и в итоге снижение массы конструкций.

Аддитивные технологии, также известные как 3D-печать, представляют собой процесс создания трехмерных объектов путем добавления материала слой за слоем. Этот метод позволяет создавать детали сложной формы, которые трудно получить с помощью традиционных методов производства.

В строительстве известны балки равного сопротивления – конструкции, которые спроектированы таким образом, чтобы во всех их сечениях нормальные напряжения были одинаковыми. Это достигается за счет изменения геометрических параметров сечения балки в зависимости от изгибающего момента в каждом сечении.

В [1] приведена конструкция балки равного сопротивления с плоскими внешними поверхностями, что необходимо иметь во многих случаях. Изменение параметров поперечного сечения достигается созданием пустот внутри балки. Конструкция таких балок (рис. 1) позволяет снизить массу балки на 15 %...18 %.

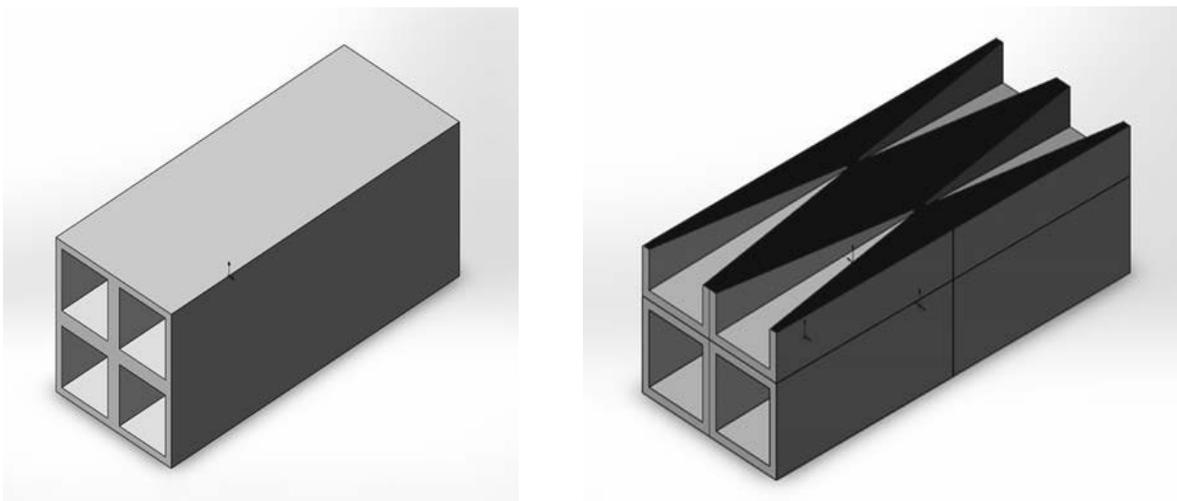


Рис. 1. Балка равного сопротивления с квадратным поперечным сечением

Рассматривается балка равного сопротивления с поперечным сечением в виде гексагона. Конструкция такой балки представлена на рис. 2.

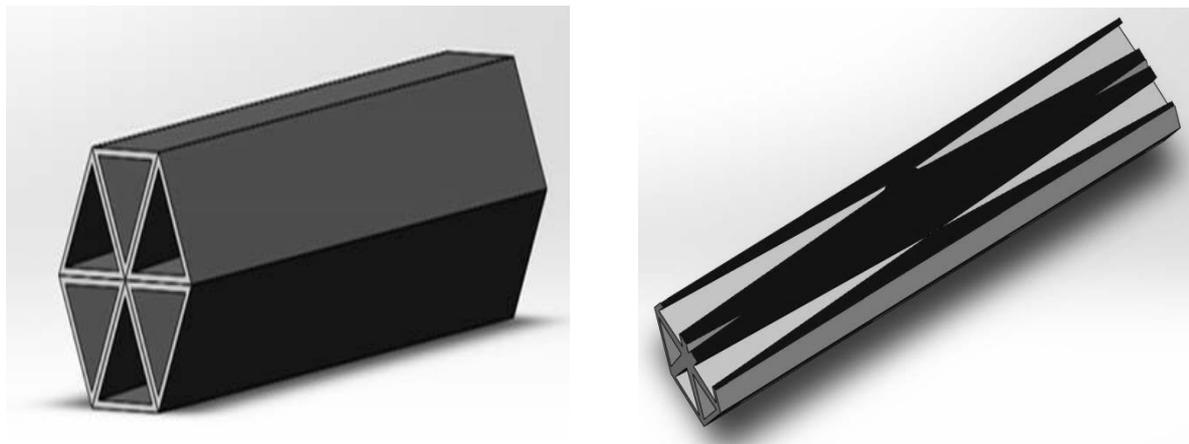


Рис. 2. Балка равного сопротивления с поперечным сечением в виде гексагона

В механике материалов балки рассчитываются по допускаемым напряжениям. Условие прочности $\sigma_{\max} \leq [\sigma]$. Тогда сторона гексагона (шестигранника) для равнопрочной балки будет составлять 0,644 стороны квадрата. Это обеспечивает равную прочность в опасных сечениях в сравниваемых вариантах балки. Такое соотношение приводит к увеличению на 7,6 % площади поперечного сечения в опасном сечении. На эту же величину увеличится масса сплошной балки. Масса балки равного сопротивления с поперечным сечением в виде гексагона снизится на 4,2 %.

Момент инерции поперечного сечения балки в опасном сечении увеличивается, что уменьшает прогиб балки на 11 %...12 %. Во многих случаях это положительно, т. к. обеспечение жесткости конструкции не потребует увеличения поперечного сечения.

С точки зрения прочности конструкции с поперечным сечением в виде гексагона в сравнении с квадратным сечением эффекта не дает.

В концевых сечениях балки возникают касательные напряжения, которые можно определить по формуле Журавского. При сравнении параметров поперечных сечений для рассматриваемых балок равного сопротивления изменяются величины статических моментов полусечений, моменты инерции и расчетная ширина сечения. В итоге касательные напряжения в торцевых сечениях уменьшаются на 7 %...8 %. Это позволяет уменьшить толщину внутренних элементов, что приведет к снижению массы конструкции. Правда, при этом потребуются дополнительный расчет на устойчивость.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катькало, А. А. Балки равного сопротивления с применением аддитивных технологий / А. А. Катькало // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2022. – 516 с.: ил.

УДК 621.833

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЛОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА МЕХАНИЗМА С РЕДУЦИРОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

М. А. ГАЛЮЖИН, А. А. СТАЦЕНКО

Научный руководитель С. Н. ХАТЕТОВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

На современном рынке машин можно встретить машины со сложным движением выходного звена. Выходное звено таких машин, как правило, может совершать сферическое или плоскопараллельное движение. Эти машины характеризуются сложностью конструкции механизма, обеспечивающего сложное движение. Следовательно, заслуживает внимания проблема их модернизации.

Перспективными для модернизации являются некоторые машины пищевых производств, в частности тестомесильные машины и миксеры. Также могут рассматриваться бетономешалки.

В результате анализа кинематики представленных на рынке механизмов со сложным движением выходного звена были определены типичные частоты вращения последнего. Переносному вращению соответствует частота 14...20 об / мин, а относительному – 60...70 об / мин.

Реализация сферического движения выходного звена возможна на основе особой кинематической схемы прецессионной передачи, совмещающей тип К-Н-V и тип 2К-Н.

Такая кинематическая схема может быть использована для конструирования механизмов типа тестомесов, миксеров и бетономешалок.

В результате анализа чисел зубьев колес новой прецессионной передачи и традиционных передаточных отношений приводов тестомесов, миксеров и бетономешалок определены возможные передаточные отношения каждой из подсхем: для подсхемы 2К-Н – 87,4; для подсхемы К-Н-V – 23. При этом при частоте вращения вала электродвигателя, равной 1500 мин^{-1} , частота переносного вращения выходного вала составит $17,2 \text{ мин}^{-1}$, а частота относительного вращения – $65,2 \text{ мин}^{-1}$.

Проблемой реализации новой прецессионной передачи является обеспечение приемлемого КПД подсхемы 2К-Н.

Для увеличения КПД подсхемы 2К-Н предложен особый метод увеличения КПД зацепления зубчатых колес прецессионной передачи. При этом предложено новое зацепление колес, обеспечивающее одновременный контакт на двух-трех соседних зубьях.

Новая кинематическая схема прецессионной передачи, совмещающая тип К-Н-V и тип 2К-Н, была исследована методами компьютерного моделирования, результаты которых подтвердили ее работоспособность.

УДК 621.878.6

ПРОГРАММА ВЫБОРА ДОПУСКОВ НА РАЗМЕРЫ ЗВЕНЬЕВ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Т. С. ГОРДЮК

Научный руководитель О. В. ПУЗАНОВА, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рычажные механизмы являются неотъемлемой частью многих инженерных систем, включая машины, роботы, транспортные средства и промышленные установки. Они играют ключевую роль в преобразовании движений, передаче сил и выполнении сложных механических задач. Однако, несмотря на их широкое применение, неточности в изготовлении, сборке и эксплуатации звеньев могут существенно влиять на их динамические характеристики и работоспособность. Актуальность данной темы обусловлена ключевыми аспектами точности, надежности, экономичности, долговечности и износа.

Целью работы является разработка программы для определения допусков на размеры звеньев рычажных механизмов. Для достижения этой цели выявлены типы неточностей, влияющие на движение звеньев, произведен обзор и анализ методов определения ошибок механизмов и выбран дифференциальный метод решения, произведено моделирование кинематических схем рычажных механизмов с учётом неточностей, разработана методика анализа чувствительности механизмов к неточностям и синтеза значений допусков. Для повышения эффективности проектирования рычажных механизмов разработана программа, которая функционирует по алгоритму, приведенному на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм работы программы

На рис. 2 представлены графики результатов работы программы для различных видов рычажных механизмов.

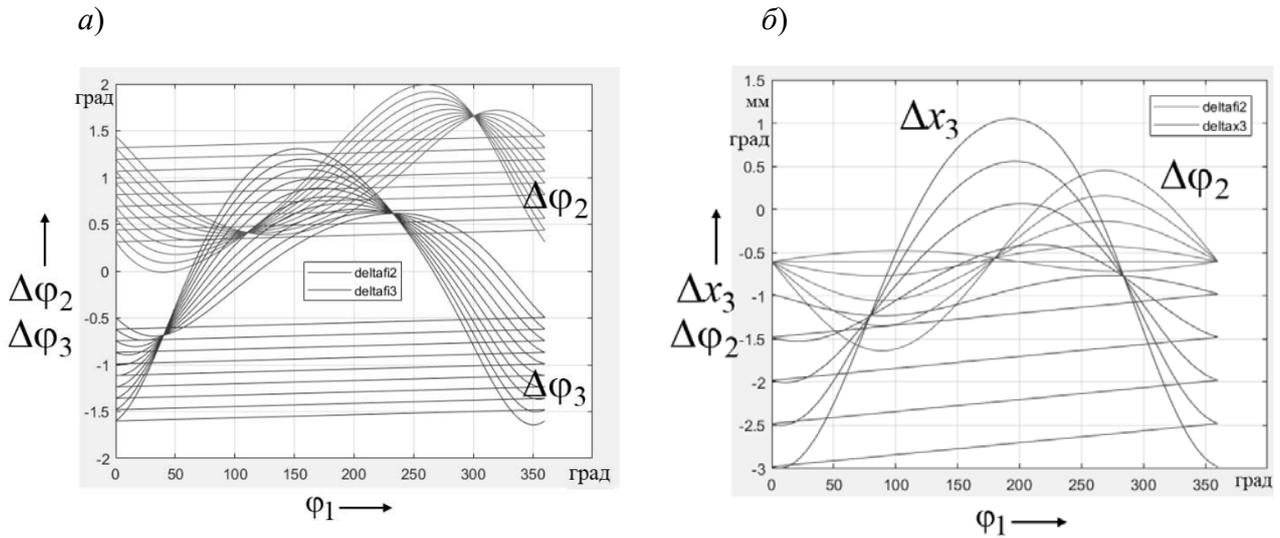


Рис. 2. Графики изменения ошибок положения звеньев механизмов за цикл его работы при различных первичных ошибках изготовления и монтажа: *а* – для шарнирного четырехзвенника; *б* – для кривошипно-ползунного механизма

На рис. 3 приведены графики оценки уровня влияния каждой первичной ошибки (длин звеньев dL_i , положения ведущего звена $\Delta\varphi_1$) на точность положения выходного звена $\Delta\varphi_3$ на примере механизма шарнирного четырехзвенника.

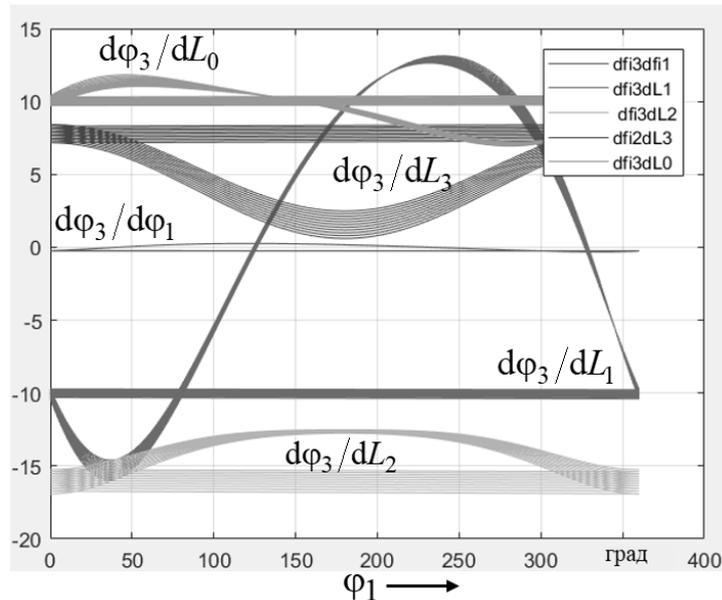


Рис. 3. Графики изменения частных производных

При аппроксимации зависимостей величины допусков на размеры звеньев от заданных инженером-проектировщиком допустимых ошибок положения звеньев учитывались только максимальные ошибки за цикл работы механизма.

УДК 658.562.64

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАЗМЕРА ПО РОЛИКАМ
НАРУЖНОГО ШЛИЦЕВОГО ВЕНЦА
НЕПРЯМОЛИНЕЙНОГО ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Е. Ю. ДЕМИДЕНКО, А. О. СЛАВИКОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время контроль размеров наружного шлицевого венца с непрямолинейным продольным профилем представляет собой сложную задачу из-за особенностей геометрии детали. В таких профилях важно контролировать размеры по всей длине шлицев, включая участки с переменной кривизной. Традиционные методы измерения часто оказываются недостаточно точными или требуют сложных настроек. В этой связи весьма актуальны разработка и внедрение специальных приспособлений для контроля параметра «размер по роликам».

В производственной практике чаще всего применяется набор из микрометра и двух измерительных роликов, размер которых задается конструктором на чертеже. Однако при измерении шлицев на детали с криволинейным продольным профилем ролики будут опираться не на всю боковую поверхность, а только на выступающие участки, что обуславливает покачивание самих роликов, что, в свою очередь, приводит к погрешностям измерения и неверной последующей настройке станка с ЧПУ.

Приспособление для контроля размера по роликам состоит из пары высокоточных калиброванных роликов, установленных на суппортах. Один из суппортов жестко закреплен в корпусе приспособления, а второй суппорт подвижный и через ось с пружиной соединён с рукояткой. Ролики контактируют с противоположными боковыми сторонами зубьев шлицевого венца, фиксируя размер по роликам, заданный чертежом детали. Система оснащена индикатором часового типа на подвижном суппорте, который позволяет измерять отклонения от заданных размеров с высокой точностью. При необходимости можно применять цифровой индикатор или контрольные датчики.

Преимущества такого приспособления включают простоту настройки и использования, возможность автоматизации процесса контроля и интеграции в производственные линии. Приспособление позволяет выполнять измерения в режиме реального времени и оперативно корректировать процесс обработки на станках с ЧПУ. Это существенно снижает процент брака и повышает качество выпускаемой продукции.

Применение данного подхода особенно эффективно в серийном производстве, где стабильность размеров и форм шлицевых венцов имеет критическое значение для долговечности и надежности работы механизмов машиностроительной, сельскохозяйственной и других отраслей промышленности.

УДК 621.9.08, 621.83.06

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

В. С. ДРОЗДОВ, К. В. САСКОВЕЦ

Научный руководитель **А. В. КАПИТОНОВ**, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Актуальной проблемой современного производства является контроль и оценка эксплуатационных характеристик механических передач в сборе при их испытаниях после изготовления. К таким характеристикам относятся также и кинематические характеристики передачи. Существующие стандарты и средства контроля в основном позволяют измерять параметры точности пар зубчатых колес, находящихся в зацеплении. Такой контроль не учитывает влияние всех деталей сборочной единицы и механизма в целом на его кинематическую погрешность. Для контроля передач в сборе разрабатывают специализированные устройства или стенды и методы оценки точности [1]. Эти стенды требуют создания специальных средств автоматизации.

В Белорусско-Российском университете на базе стенда для контроля кинематических погрешностей редукторов разработан аналого-цифровой преобразователь (АЦП), позволяющий получать непрерывный сигнал «напряжение – время» за полный оборот ведомого вала редуктора, в отличие от промышленных АЦП, рассчитанных на сигналы за короткие промежутки времени. В разработанном АЦП также предусмотрено оптимальное число импульсных сигналов для обеспечения необходимой точности измерений параметров контроля. Для обработки сигналов с АЦП разработано программное обеспечение, которое фильтрует от шумов полученные импульсные сигналы и рассчитывает кинематическую погрешность передачи, местную кинематическую погрешность, угловую скорость и угловое ускорение ведомого вала, изменение передаточного отношения за полный цикл вращения передачи. Кинематическая погрешность позволяет рассчитывать кинематическую точность и плавность работы передачи после ее изготовления без нагрузки и с нагружающим моментом на ведомом валу.

Таким образом, разработанные средства автоматизации позволяют расширить информативность стенда и при испытаниях или контроле механических передач дать оценку ряду их кинематических показателей, что способствует повышению эксплуатационных характеристик механизмов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Капитонов, А. В.** Методы оценки точности малогабаритных планетарных передач с промежуточными телами качения / А. В. Капитонов, В. М. Пашкевич // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. – Минск: Объед. ин-т машиностроения НАН Беларуси, 2020. – Вып. 9. – С. 51–54.

УДК 621.9.08

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ПЛАНЕТАРНОГО РАДИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНОГО РЕДУКТОРА

В. С. ДРОЗДОВ, К. В. САСКОВЕЦ

Научный руководитель А. В. КАПИТОНОВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Планетарные радиально-плунжерные редукторы могут иметь шариковое зацепление, при котором сателлиты-шарики перемещаются по беговым дорожкам, замкнутым на плоскости. Оси этих дорожек представляют собой периодические кривые, построенные по уравнению окружности со смещением ее центра. Данные передачи могут иметь как одну, так и несколько ступеней. Передаточное отношение одной ступени принимается от 5 до 30. Эти передачи имеют ряд преимуществ по сравнению с зубчатыми. Их преимуществами являются: небольшие размеры и масса; соосность валов независимо от количества ступеней; неограниченные передаточные отношения, т. к. при соединении ступеней по оси валов используется модульный принцип; технологичность конструкции; возможность достижения высокой кинематической точности. Для этих передач в настоящее время разрабатываются методы и средства повышения точности изготовления и контроля [1, 2].

Проведены экспериментальные исследования таких кинематических параметров, как кинематическая погрешность, местная кинематическая погрешность, угловая скорость и угловое ускорение ведомого вала, передаточное отношение двухступенчатого планетарного радиально-плунжерного шарикового редуктора с передаточным отношением 49 на специальном автоматизированном стенде. Исследования проводились с целью оценки кинематических параметров редуктора после изготовления с заданной точностью его деталей. Детали изготавливались с нормальной экономической точностью. В результате проведенных исследований получены графики кинематических параметров и их амплитудно-частотные спектры, которые позволили установить связи между гармоническими составляющими спектров и точностью изготовления деталей редуктора. Установлено, что кинематическая точность редуктора соответствует зубчатым редукторам средней точности. Проведенные исследования позволили определить пути повышения кинематической точности редуктора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капитонов, А. В. Исследование кинематической точности планетарных роликовых передач методами гармонического анализа и контроля в сборе / А. В. Капитонов, С. Г. Черняков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 4 (33). – С. 40–50.
2. Капитонов, А. В. Кинематические и массогабаритные характеристики ресурсоэффективных механических передач. Компьютерное моделирование, экспериментальная оценка / А. В. Капитонов, В. М. Пашкевич. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 248 с.

УДК 546.05;539.23

СОЗДАНИЕ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕГО АНАЛОГА УСТАНОВКИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ DEEP-COAT

Е. К. ЗАБАЛУЕВ, И. А. МУЛИН

Научный руководитель И. А. КРЮЧКОВ, канд. техн. наук, доц.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Развитие промышленности диктует необходимость в разработке новых технологий и создании новых материалов. В рамках широкого спектра научных и исследовательских организаций (передовые инженерные школы) ведутся разработки, позволяющие получать продукцию на уровне европейских аналогов и тем самым выполнять задачи по созданию системы импортозамещения.

Одним из направлений импортозамещения является создание наноструктурированных поверхностей для нужд различных отраслей промышленности. Разработаны сотни составов, позволяющих эффективно получать наноповерхности на основе оксидов кремния, титана, алюминия и пр.

Традиционная схема DEEP-COAT имеет единую камеру приготовления и подачи золь-гель раствора (производные кремний или титанорганических соединений) и камеру вытягивания, оборудованную захватным механизмом для фиксации подложки и вытягивания детали из раствора.

В основе проектируемого устройства лежит двухкамерная система, обеспечивающая синтез и поддержание состава/рабочих характеристик золь-гель системы (в том числе выравнивание температуры раствора), а также камера вытягивания и фиксации наносимого покрытия.

Необходимость разделения камер обусловлена в первую очередь отрицательным эффектом температуры на свойства золь-гель систем на основе соединений кремния и титана [1]. Так, в приграничной зоне вытягивания/поддачи золь-гель прекурсора на поверхность (погружение) образуются локальные очаги нагрева раствора (увеличение градиента температуры раствора по высоте), что приводит к интенсификации реакций поликонденсации соединений кремния или титана, образованию сложных, каркасных структур. Данные структуры под действием электростатических сил, а также ввиду серьезного сжатия двойного электрического слоя теряют агрегативную устойчивость и самопроизвольно коагулируют. Описанные процессы существенно снижают качество получаемых покрытий и приводят к образованию «сгустков», которые в процессе нагрева и дегидратации будут давать трещины.

Предлагаемое решение позволит существенно повысить качество получаемых покрытий и сделать шаг к импортозамещению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шабанова, Н. А. Химия и технология нанодисперсных оксидов: учебное пособие / Н. А. Шабанова, В. В. Попов, П. Д. Саркисов. – Москва: Академкнига, 2007. – 309 с.

УДК 621.83.06

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ В МЕХАНИЗМЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ КРИВОШИПОВ
ЦИКЛОИДАЛЬНО-ЦЕВОЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ

С. А. ЗЫЛЬ

Научный руководитель Е. С. ЛУСТЕНКОВА, канд. техн. наук
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

С использованием метода кинестатики получена зависимость для определения нормальных сил, действующих на пальцы ведомого вала редуктора (ведущего вала мультипликатора) в контакте с поверхностями отверстий сателлита механизма параллельных кривошипов (МПК) планетарной циклоидально-цевочной передачи, спроектированной по схеме $k-h-v$ [1]. Максимальное значение силы N определяем по формуле

$$N_{\max} = \frac{T_2}{R_0 \cdot S \cdot \sum_{i=0}^{\text{floor}(0,5 \cdot n_p)} \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot i}{n_p}\right)}, \quad (1)$$

где T_2 – момент на ведомом валу редуктора; R_0 – радиус окружности, где располагаются центры отверстий сателлита и оси пальцев ведомого вала; n_p – число отверстий сателлита (пальцев ведомого вала); floor – оператор выделения целой части числа; S – число параллельных потоков мощности ($S = 1$ или 2).

Полученное выражение позволяет определить контактные напряжения, оценить прочность МПК [2] и определить силы, действующие в контакте сателлита с роликами центрального цевочного колеса. При $T_2 = 50$ Н·м, $R_0 = 32,5$ мм, $n_p = 6$ и $S = 1$ максимальная сила составила $N_{\max} = 888,2$ Н. При снижении числа отверстий до четырех нагрузка возрастает нелинейно: $N_{\max} = 1538$ Н. Радиусы отверстий сателлита не влияют на величину нормальной реакции.

Применение сдвоенного сателлита ($S = 2$), элементы которого устанавливаются на эксцентрики, смещенные друг относительно друга на угол π рад относительно оси ведущего вала (водила), позволяет вдвое снизить нагрузку на сателлит, но повышает требования к качеству изготовления деталей и сборки передачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Lustenkov, M.** Comparative Analysis of Dynamic Characteristics of Spherical and Eccentric Transmissions with a Double-Ring Satellite / M. Lustenkov, I. Khalilov, A. Moiseenko // *Advances in Science and Technology*. – 2024. – Vol. 148. – P. 103–110.
2. **Lustenkov, M. E.** Analysis of contact strength of spherical roller transmission with double-row pinion / M. E. Lustenkov, A. N. Moiseenko // *IOP Conf. Series: International Conference on Mechanical Engineering and Modern Technologies (MEMT 2020)*. – 2021. – Vol. 1118 (2021) 012006. – 6 p.

УДК 004.9:617.751.6

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОККЛЮДЕРОВ

П. С. КЛЯЧКОВА, А. Д. ЛЕВКИНА, Е. В. ЗАЙЦЕВ

Научный руководитель Ж. В. КАДОЛИЧ, канд. техн. наук, доц.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого
Гомель, Беларусь

Современная техника, условия работы, травмы, различные биологические факторы и многое другое – все это привело к тому, что за последние три года количество людей с различными заболеваниями глаз, плохим зрением увеличилось на 40 %. Одним из распространенных и доступных методов лечения и коррекции заболеваний органов зрения является в том числе окклюзионная терапия [1]. Этот метод обычно заключается в наложении на парный глаз специального приспособления (окклюдера). В перечне таких приспособлений значатся окклюдер-повязка, окклюдер-пластырь (патч), окклюдер-насадка. Следует отметить, что все из перечисленных приспособлений обладают недостатками, в числе которых можно отметить недостаточную изоляцию глаза от света, что не позволяет обеспечить полноценное лечение. Кроме того, окклюдер-пластырь является одноразовым, отклеивается при намокании (при запотевании, плаче, по причине плохой адгезии), может вызывать раздражение, а окклюдер-насадка предусматривает крепление только на очки, недолговечен в использовании, просто снимается (очень актуально для маленьких пациентов) и пропускает свет.

Цель работы – разработать модель окклюдера, который будет обеспечивать полную изоляцию глаза от света и прочно крепиться на лице.

Рост внимания к применению аддитивных технологий в медицине и овладение необходимыми для этого компетенциями молодых специалистов обуславливают значительные перспективы внедрения аддитивных технологий на практике, что повлияло на решение использовать в работе методы 3D-сканирования и 3D-печати.

В процессе работы при помощи 3D-сканирования собирались данные о лице заказчика – снимается точный слепок лица, несущий информацию о биологических маркерах, на использовании которых строится конфигурация изделия. Подобный шаг в 3D-проектировании позволяет максимально точно подогнать изделие под рельеф лица и тем самым исключить возможность нарезания, расхождения в размере и в целом улучшить качество лечения (рис. 1).

Для изготовления окклюдера предложено использовать FDM-печать. Данная технология позволяет также создать пористую структуру [2], что обеспечит возможность свободной циркуляции воздуха между окружающей средой и закрытой частью лица пациента, исключая возможность запотевания при ношении данного приспособления.

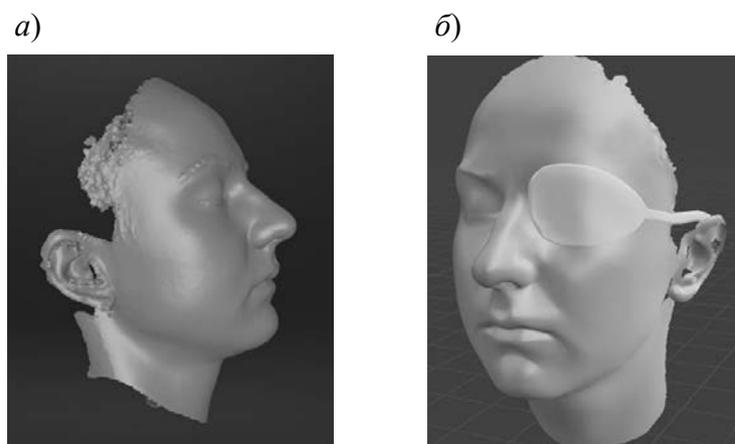


Рис. 1. Сканирование лица (а) и создание модели окклюдера (б) с учетом биометрических данных пациента

При выборе материала для 3D-печати окклюдера учитывали тот факт, что материал не должен вызывать раздражения, аллергии и дискомфорта. Как следствие, разрабатываемая модель окклюдера была разделена на две части:

1) основная, изготовленная из полимера (имеет форму, соответствующую контуру лица и области вокруг глаза, полностью его покрывает и закрывает от внешнего света; в основе создается углубление, соответствующее форме глаза для более удобной и длительной носки, а также для избавления от напряжения, создаваемого трением ресниц при моргании);

2) дополнительная – клейкая поверхность, для которой рекомендовано применять биосовместимый медицинский клей, двухстороннюю клейкую ленту или специальный композиционный материал с эффектом памяти формы.

3D-печать основной части окклюдера была выполнена с использованием PETG – полиэтилентерефталатгликоля, в числе отличительных свойств которого значатся нетоксичность, гидрофобность, способность легко дезинфицироваться [3].

Таким образом, возможности аддитивных технологий позволяют в широких пределах варьировать конструкции различных устройств и подбирать применяемые для них материалы, адаптируя их к конкретной медицинской задаче. Благодаря использованию современных технологий и материалов предложенный вариант дизайна и конструкции окклюдера способен обеспечивать полную изоляцию глаза от света, прочно крепится на лице пациента и обладает эстетичным внешним видом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бирич, Т.** Офтальмология: учебник / Т. Бирич, Л. Марченко, А. Чекина. – Минск: Новое знание, 2021. – 496 с.
2. **Зленко, М. А.** Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – Москва: НАМИ, 2015. – 220 с.
3. **Поздняков, Е. П.** Материалы аддитивного синтеза: пособие / Е. П. Поздняков. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 283 с.

УДК 621.923.4

КОНСТРУКЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПНЕВМОУДАРОМ

В. С. КООВИТ, А. В. МУХА

Научный руководитель Е. В. ИЛЮШИНА, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Упрочняющая пневмоударная обработка отверстий производится шариковым накатником пневмоцентробежного действия на радиально-сверлильном станке. Для предотвращения вращения инструмента в шпинделе станка будем использовать вспомогательный инструмент – муфту для снятия вращения и подвода сжатого воздуха к инструменту (рис. 1).

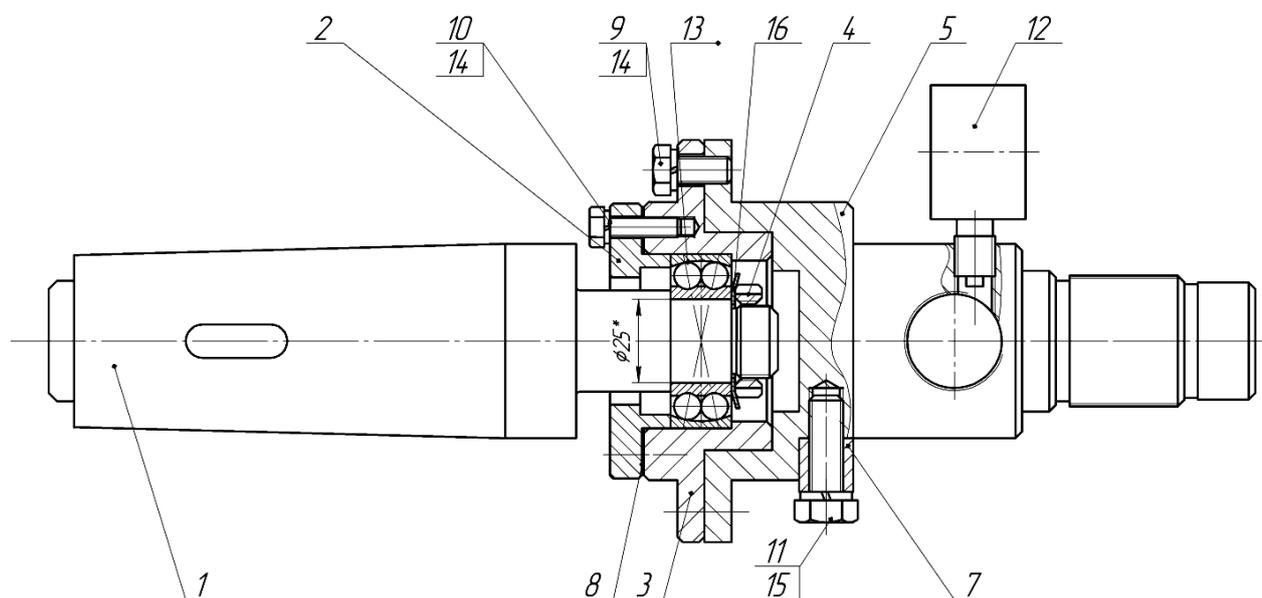


Рис. 1. Конструктивная схема муфты для упрочняющей обработки пневмоударом

Муфта вставляется в шпиндель радиально-сверлильного станка с помощью хвостовика *1*, на резьбовой конец оправки *5* накручивается инструмент для пневмоударной обработки. Хвостовик *1* и оправка *5* соединяются с помощью корпуса *3*, крышки *2*, а также болтов *9–11*. За счет установленного в корпус подшипника *13* муфта позволяет сцентрировать инструмент по диаметру обрабатываемой заготовки, а также снимает вращение с инструмента. Хвостовик *1* проворачивается в шпинделе, не передавая вращение на оправку *5*, в осевое отверстие которой подводится сжатый воздух с помощью трубопровода. Регулировка подаваемого сжатого воздуха осуществляется с помощью крана (не показан) и измеряется манометром *12*.

УДК 666.3

ВЛИЯНИЕ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ОБЖИГА НА ЦВЕТ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В. А. МАНКЕВИЧ, Н. А. ХОРТ

Научный руководитель А. Т. ВОЛОЧКО, д-р техн. наук, проф.

Физико-технический институт НАН Беларуси

Минск, Беларусь

В технологии строительной керамики обжиг изделий является завершающей и наиболее ответственной стадией. В процессе обжига формируются основные свойства керамического материала, определяющие область его применения. В результате обжига керамические изделия приобретают камнеподобность, становятся устойчивыми против механических, физических и химических воздействий.

Основным сырьевым компонентом, применяемым в производстве строительных керамических материалов, является глина. На цвет черепка во многом оказывает влияние химический состав глины: количество и соотношение как основных оксидов (Al_2O_3 , SiO_2), так и примесных, в первую очередь Fe_2O_3 , CaO , MgO и др.

В основном обжиг строительных материалов ведется в окислительной среде, но иногда его ведут при недостатке O_2 , из-за чего в печи образуется восстановительная среда. В производстве декоративной керамики восстановительная среда может формироваться путем добавления восстановителя (опилки, смолы, резины и др.) в зону обжига или «окунанием» изделий в опилки. Однако из-за неравномерности распределения такого восстановителя и, соответственно, затрудненности регулирования газовой среды данные способы не подходят для производства строительной керамики.

Цель работы – исследование влияния газовой среды обжига на цвет изделий и их физико-химические свойства.

Основным сырьевым материалом, используемым в работе, являются глины месторождений «Заполье», «Туровское», «Городное».

Образцы изготавливались методом пластического формования. Пластическую массу получали путем смешивания глин с водой до достижения влажности массы 20 % с последующим вылёживанием массы не менее 24 ч. Формование осуществлялось методом ручной набивки пластической массы в металлические формы в виде кирпичей размером $65 \times 30 \times 15$ мм. После формования была проведена сушка изделий в естественных условиях в течение не менее 24 ч с последующей сушкой в сушильном шкафу при температуре (100 ± 10) °С. Обжиг проводился при температуре 1050 °С на воздухе и в атмосфере N_2 с изотермической выдержкой в течение 1 ч.

Согласно стандартным методикам определялись следующие физико-химические свойства: огневая усадка, водопоглощение, открытая пористость, кажущаяся плотность. Цвет материалов определялся по 1000-цветному атласу ВНИИ им. Д. И. Менделеева.

Огневая усадка керамического кирпича зависит от многих факторов, но в первую очередь от химического и минералогического состава глины. Обычно для каолинов и каолинистых глин значение огневой усадки составляет 2 %...17 %, для гидрослюдистых глин – 9 %...15 %. Огневая усадка образцов, обожженных в атмосфере азота, находилась в интервале 5,6 %...8,0 %, а образцов, обожженных на воздухе, – 7,5 %...10,6 %.

Водопоглощение керамического кирпича и камней должно находиться в пределах 12 %...16 %. Водопоглощение образцов, обожженных в атмосфере азота, составляло 10 %...12 %, для образцов, обожженных на воздухе, – 6,5 %...13,7 %.

Оптимальный показатель открытой пористости для керамического кирпича должен находиться в пределах 15 %...25 %. Открытая пористость образцов, обожженных в атмосфере азота, находилась в интервале 17 %...20 %, для образцов, обожженных на воздухе, – 12,8 %...25,4 %.

Кажущаяся плотность изменяется в зависимости от пористости материала и для керамического кирпича обычно находится в пределах 1600...1900 кг/м³. Значение кажущейся плотности образцов, обожженных в атмосфере азота, находилось в интервале 1655...1835 кг/м³, для образцов, обожженных на воздухе, – 1849...1988 кг/м³.

На рис. 1 приведен внешний вид образцов, обожженных в различных средах. При обжиге в муфельной печи на воздухе цвет изделий варьировался от кремово-оранжевого до светло-розово-кремового, а при обжиге в атмосфере азота – от светло-серого до тёмно-серых цветов. Предполагается, что изменение цвета изделий происходит за счёт реакций восстановления Fe₂O₃ до FeO и Fe₃O₄, протекающих в керамическом черепке.

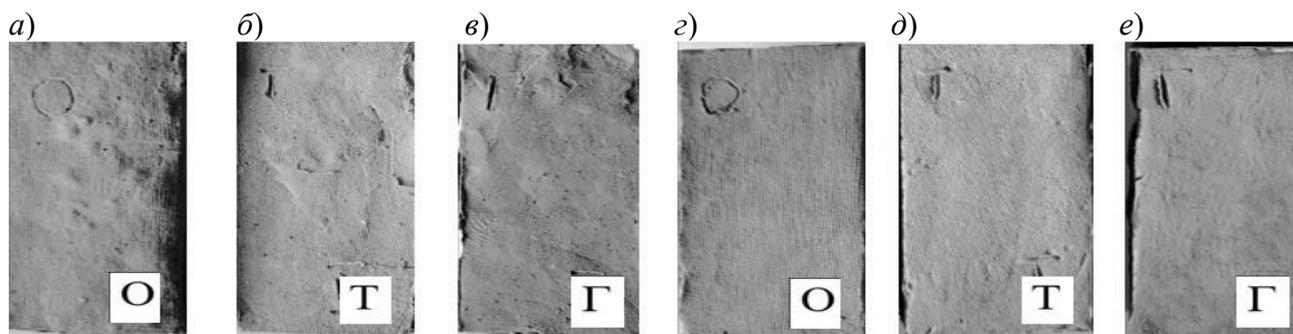


Рис. 1. Влияние среды обжига на цвет изделий: О – глина «Заполье»; Т – глина «Туровское»; Г – глина «Городное»; а-в – обжиг в атмосфере N₂; г-е – обжиг в атмосфере воздуха

В ходе исследования было определено, что изменение газовой среды влияет на цвет материалов. Так, цвет образцов сменился с оттенков кремового на оттенки серого. Кроме того, установлено, что газовая среда влияет на физико-химические свойства полученных материалов. При обжиге в атмосфере азота значения огневой усадки уменьшились на 25 %, кажущейся плотности – на 8 %...10 %. Значения открытой пористости и водопоглощения изменялись незначительно.

УДК 621.01:621.77.04

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АДДИТИВНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И. А. МУЛИН, Е. К. ЗАБАЛУЕВ

Научный руководитель И. А. КРЮЧКОВ, канд. техн. наук, доц.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Аддитивные технологии – относительно новое, но активно развиваемое направление не только металлургической, но и нефтехимической промышленности. Несмотря на уникальные возможности аддитивных технологий, множество предприятий сталкивается с опасениями относительно правильности выбора оборудования и обеспечения его бесперебойного функционирования.

В основе предлагаемой методики выбора аддитивного оборудования лежит квалиметрическая оценка качества принимаемых решений [1]. В качестве входных параметров для выбора аддитивной технологии или оборудования лежат технологические параметры оборудования: потребляемая мощность, производительность, расход реагентов и пр. Весовые коэффициенты отдельных параметров выставляются на основании опроса экспертов и поставщиков оборудования. Задаваемые параметры оборудования, с учетом весовых коэффициентов, сравниваются с базой предлагаемого оборудования и на основе средневзвешенных оценок предоставляется перечень подходящих поставщиков и оборудования.

В качестве дополнительной опции разрабатывается прототип программного комплекса, в котором при помощи методов частично-целочисленного линейного программирования происходит подбор и оптимизация вспомогательных процессов: закупка и поставка расходных материалов и сырья, оптимизация логистики (построение минимального плеча перевозок), организация потоков отходов производства (потенциальные покупатели/переработчики).

Необходимо отметить, что предполагаемый программный комплекс является коммерческим продуктом, который будет предоставляться в открытом доступе (при условии рекламной интеграции) для потребителей аддитивных технологий, но будет иметь ряд инструментов коммерциализации, таких как подписка для поставщиков оборудования/услуг за попадание в базы данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сорокина, И. Д.** Квалиметрическая оценка коагулянтов для очистки воды с использованием геометрической модели / И. Д. Сорокина, А. Ф. Дресвянников, А. Р. Камалиева // Вода: химия и экология. – 2013. – Вып. 11. – С. 80–85.

УДК 67.08

ОЗОНАТОРНЫЙ АППАРАТ С ТЕПЛООБМЕННОЙ СИСТЕМОЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Д. С. ПЛЯЦ

Научный руководитель М. В. ГОНЧАРОВ, канд. техн. наук, доц.
Филиал «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Озонирование является одним из самых эффективных методов очистки и обеззараживания бытовых и промышленных вод. Результативность обработки напрямую зависит от следующих параметров: температура, рН, солевой состав, растворимость реагентов, диаметр пузырьков. Озон имеет довольно небольшую растворимость при нормальных условиях (15 °С...20 °С), что ограничивает эффективность водоочистки [1]. Для устранения данной проблемы необходимо усовершенствование озонаторного оборудования, которое представлено на рис. 1.

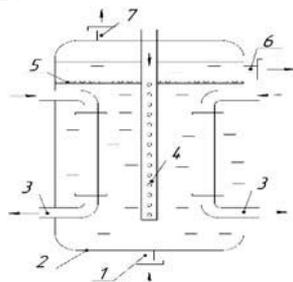


Рис. 1. Озонаторный аппарат

Резервуар представляет собой цилиндрическую обечайку с эллиптическим днищем, барботером озono-воздушной смеси, теплообменными трубами с хладагентом, штуцером ввода и отвода жидкости, штуцером отвода остаточного газа. Сточная вода через патрубок 1 подается в емкость 2, далее начинается подача хладагента в теплообменные трубы 3, а через барботер 4 диспергируется озono-воздушная смесь в виде мелких пузырьков. Озон вступает в реакцию с органическими соединениями и примесями, образуя осадок. При понижении температуры сточной воды за счет хладагента растворимость озона возрастает, тем самым способствуя более эффективному взаимодействию газа с загрязнителями. Для предотвращения уноса образующегося осадка предусмотрена сетка 5. Очищенные стоки выводятся через патрубок отвода жидкости 6, а остаточный газ – через патрубок 7.

Предлагаемое решение позволит существенно увеличить качество очистки сточных вод, снизить потери озона и продолжительность процесса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новикова, М. А. Технические системы обеспечения заданных показателей качества воды / М. А. Новикова, О. Н. Романова, М. Г. Куликова // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: сб. науч. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. – Курск: ЮЗГУ, 2014. – Т. 2. – С. 67–70.

УДК 621.833.12

АНАЛИЗ ТРЕХПОДВИЖНОЙ ВЫСШЕЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПАРЫ «ЗУБЧАТОЕ КОЛЕСО – ЗУБЧАТАЯ РЕЙКА»

Н. А. ПОЛИВОДА, М. М. ЩЕТИНИН, А. А. ПРИХОДЬКО
Кубанский государственный технологический университет
Краснодар, Россия

Зубчато-реечная передача широко применяется для преобразования вращательного движения в линейное перемещение в различных машинах и механизмах: автомобилях (рулевые механизмы), фрезерных и токарных станках, прессах и подъемных механизмах, роботах-манипуляторах и конвейерах [1].

Наиболее распространенным вариантом такой передачи является зацепление зубчатого колеса с плоской рейкой, имеющей эвольвентные профили зубьев [2]. Такое соединение представляет собой высшую кинематическую пару, недостатком которой является ограниченная функциональность, обусловленная наличием только двух степеней свободы.

Предлагается трехподвижная высшая кинематическая пара «зубчатое колесо – зубчатая рейка», в которой зубчатая рейка представляет собой тело вращения, полученное путем поворота вокруг оси вращения эскиза в виде исходного контура зубчатой рейки по ГОСТ 13755–2015 (рис. 1).

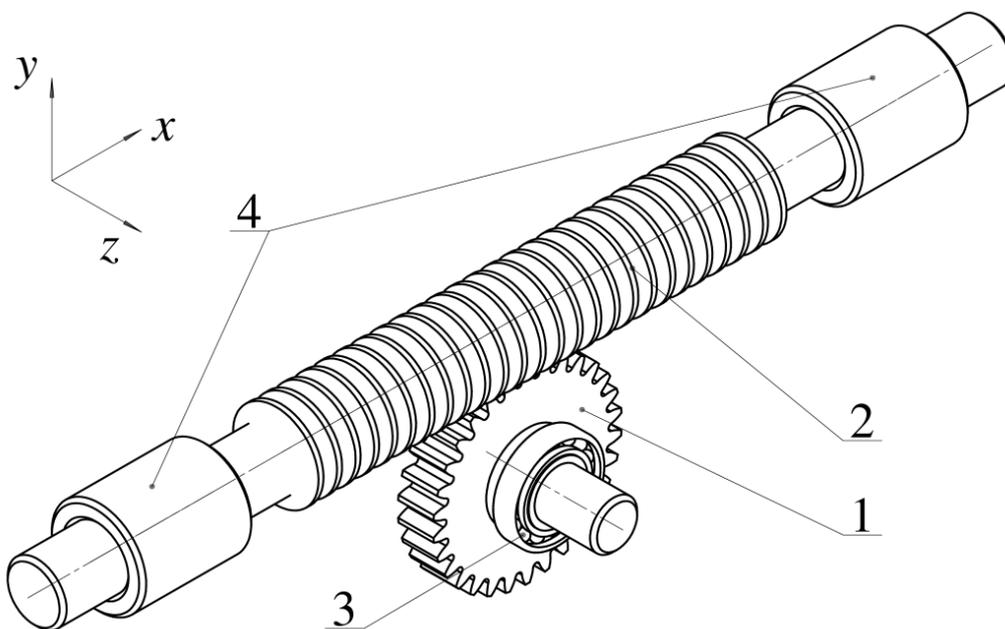


Рис. 1. Трехподвижная высшая кинематическая пара «зубчатое колесо – зубчатая рейка»: 1 – зубчатое колесо; 2 – зубчатая рейка; 3 – вращательная кинематическая пара (подшипник); 4 – цилиндрическая кинематическая пара (линейные подшипники)

Трехподвижная высшая кинематическая пара «зубчатое колесо – зубчатая рейка» работает следующим образом. При повороте зубчатого колеса 1 вокруг оси z зубчатая рейка 2 перемещается вдоль оси x за счет эвольвентного

зубчатого зацепления. За счет выполнения зубчатой рейки в виде тела вращения она имеет возможность вращательного движения вокруг оси x , за счет чего и реализуется дополнительная подвижность в кинематической паре.

В качестве примера на рис. 1 приведен механизм с использованием трехподвижной высшей кинематической пары «зубчатое колесо – зубчатая рейка», имеющий следующие параметры эвольвентного зацепления: угол главного профиля $\alpha = 20^\circ$; модуль $m = 5$ мм без смещения исходного контура; коэффициент высоты головки зуба $h_a = 1$; коэффициент высоты ножки зуба $h_f = 1,25$; шаг зуба $P = 15,708$ мм. Определим подвижность такого механизма с помощью структурной формулы [3, 4]

$$W = \sum_{i=1}^{n-1} ip_i - k\Pi,$$

где k – количество замкнутых независимых контуров, $k = p - n$; p – общее количество кинематических пар; n – количество звеньев; i – подвижность кинематической пары; p_i – количество кинематических пар i -й подвижности; Π – подвижность пространства, в котором существует механизм.

Представленный механизм содержит одну одноподвижную ($p_1 = 1$) вращательную кинематическую пару (подшипник 3), одну двухподвижную ($p_2 = 1$) разнесенную цилиндрическую кинематическую пару (линейные подшипники 4) и трехподвижную высшую кинематическую пару «зубчатое колесо – зубчатая рейка» ($p_3 = 1$), состоит из двух звеньев 1 и 2 и существует в четырехподвижном пространстве с двумя вращательными движениями вокруг осей z и x и двумя поступательными движениями вдоль осей x и y ($\Pi = 4$). Механизм содержит один замкнутый независимый контур ($k = 3 - 2 = 1$). Подставляя полученные исходные данные в формулу подвижности, имеем $W = 1 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 3 \cdot 1 - 1 \cdot 4 = 2$. Следовательно, механизм является двухподвижным и может быть приведен в движение от двух приводов, один из которых вращает зубчатое колесо 1, а другой вращает рейку 2, при этом положение механизма однозначно определяется двумя обобщенными координатами φ_z и φ_x .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Прокшин, С. С.** Зубчато-реечная передача с гиперболоидным зацеплением / С. С. Прокшин, С. М. Минигалеев, В. Р. Мухамадеев // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. – 2016. – Т. 20, № 4 (74). – С. 32–37.
2. **Кожевников, С. Н.** Механизмы: справочник / С. Н. Кожевников, Я. И. Есипенко, Я. М. Раскин; под ред. С. Н. Кожевникова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1976. – 784 с.
3. **Смелягин, А. И.** Структура механизмов и машин / А. И. Смелягин. – Москва: Высшая школа, 2006. – 304 с.
4. **Приходько, А. А.** Структурный синтез перемешивающих устройств с возвратно-вращательным движением рабочих органов / А. А. Приходько, А. И. Смелягин // Вестн. Дон. гос. техн. ун-та. – 2015. – № 4. – С. 69–75.

УДК 621.833.5:621.51

ДИНАМИКА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА С ПЛАНЕТАРНЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ

Н. А. ПОЛИВОДА, М. М. ЩЕТИНИН, А. А. ПРИХОДЬКО

Кубанский государственный технологический университет

Краснодар, Россия

Энергия сжатого воздуха широко применяется в автомобильной индустрии, ремонтных мастерских, сервисных службах для работы различного пневматического инструмента: гайковертов, дрелей, отрезных и шлифовальных машин, при проведении операций мойки, покраски, пескоструйной обработки [1]. Получение сжатого воздуха в поршневом компрессоре реализуется путем преобразования вращательного движения вала электродвигателя в возвратно-поступательное движение поршня, которое чаще всего осуществляется посредством кривошипно-ползунного механизма, основными недостатками которого являются большие габариты и малый коэффициент объема привода, невозможность полного уравнивания механической системы.

Известны конструкции планетарных передач, реализующих возвратно-поступательное движение, и примеры машин на их основе [2]. Зубчатые механизмы являются одним из самых компактных типов передач, обеспечивающих высокую нагрузочную способность.

Целью работы является динамический анализ поршневого компрессора с исполнительным механизмом возвратно-поступательного действия, полученным путем объединения планетарного механизма с эллиптическими зубчатыми колесами [3] и передачи «зубчатое колесо – зубчатая рейка». Конструкция компрессора (без корпуса) показана на рис. 1.

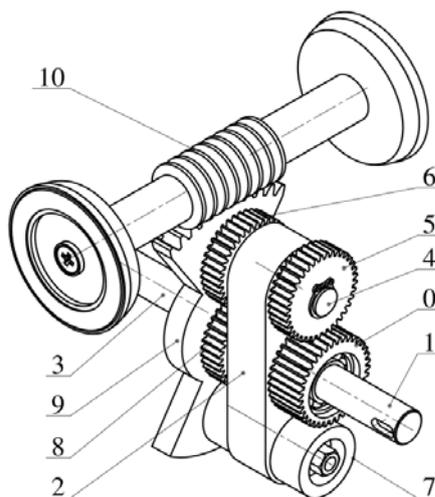


Рис. 1. Конструкция предлагаемого планетарного зубчатого механизма компрессора: 0 – солнечное эллиптическое зубчатое колесо (неподвижно); 1 – входной вал; 2 – водило; 3 – выходной вал; 4 – вал сателлита; 5, 6 – эллиптические шестерни сателлита; 7 – противовес; 8 – эллиптическое колесо; 9 – зубчатый сектор; 10 – зубчатая рейка с поршнями

Анализируемый компрессор имеет следующие параметры (обозначения звеньев по рис. 1): $I_{об} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $I_1 = 2,747 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $I_2 = 460,168 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $I_3 = 2,543 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $I_4 = 1,709 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $m_4 = 70 \text{ г}$, $I_5 = I_6 = I_8 = 15,042 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $m_5 = m_6 = 76 \text{ г}$, $m_7 = 222 \text{ г}$, $I_9 = 533,681 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $m_{10} = 661 \text{ г}$, диаметр поршня $D = 64 \text{ мм}$, допускаемый коэффициент неравномерности вращения $[\delta] = 0,15$. Частота вращения вала электродвигателя составляет 1500 об/мин. Исследование проведено при давлении нагнетания $p_n = 9 \text{ атм}$.

Динамический анализ проводился путем приведения всех масс и моментов к звену приведения (входному валу 1) и замены реального механизма одно-массовой динамической моделью. В результате анализа методом энергомасс получены требуемый из условия равенства работ движущих сил и сил сопротивления момент двигателя $M_d = 12,316 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и закон движения звена приведения $\omega_1(\varphi_1)$ (рис. 2).

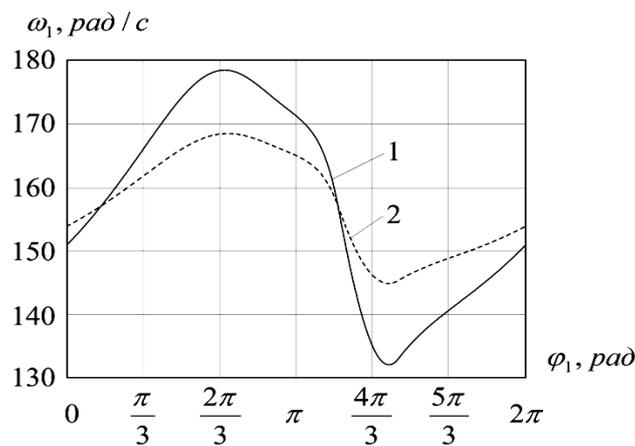


Рис. 2. Графики изменения угловой скорости звена приведения без установки (1) и с установкой (2) маховика

Как видно из графика угловой скорости, для снижения неравномерности вращения вала двигателя до допускаемого значения $[\delta] = 0,15$ в данной машине требуется установить маховик. Рассчитан момент инерции маховика ($I_{\max} = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$) и получен закон движения звена приведения с учетом установки маховика, анализ которого показывает снижение неравномерности вращения до допускаемых пределов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пластилин, П. И.** Поршневые компрессоры: в 2 т. Т. 1: Теория и расчет / П. И. Пластилин. – Москва: Колос, 2000. – 456 с.
2. **Massimo, С.** Experimental analysis and thermo-fluid-dynamic simulation of a reciprocating compressor with non-conventional crank mechanism / С. Massimo, G. Bonaventura // Energy Procedia. – 2017. – Vol. 126. – P. 1139–1146.
3. Планетарный механизм преобразования вращательного движения в возвратно-вращательное: пат. RU 2616457 / А. А. Приходько, А. И. Смелягин. – Оpubл. 17.04.2017.

УДК 621.74

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ НА ГИДРАВЛИЧЕСКУЮ ПЛОТНОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАГОТОВОК

А. А. ПРОТАЦКАЯ

Научный руководитель В. В. СМИРНОВ

Филиал АО «ОДК» «НИИД»

Москва, Россия

Алюминиевые сплавы, наряду со сталью и чугуном, являются на сегодняшний день основными конструкционными материалами в технике. Тонкостенное литье алюминиевых сплавов, как известно, сопровождается зачастую повышенной пористостью отливок, что влечет за собой снижение герметичности, механических и эксплуатационных свойств, таких как надежность (безотказность, сохраняемость, долговечность), эксплуатационная технологичность (техническая обслуживаемость, ремонтпригодность), готовность к применению и живучесть (эксплуатационная, боевая).

Объектом исследований является технология изготовления тонкостенных алюминиевых отливок методом литья под низким давлением. В настоящий момент требования по толщине стенки к отливкам корпусных деталей из алюминиевых сплавов для новых изделий составляют $\sim 3,5...4$ мм, что возможно обеспечить только с использованием прогрессивных литейных технологий. Применение данной технологии позволит управлять скоростью потока расплава в полости формы за счет регулирования величины избыточного давления в плавильной камере установки, что особо важно для улучшения заполнения форм тонкостенных отливок. Также наличие избыточного давления на расплав в процессе кристаллизации обеспечивает усиленное питание отливки и влечет за собой повышение ее плотности [1].

Литье под низким давлением – это баланс между технологиями литья под высоким давлением и гравитационного литья. Сравнение рентгеновских снимков детали «крышка» из алюминиевого сплава АК7пч (рис. 1) наглядно демонстрирует преимущество использования технологии литья под низким давлением. В результате применения технологии гравитационного литья получаемая отливка имеет множественные поры, разрывы и по рентгеновскому контролю бракуется, при этом изготовление этой же детали «крышка» технологией литья под низким давлением обеспечивает качественную отливку.

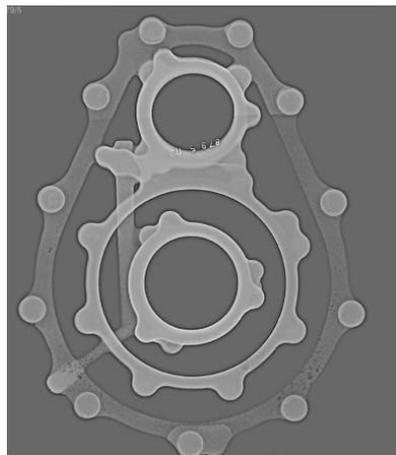
В литом состоянии в структуре сплава присутствуют $\alpha(\text{Al})$ -твердый раствор (светлая часть), Si, а также темные округлые включения Mg_2Si по границам дендритных ячеек α -твердого раствора доэвтектического силумина (рис. 2).

В табл. 1 представлен химический состав сплава АК7пч.

Табл. 1. Химический состав сплава АК7пч

Химический элемент	Si	Fe	Mg	Ti
Содержание химических элементов, %	7,27	0,22	0,27	8,09

а)



б)

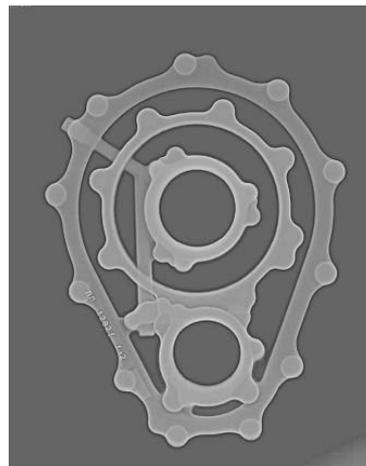


Рис. 1. Рентгеновские снимки детали «крышка» из алюминиевого сплава АК7пч: а – гравитационное литье; б – литье под низким давлением

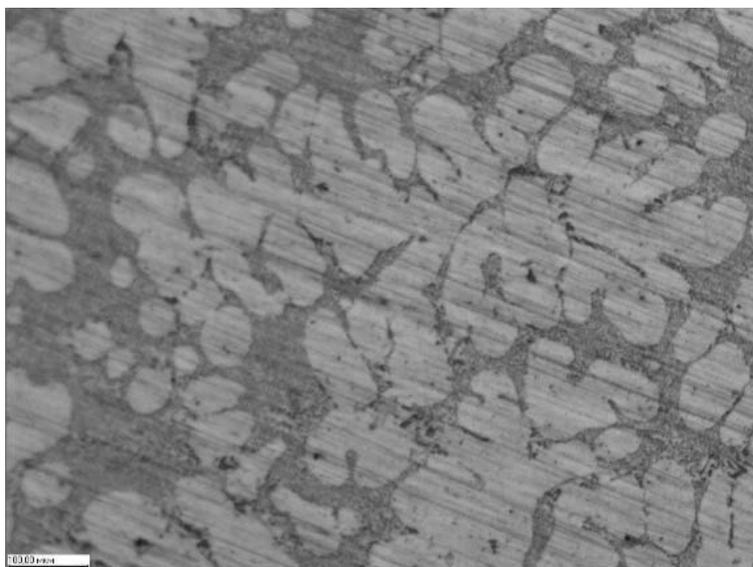


Рис. 2. Микроструктура сплава АК7пч

Сравнение рентгеновских снимков отливки, полученной гравитационным литьем и литьем под низким давлением, показало, что второй способ литья позволяет получить более качественную, плотную отливку, удовлетворяющую техническим требованиям на данный вид заготовок. Метод обеспечивает точность размеров и предупреждает образование пористости заготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мошкин, Ю. Б.** Литье под регулируемым давлением / Ю. Б. Мошкин. – Москва: Моск. гос. авиац. технол. ун-т им. К. Э. Циолковского, 1995. – 3 с.

УДК 621.787

ОЦЕНКА ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ВАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИМПУЛЬСНО-УДАРНЫМ НАКАТЫВАНИЕМ

М. В. ТАРАДЕЙКО

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

Высокая износостойкость ответственных поверхностей деталей машин позволяет сохранять работоспособность механизмов в течение длительного времени, поэтому ее повышение является важной задачей промышленности.

Для оценки износостойкости поверхностей вращения деталей исследованию подвергали две партии образцов в виде цилиндров $\varnothing 43 \times 100$ мм из стали 35 (180...200 НВ), модифицированных способом импульсно-ударного накачивания и в состоянии поставки. Все образцы начисто протачивали в размер $\varnothing 43_{-0,16}$ мм с обеспечением шероховатости поверхности Ra 2,0...2,4 мкм. Затем первую партию образцов модифицировали способом импульсно-ударного накачивания, а поверхность второй – шлифовали на станке до шероховатости Ra 0,6...0,8 мкм.

Режимы модифицирования первой партии образцов: частота вращения детали $n_d = 800 \text{ мин}^{-1}$; подача инструмента $S = 0,1 \text{ мм/об}$; смазочно-охлаждающая жидкость – масло индустриальное 45. Шероховатость поверхности детали после модификации составляла Ra 0,67...0,85 мкм.

Характеристики обрабатывающего инструмента: диаметр шаров внешней кольцевой камеры – $\varnothing 15$ мм, внутренней кольцевой камеры – $\varnothing 12$ мм; материал шаров – ШХ 15 (62...65 HRC); количество шаров внешней кольцевой камеры – 15 шт., внутренней кольцевой камеры – 17 шт.; материал цилиндрических постоянных магнитов – NdFeB; индукция магнитного поля намагниченной поверхности детали – 0,20...0,25 Тл.

Оценку износостойкости поверхности определяли с использованием метода искусственных баз: на исследуемую поверхность наносили «лунку» и измеряли ее глубину при помощи профилометра-профилографа Surftest SJ-210 (Япония) по мере износа образцов, а в дальнейшем износ определяли как разность начальной и текущей глубин базы.

Износ производили путем прижатия к исследуемой поверхности притира из серого чугуна СЧ 25 (170...190 НВ) усилием 100 Н. После каждых 5 мин испытаний притир отводили и измеряли глубину базы (износ). За величину предельного диаметрального износа была принята величина, равная половине поля допуска обработанной детали.

Оценочные исследования показали, что модификация способом импульсно-ударного накачивания повышает износостойкость поверхностей вращения деталей из стали 35 (180...200 НВ) на 8 %...17 % по отношению к шлифованным поверхностям.

УДК 664+642

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ И РОБОТИЗАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МОРОЖЕНОГО

А. С. ТЕРЕХОВ

Научный руководитель Г. В. КОРОТКОВА, канд. биол. наук, доц.
Филиал «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Для индустрии мороженого инновационными решениями, для повышения эффективности производства, будет использование автоматических линий и роботизации, которые позволят оптимизировать процессы производства, снизить затраты и при этом сохранить вкусовые качества продукта [1].

Процесс автоматизации возможно внедрить на каждом этапе производства мороженого. Использование автоматических машин и аппаратов способно обеспечить точное выполнение операций, а также повысить безопасность на производстве [2].

Интересным решением оптимизации процесса упаковки будет использование роботизированных машин, что значительно ускорит данный процесс и снизит процент брака. За последние годы робототехника всё чаще находит своё применение в пищевых производствах, и индустрия мороженого не исключение. Роботы способны выполнять задачи непрерывно и с большой скоростью, что, в свою очередь, позволяет увеличивать объёмы производства [3]. Они также снижают потребность в ручном труде, уменьшая уровень брака, связанного с человеческим фактором. При этом роботы применимы в условиях, которые являются очень опасными для человека. Это помогает избежать травм и несчастных случаев, повышая общую безопасность предприятия.

Самыми передовыми нововведениями на производстве сейчас являются интернет вещей (IoT) и искусственный интеллект (AI). Интернет вещей интегрирует оборудование в единую сеть, позволяя осуществлять мониторинг за всеми процессами и этапами производства и непосредственно управлять ими. Применение на производстве искусственного интеллекта помогает оптимизировать операции и упростить анализ данных, получаемых при работе.

Таким образом, внедрение и использование автоматических линий и роботизации в производстве мороженого значительно повышает эффективность процесса, при этом улучшая качество продукта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Клокотов, И. Ю.** Развитие автоматизации и робототехники в современном мире / И. Ю. Клокотов // КиберЛенинка. – 2019.
2. **Рачков, М. Ю.** Автоматизация технологических процессов в пищевой промышленности / М. Ю. Рачков // Пищевая промышленность. – 2017.
3. **Смирнов, В. В.** Автоматизация и роботизация в производстве: текущее состояние и перспективы / В. В. Смирнов // Тр. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2018.

УДК 681.53

АВТОМАТИЗАЦИЯ МАСЛЯНОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ НА НЕФТЕГАЗОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

А. В. УФИМЦЕВ

Научный руководитель А. А. ФИЛИПАС, канд. техн. наук, доц.
Томский политехнический университет
Томск, Россия

Масляные пылеуловители являются одним из важнейших элементов системы вентиляции и очистки воздуха на промышленных предприятиях, где осуществляется обработка масляных или агрессивных жидкостей. Они предназначены для захвата, удержания и очистки воздушных потоков от мелких капель масла и других загрязнений.

В учебно-исследовательской работе рассмотрены математическая модель вертикального масляного пылеуловителя и система автоматического регулирования масла в нем. Изучены основные принципы работы пылеуловителя, а также разработана математическая модель, позволяющая описать процессы очистки воздушного потока от масла.

Также рассмотрена система автоматического регулирования уровня масла в пылеуловителе, которая позволяет поддерживать оптимальный уровень масла для эффективной очистки газа. Изучены основные компоненты системы регулирования, принцип ее работы.

Работа позволяет наиболее подробно рассмотреть принципы работы масляных пылеуловителей и систем регулирования масла в них, а также разработать эффективные методы и алгоритмы для оптимизации процесса очистки газа.

На рис. 1 изображен масляный вертикальный пылеуловитель, имеющий форму цилиндрического резервуара со сферическими днищами. Устройство работает на основе метода «мокрого» улавливания пыли, функционирует путем пропускания газа через жидкость для удаления механической взвеси [1].

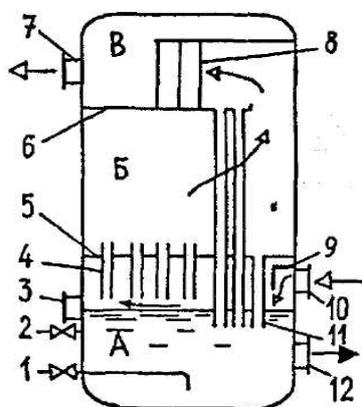


Рис. 1. Вертикальный масляный пылеуловитель

В данную систему автоматического регулирования входят следующие элементы: ПИД – регулятор; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; АД с частотным регулированием – блок, который включает в себя частотный

преобразователь и асинхронный двигатель; ДУЖ – датчик уровня жидкости; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; задвижка; масляный пылеуловитель, являющийся объектом управления [2].

Моделирование производилось в среде Simulink. Для того чтобы сформировать модель, необходимо определить передаточные функции всех звеньев, входящих в САУ. Объектом управления является пылеуловитель, с которого снимается показание давления. На входе в него стоит исполнительное устройство [3].

Для настройки ПИД-регулятора составим структурную схему в Simulink. Входным воздействием является единичное ступенчатое воздействие. Значение «1» отображает величину необходимого уровня жидкости в масляном пылеуловителе. Поэтому на графике переходного процесса по оси Y отражена относительная величина. Модель системы, спроектированной в Simulink, представлена на рис. 2.

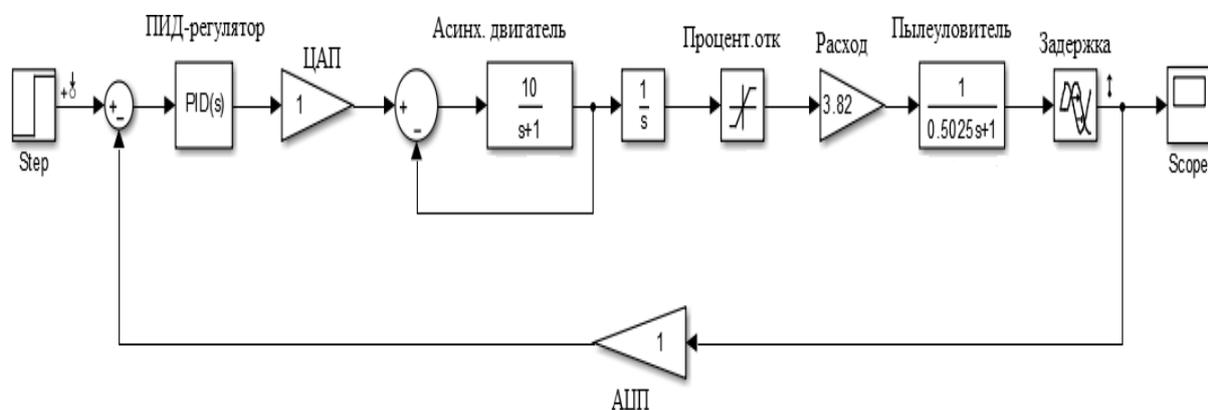


Рис. 2. Структурная схема САУ в Matlab

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование закона управления системой регулирования подачи топлива парового котла с учетом требований экономии энергоресурсов при управлении [Электронный ресурс] / А. А. Журавлев [и др.] // Проблемы региональной энергетики. – 2005. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-zakona-upravleniya-sistemoy-regulirovaniya-podachi-topлива-parovogo-kotla-s-uchetom-trebovaniy-ekonomii-energoresursov>. – Дата доступа: 24.04.2024.
2. Сидорова, А. И. Технические решения снижения уровня механических примесей в природном газе [Электронный ресурс] / А. И. Сидорова, А. Н. Егоров, М. Г. Куликова // Современные материалы, техника и технологии. – 2015. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnicheskie-resheniya-snizheniya-urovnya-mehnicheskikh-primesej-v-prirodnom-gaze>. – Дата доступа: 23.07.2024.
3. Воронцов, Ю. С. Циклонно-пенный аппарат для комплексной подготовки газа при управлении [Электронный ресурс] / Ю. С. Воронцов, В. В. Арсеньев // Проблемы региональной энергетики. – 2016. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsiklonno-pennyyu-apparat-dlya-kompleksnoy-podgotovki-gaza>. – Дата доступа: 13.06.2024.

УДК 621.86.062

РАЗРАБОТКА ВАКУУМНОГО ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ВЫБОРКИ МАРМЕЛАДНЫХ ИЗДЕЛИЙ

А. А. ЧЕРНЕНКОВА

Научный руководитель Г. В. КОРОТКОВА, канд. биол. наук, доц.
Филиал «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Процесс выборки мармеладных изделий из форм является важным этапом в производственном цикле мармелада. Эффективные методы выборки обеспечивают сохранение целостности и качества продукции, минимизируя повреждения и деформации.

Основой работы вакуумных захватных устройств (рис. 1) служит явление вакуумного эффекта, которое заключается в образовании пониженного давления на определенном участке изделия. Основная деталь – вакуумная присоска, которая при прикосновении с изделием образует между поверхностью и своими стенками замкнутое пространство – камеру. При создании разрежения в этой камере на площади, ограниченной стенками присоски, можно получить положительную разницу давлений, способную удержать изделие на захвате [1].

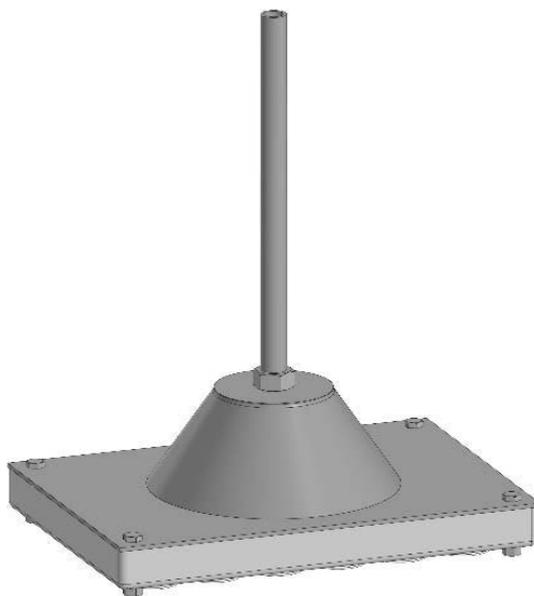


Рис. 1. 3D-модель вакуумного захватного устройства

Применение вакуумного захватного устройства обеспечивает надежность и точность операций по захвату и перемещению мармеладных изделий, что способствует оптимизации производственного процесса и снижению трудозатрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Агарков, А. М.** Вакуумные захватные устройства / А. М. Агарков, Д. С. Межуев, Д. С. Прохоров // Инновационная наука. – 2017. – № 5. – С. 44–46.

УДК 004.925.84:615.472:616.35

ОПЫТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО МЕДИЦИНСКОГО ИНСТРУМЕНТА

Д. С. ЧУВАШОВ, А. А. КАШПЕРОВ

Научный руководитель Ж. В. КАДОЛИЧ, канд. техн. наук, доц.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого
Гомель, Беларусь

Применение 3D-технологий является не только мировым трендом сегодняшнего дня, но и соответствует нескольким позициям, определённым Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 г. № 156 «Приоритетные направления научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг.».

Известно, что использование 3D-моделирования и печати в медицине позволяет в настоящее время изготавливать практически все виды протезов, различного рода медицинский инструмент, выращивать органы и ткани, получать лекарственные формы и т. д.

Сидячий, малоподвижный образ жизни, неправильное питание, инфекции, травмы, плохая генетика и экология, влияние производственных факторов – все это может послужить появлению у человека очень распространенных в настоящее время заболеваний проктологического характера (геморрой, анальная трещина и т. д.) [1]. Для диагностики и лечения вышеуказанных проблем врач-проктолог использует различное оборудование/инструментарий: лапароскопы, колоноскопы, эндоскопы, anosкопы, лазерные аппараты, электрокоагуляторы и т. д. Для каждой из указанных позиций – своя статистика относительно удельного веса использования представленных на рынке разновидностей. Имеют место также эргономические и функциональные проблемы используемого инструментария, для решения которых необходимо в том числе привлечение специалистов технического профиля.

Цель работы – усовершенствование конструкции anosкопа для приобретения им новых функций и возможностей.

В качестве объекта моделирования был выбран одноразовый полимерный anosкоп, поскольку среди широкой номенклатуры активно используемых в медицинской практике anosкопов [2] серьезный дефицит наблюдается только в данном сегменте инструмента. Для достижения поставленной цели проктологом были сформулированы следующие задачи: закрыть переднее отверстие в anosкопе и убрать ручку для освобождения руки врача.

Для 3D-моделирования в работе использовали программу SolidWorks 2020, которая позволяет создавать точные индивидуальные модели, в том числе и медицинских изделий.

Анализ полученных результатов (создано четыре рабочих варианта) позволил сделать окончательный выбор в пользу конструкции с «язычками» (рис. 1). Целесообразным было также добавить освещение. Для этой цели рекомендованы диодная LED-лампочка белого холодного света и три щелочные

батарейки-таблетки LR626. Поскольку освещение осуществляется через корпус, в перспективе – провести анализ светового преломления с целью оценки эффективности решения по наличию осветительных устройств.

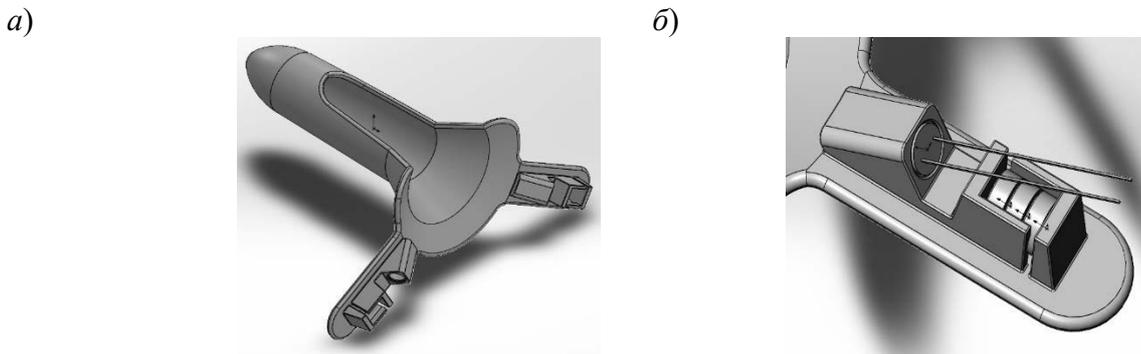


Рис. 1. 3D-модель модернизированного полимерного аноскопа с «язычками» (а) и сборка осветительной части (б)

Технологический процесс 3D-печати разрабатывали в программе Ultimaker Cura. Результатом моделирования стало готовое изделие весом 43 г, время 3D-печати которого при условии использования FDM-технологии и ABS в качестве материала составило 2 ч 45 мин. В числе критериев выбора материала значился факт необходимости проведения стерилизации изделия на финише производственного процесса. Кроме того, ABS устойчив к воздействию на него таких веществ, как щелочь, соль, кислоты, выдерживает механические нагрузки, а также растворяется в ацетоне [3], что позволяет полировать модель и корректировать некоторые геометрические параметры изделия при необходимости.

Таким образом, предложенный вариант одноразового полимерного аноскопа обеспечивает максимально точное и эффективное исследование области прямой кишки, минимизирует риск травмы внутренних органов, а также улучшает эргономические условия клинической практики. Тот факт, что с 2016 г. в Республике Беларусь началось бурное развитие работ в области аддитивных технологий, позволяет надеяться на перспективность разработок, направленных на решение с их помощью проблем импортозамещения, в том числе в области медицины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алексеев, С. А.** Основы колопроктологии: учебное пособие / С. А. Алексеев, В. А. Гинюк. – Минск : Вышэйшая школа, 2019. – 160 с.
2. Аноскопы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://medtehural.ru/oborudovanie/proktologicheskoe-oborudovanie/anoskopy>. – Дата доступа: 10.08.2023.
3. **Панарин, Е. Ф.** Полимеры в медицине и фармации: учебное пособие / Е. Ф. Панарин. – Санкт-Петербург: Политехн. ун-т, 2008. – 192 с.

УДК 621.785

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА СХОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ РАЗЛИЧНОЙ ЧАСТОТЫ ГОРЕНИЯ

А. Н. ЮМАНОВА, М. А. РАБЫКО, С. С. ДУДКИНА

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

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Расчет и моделирование процессов, связанных с упрочнением стальных изделий в плазме тлеющего разряда, в научной литературе широко не рассматривается ввиду многочисленности протекающих процессов и сложности связи их между собой. Поэтому исследование указанного процесса и выявление зависимостей между технологическими параметрами процесса и физической картиной очень актуальны. Задача является более интересной, с точки зрения науки, для процессов с плазмой, горячей при различных частотах тока.

Одним из доступных и наглядных методов, позволяющих получить общую картину процесса, является имитационное моделирование в среде ANSYS Workbench. Однако, с прикладной точки зрения, необходимо установить, насколько результаты имитационного моделирования совпадают с результатами полученных натуральных образцов.

Для проверки сходимости экспериментальных исследований и имитационного моделирования были выбраны следующие образцы из основных групп сталей, упрочненные в соответствии с ранее описанными режимами. Сходимость результатов проверялась при частоте горения $\nu = 100$ кГц, времени обработки $T = 30$ мин, напряжении $U = 2,5$ кВ, силе тока $I = 100$ мА.

В результате комплексного исследования установлено, что частота горения тлеющего разряда напрямую влияет на глубину активного слоя изделия. Установлено, что уменьшение частоты горения разряда приводит к увеличению глубины этого слоя. Однако при обработке с частотой горения ниже 50 кГц наблюдается монотонное уменьшение микротвердости от поверхности к сердцевине изделия. При этом прирост микротвердости поверхности незначителен и находится в пределах погрешности измерения.

Как показали дюрометрические исследования, вследствие обработки тлеющим разрядом с частотой горения 100 кГц наблюдается прирост микротвердости поверхностных слоев до 16 %.

При сопоставлении анализа результатов дюрометрического исследования поверхностного слоя и имитационного моделирования воздействия тлеющего разряда различной частоты горения на глубину активного, а значит, упрочненного, слоя основных групп сталей можно заметить, что они сопоставимы.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДАЮЩИХ СРЕД ПРИ ЗАКАЛКЕ НА СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ХРОМОВЫХ БРОНЗ

АН ЙИН, А. Д. ДОБРОВОЛЬСКИЙ, Д. С. МАХНОВЕЦ
Научный руководитель И. А. ЛОЗИКОВ, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Хромовые бронзы подвергают в основном двум видам термической обработки – отжигу и закалке с последующим старением [1].

Цель отжига – повышение пластичности в процессе изготовления полуфабрикатов холодной пластической деформацией (промежуточный отжиг). Также его применяют перед последующим изготовлением конкретных изделий различными методами обработки давлением с большими суммарными степенями деформации (штамповка, ковка и др.).

Закалку и последующее старение осуществляют для получения оптимального сочетания механических, физических и эксплуатационных свойств. Только в состоянии после закалки с последующим старением возможно в абсолютном большинстве случаев эффективно использовать хромовые бронзы. В других состояниях их свойства значительно хуже. Качество закалки определяется количеством хрома, находящегося в твердом растворе, минимальное содержание которого должно быть более 0,4 % [1].

Основными технологическими факторами, определяющими процесс закалки, как одной из необходимых операций термической обработки сплавов данной группы, являются температура нагрева под закалку, время выдержки в нагретом состоянии для протекания фазовых превращений и последующее охлаждение с требуемой скоростью, которую обеспечивает состав и свойства закалочной среды.

Было проведено исследование влияния применяемых при закалке сред на химический состав, структуру и свойства литых жаропрочных электротехнических хромовых бронз, полученных с применением механически сплавленной модифицирующей лигатуры с высоким содержанием основного легирующего компонента.

Образцы нагревались в лабораторной печи SNOL 30/1100 с PID-регулирующим блоком контроля температуры OMRON E5CN. Для защиты от окисления поверхности заготовок печное пространство продувалось аргоном. В качестве охлаждающих сред при закалке по оптимальному режиму, определенному в предыдущих работах (нагрев до (1000 ± 20) °С, выдержка при этой температуре 60 мин), применяли воду; раствор, содержащий 10 частей $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + 7 частей измельченного льда; раствор, содержащий 1 часть NaCl + 3 части H_2O ; минеральное масло; воздушное охлаждение. Контроль содержания хрома выполняли на спектрографе SPECTROMAXx. Изучение структуры проводилось с использованием сканирующего электронного микроско-

па «TescanVEGA II SBH».

Результаты исследований представлены в табл. 1.

Табл. 1. Влияние охлаждающих сред на содержание хрома в твердом растворе

Номер среды	Состав среды	Температура среды, °С	Содержание Cr, %	Твердость, НВ
1	Вода	20	0,71	69
2	Р-р: 10 ч. CaCl ₂ ·6H ₂ O + 7 ч. измельченного льда	-25	0,74	69
3	Р-р: 1 ч. NaCl + 3 ч. H ₂ O	20	0,72	69
4	Воздушное охлаждение	20	0,28	52
5	Минеральное масло	20	0,70	68

Анализ полученных результатов показывает, что вследствие высокой прокаливаемости медных сплавов критическая скорость охлаждения достигается во всех закалочных средах, кроме воздушной, и все изученные охлаждающие среды не имеют особых преимуществ перед водой. Исследование структуры закаленных образцов подтверждает это (рис. 1).

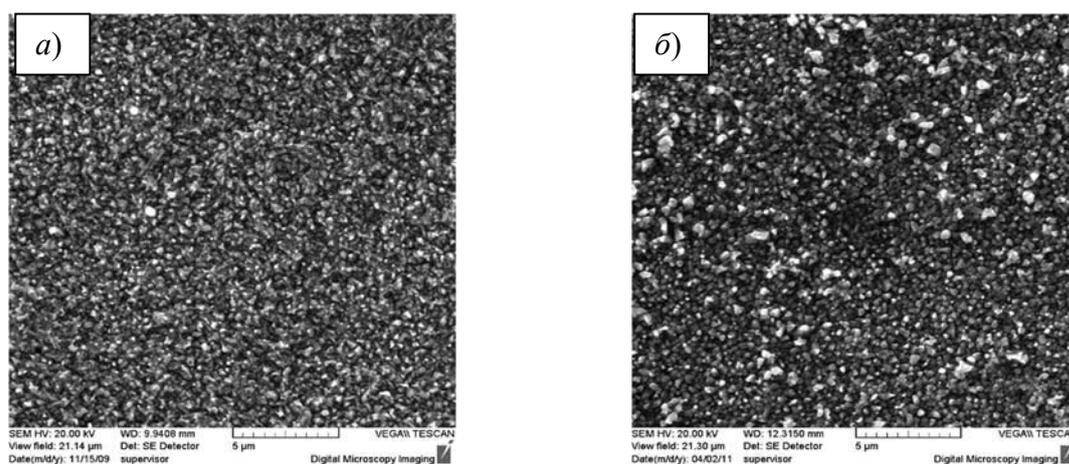


Рис. 1. Структура бронзы после закалки в среде 1 (а) и среде 2 (б)

Структура сплавов относится к микрокристаллическому типу и представляет собой зерна твердого раствора размером 0,2...0,5 мкм, что позволяет сделать вывод о том, что оптимальной закалочной средой при термической обработке модифицированных хромовых бронз является вода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев, А. К. Хромовые бронзы / А. К. Николаев, А. И. Новиков, В. М. Розенберг. – Москва: Металлургия, 1983. – 175 с.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ НДС КРЫШКИ РЕДУКТОРА

М. В. БАРЕЙША

Научный руководитель В. А. КЕМОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Всем известно, что аддитивные технологии очень стремительно развиваются. За последнее время их развитие и внедрение широко шагнуло не только в индивидуальное пользование, но и промышленное производство.

В целях снижения затрат на производство двухступенчатого редуктора с величиной крутящего момента на выходном валу, равным 154,5 Н·м, было предложено заменить крышку проходную, изготавливаемую из серого чугуна СЧ15, на аналогичную, но изготовленную методом аддитивных технологий.

Исследование напряженно-деформированного состояния крышки исследовалось в программном комплексе SolidWorks. Конечно-элементная модель показана на рис. 1.

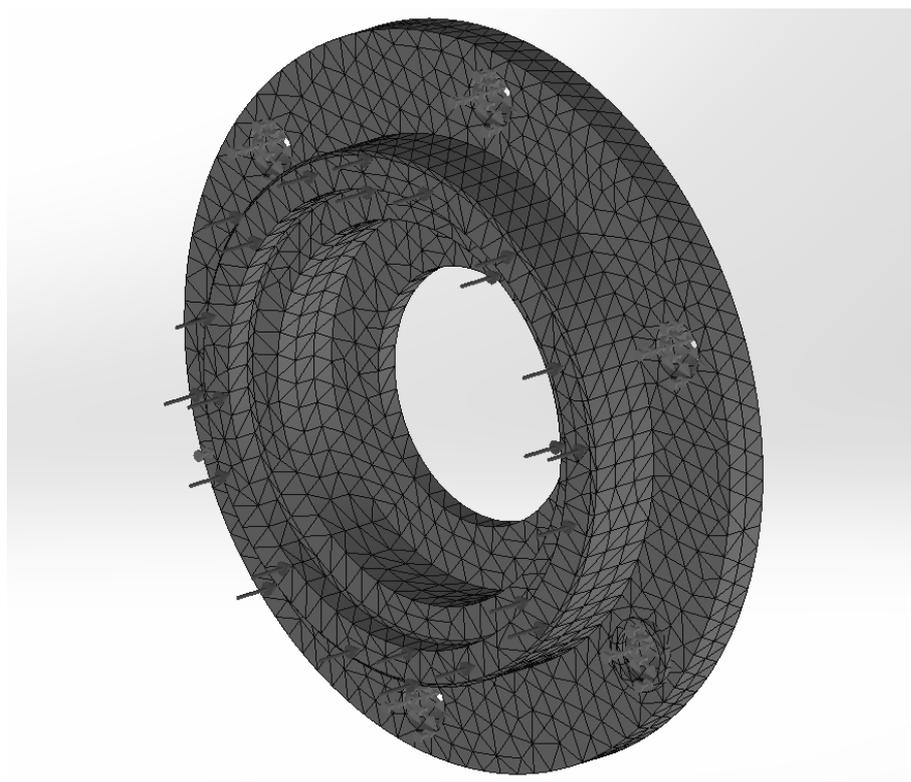


Рис. 1. Конечно-элементная модель

На рис. 2 представлена эпюра распределения нормальных напряжений фон Мизеса для чугунной крышки, на рис. 3 – для крышки из ABS-пластика.

Результаты вычислений показывают, что величины напряжений практически не отличаются, из чего можно сделать вывод о возможном снижении материалоемкости изделия.

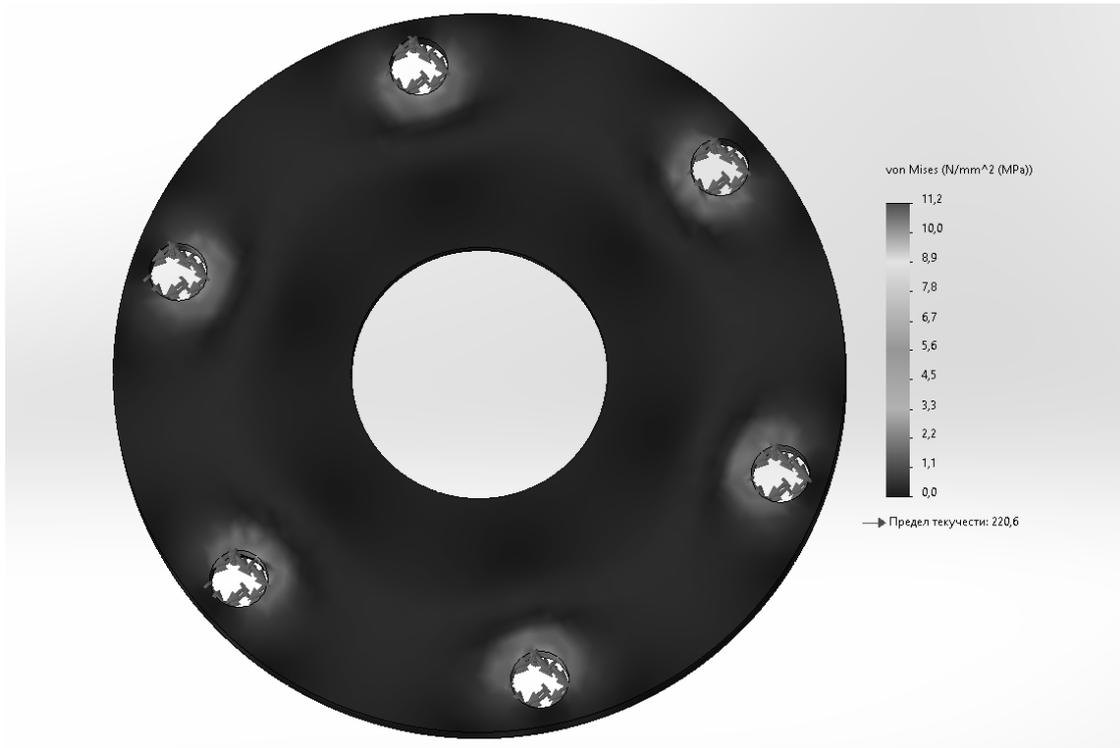


Рис. 2. Эпюра нормальных напряжений для чугунной крышки

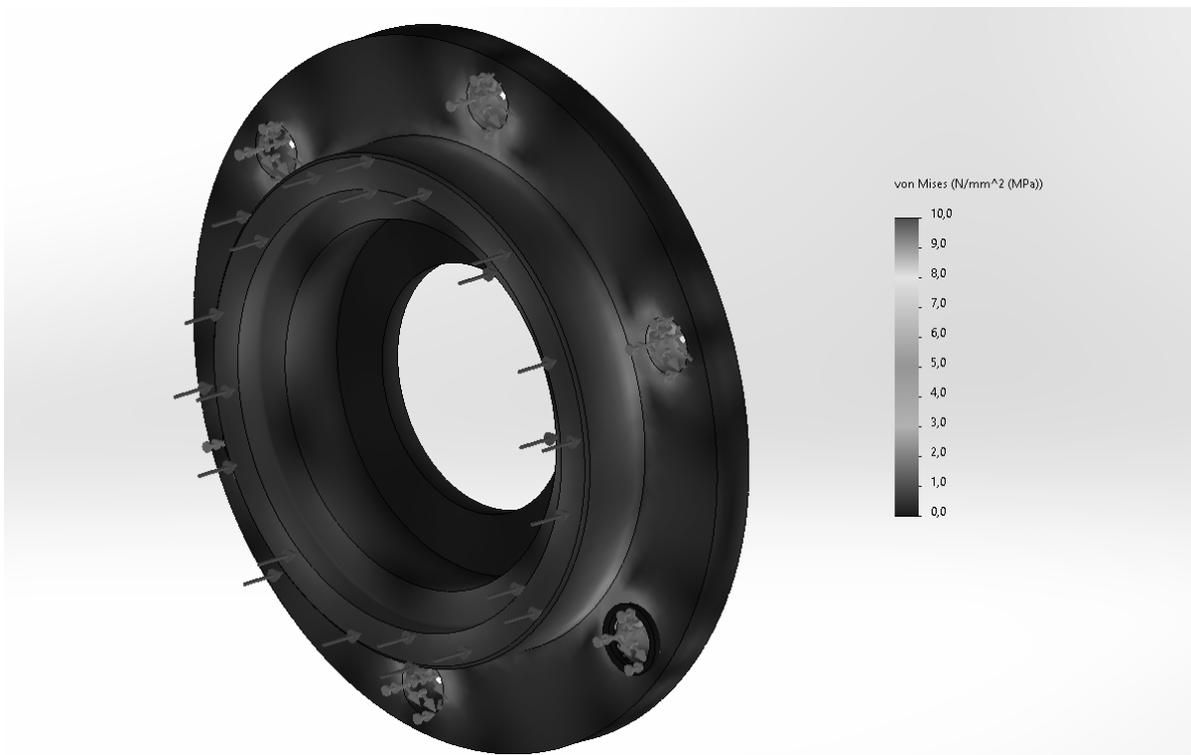


Рис. 3. Эпюра нормальных напряжений для пластиковой крышки

УДК 55.09.43

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ $Al_2O_3-TiO_2-Ni-Al$

В. А. БЕЛЯКОВИЧ, И. К. АНДРЕЕВ, А. С. ОЛЕНЦЕВИЧ
Научный руководитель А. С. ФЕДОСЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Поры в плазменных покрытиях являются одним из важнейших показателей, определяющих их эксплуатационные характеристики, включая прочность, твердость, износостойкость. С целью получения слоев с минимальной пористостью, обеспечивающей наилучший комплекс свойств, был реализован полнофакторный эксперимент, по результатам которого получена математическая зависимость, имеющая вид

$$P = 6 + 3,7x_1 - 3,2x_2 + 7,8x_1^2,$$

где x_1, x_2 – значения факторов, изменяющиеся в интервале от -1 до +1.

Перевод натуральных значений в кодированные осуществлялся по выражениям

$$x_1 = (X_1 - 17) / 0,3; \quad x_2 = (X_2 - 40) / 5,$$

где X_1 – диаметр отверстия подающей трубки, $X_1 = 1,4...2$ мм; X_2 – мощность, потребляемая плазмотроном, $X_2 = 35...45$ кВт.

Графическая интерпретация модели, демонстрирующая зависимость исследуемого параметра от переменных факторов, представлена на рис. 1.

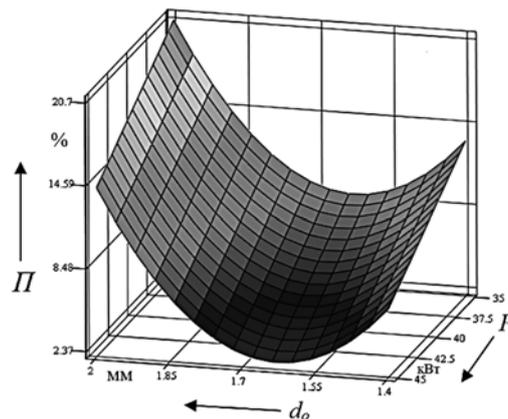


Рис. 1. Зависимость плотности покрытий от диаметра отверстия подающей трубки и мощности, потребляемой плазмотроном

Таким образом, оптимальными условиями напыления металлокерамических порошков будут: диаметр отверстия подающей трубки 1,6 мм; мощность, потребляемая плазмотроном, не менее 45 кВт. При этом дистанция напыления должна составлять 120...140 мм, а размер частиц не более 60 мкм.

УДК 004.94: 621.744

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ ОБРАЗЦОВ
ИЗ МАТЕРИАЛОВ АДДИТИВНОГО СИНТЕЗА

И. Д. БОЧКАРЕВ, М. О. КУЗМЕНКО, Е. П. САМОЙЛОВ

Научный руководитель И. М. КУЗМЕНКО, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Аддитивные технологии, как перспективное направление совершенствования производства изделий различного назначения, широко используют компьютерное моделирование. Для принятия оптимальных инженерных решений при проектировании изделий создаются их модели, а затем анализируются эксплуатационные и другие свойства. Один из важных этапов моделирования – прототипирование модели, которое позволяет создавать функциональные прототипы изделия.

Прототипирование моделей изделий, а также образцов для испытаний, широко используется в механике материалов аддитивного синтеза. Оно позволяет анализировать напряженно-деформированное состояние проектируемого образца на разных этапах разработки его конструктивной формы. Для этого в среде SolidWorks разрабатывается исходная трехмерная модель: САД-модель.

Затем, с применением аддитивных технологий изготавливаются образцы, которые далее исследуются с учетом их внешнего нагружения. В дальнейшем, изменяя компьютерную модель образца (варьируя форму и размеры), т. е. выполняя прототипирование, можно создавать различные физические модели.

Цель работы – разработка компьютерных моделей образцов при их осевом нагружении. Эти модели предполагается использовать для демонстрации особенностей внецентренного нагружения при чтении учебных занятий по дисциплине «Механика материалов».

Базовая модель – стержень прямоугольного сечения, который нагружается силой F , приложенной вдоль его оси (рис. 1, *a*). Размеры образца назначаются в соответствии с ГОСТ 11262–80. Данный образец используется для определения механических характеристик материала аддитивного синтеза.

В некотором сечении по длине образцов выполняется паз (пазы) определенных размеров (рис. 1, *б–г*). Размеры этих образцов и глубина паза a могут быть изменены в соответствии с задачами исследования. Образцы подвергаются действию осевой растягивающей нагрузки F . В зависимости от расположения паза и его размеров образец будет находиться в условиях центрального растяжения или внецентренного растяжения-сжатия.

В результате испытания образца (см. рис. 1, *a*) получают диаграмму растяжения, по которой определяются силы, соответствующие пределам пропорциональности $\sigma_{пр}$ ($F_{пр}$) и прочности σ_B (F_B) материала.

Исходные размеры поперечного сечения образца без пазов определяются из расчета на прочность при центральном растяжении по силе F_B , соответствующей пределу прочности материала образца.

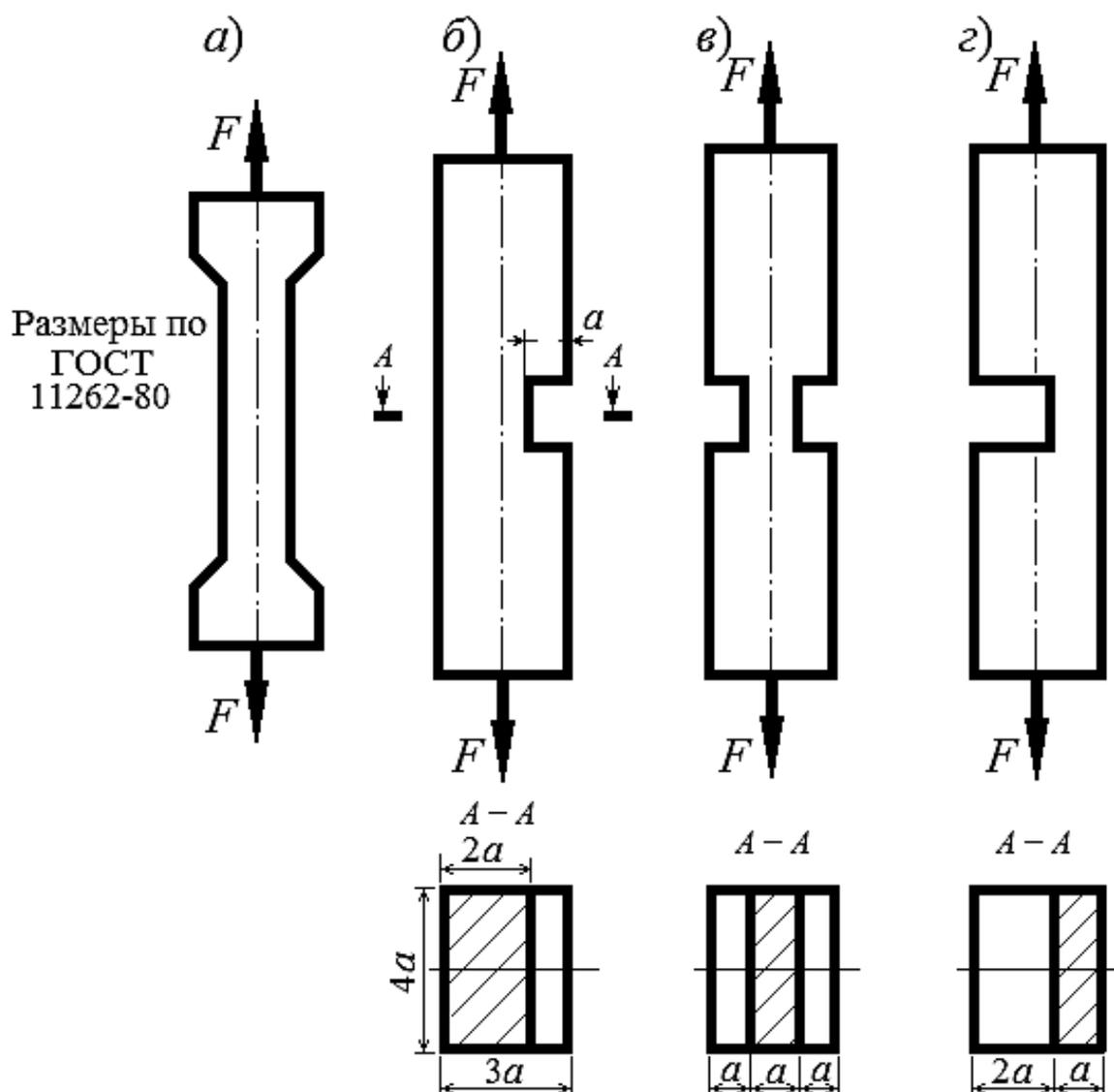


Рис. 1. Схемы образцов (a – глубина паза)

Испытания образцов, представленных на рисунках (см. рис. 1, б–г), выполняются в среде SolidWorks, начиная с минимальной нагрузки $F = 0,5F_{пр}$, и далее ступенчато, через равные приращения до значения $F_{пр}$.

Далее рассматриваются трехмерные модели исследуемых образцов в процессе их нагружения, а также значения нормальных напряжений в разных точках поперечного сечения $A-A$. Результаты исследования сравниваются с результатами расчетов по формулам механики материалов.

Полученные анимационные картины деформирования образцов демонстрируются студентам при рассмотрении раздела «Внецентрированное растяжение-сжатие» дисциплин «Механика материалов», «Сопротивление материалов», «Механика материалов и конструкций» на лекциях, практических и лабораторных занятиях.

УДК 691-408.62

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПВХ-ШПУНТА, ВЫПОЛНЕННОГО ИЗ ВТОРИЧНОГО ПЛАСТИКА

А. С. ВАСИЛЕНКО

Научный руководитель А. П. КРЕМНЕВ, канд. техн. наук, доц.
Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой
Новополоцк, Беларусь

Введение. По оценкам ЮНЕП человечество производит около 460 млн т пластика в год и эта цифра без принятия срочных мер утроится к 2060 г. Ежегодно в мире выбрасывается на свалки 46 % пластиковых отходов и только 15 % перерабатывается. За год в озера, реки и моря попадает 19...23 млн т пластика. Микрочастицы пластика – крошечные пластиковые частицы диаметром до 5 мм – попадают в пищу, воду и воздух. Подсчитано, что каждый человек на планете потребляет более 50 тыс. частиц пластика в год. Возможно, что и гораздо больше, если учитывать их вдыхание. Выброшенный пластик наносит вред здоровью человека и загрязняет все экосистемы – от горных вершин до океанского дна.

Пластиковые изделия нашли широкое применение практически во всех сферах деятельности человека. И полностью отказаться от такого дешёвого, удобного, легкого и достаточно прочного материала в ближайшее время человечество, скорее всего, не сможет. Поэтому решение вопроса экологической безопасности на сегодняшний день в первую очередь связывают с развитием вторичной переработки пластиковых отходов.

В Республике Беларусь развитие способов вторичного использования пластиковых отходов является одной из приоритетных задач. Для решения этой задачи государством выделяются значительные средства, выполняются научные исследования, привлекаются частные инвестиции.

В качестве успешного опыта применения вторичного пластика следует отметить опыт изготовления пластиковых шпунтовых элементов компанией ООО «ПВХ Вест» (РБ). Пластиковый ПВХ-шпунт обладает рядом преимуществ, среди которых следует выделить высокую коррозионную стойкость, легкий вес, простоту установки, электрическую изоляцию, долгий срок службы. Пластиковый шпунт может применяться для усиления грунтовых откосов, укрепления береговой зоны рек, озер, формирование ландшафта на пересеченной территории и т. д.

Компанией ООО «ПВХ Вест» освоено изготовление пластикового шпунта из ПВХ-гранул, полученных путем переработки отходов, образующихся при изготовлении пластиковых окон. При этом прочностные параметры вторичного пластика не уступают первичному.

Основная часть. Для определения прочностных характеристик переработанного ПВХ-пластика в Полоцком государственном университете имени Евфросинии Полоцкой проведены испытания опытных образцов на разрыв. Из шпунта было вырезано два образца гантелеобразной формы.

В процессе испытания контролировались следующие параметры: предел прочности, удлинение при разрыве и модуль упругости. Для контроля необходимых параметров использовались ИЧ 10 со шкалой деления 0,01 мм. Данные индикаторы позволяют получить максимально точные данные (рис. 1).

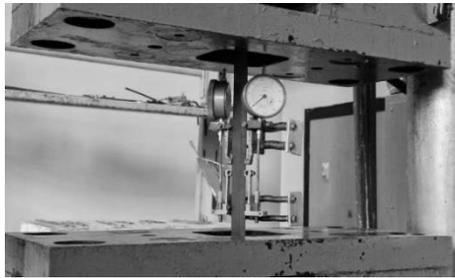


Рис. 1. Образец в процессе испытания

По результатам проведения испытания получены следующие значения предела прочности, удлинения при разрыве и модуля упругости. Для первого образца предел прочности при разрыве $\sigma_u = 1,96$ МПа, для второго образца – $\sigma_u = 1,94$ МПа. Для первого образца удлинение при разрыве $\epsilon_u = 0,03 = 3\%$, для второго образца – $\epsilon_u = 0,028 = 2,8\%$. Для первого образца модуль упругости при разрыве $E = 65,33$ МПа, для второго образца – $E = 69,29$ МПа.

На рис. 2 представлены полученные диаграммы растяжения в системе координат $F-\epsilon_u$, где F – продольная растягивающая сила, кН; ϵ_u – удлинение при разрыве, мм. Как видно из рис. 2, диаграмма имеет три характерных участка: 1-й участок (от 0 до 8 кН) – участок пропорциональности; 2-й участок (от 8 до 12 кН) – участок самоупрочнения; 3-й участок (от 12 до 12,9 кН) – участок разрушения. В точке где нагрузка равна 8 кН, определяется условный предел текучести. Это означает, что при данной нагрузке остаточная (пластическая) деформация составляет 0,2 %.

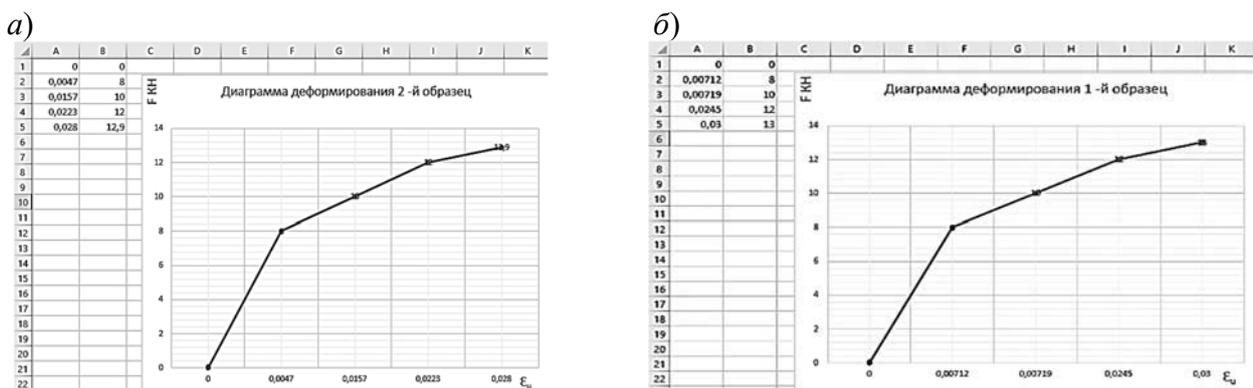


Рис. 2. Диаграммы растяжения первого (а) и второго (б) образцов

Заключение. Полученные данные в результате испытания показывают, что такой ПВХ-шпунт в целом соответствует требованиям прочности и долговечности и может быть использован в строительстве для выполнения ряда задач, таких как ограждение котлованов и траншей, укрепление береговых линий и речных берегов, создание подпорных стен и дамб.

УДК 621.9

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ФОСФОРА ПРЕССОВАНИЕМ

А. А. ЖУРАВЛЕВ

Научный руководитель К. М. НЕСТЕРОВ, канд. физ.-мат. наук

Уфимский университет науки и технологии

Уфа, Россия

В современной индустрии полупроводников обычно используется кремний, но его получение путем восстановления кремнезема углеродом в плавильной восстановительной печи (2000 °С) дорого. Альтернативой этому методу может стать получение полупроводникового материала методом прессования красного фосфора, которое основывается на его аллотропическом превращении в черный фосфор.

Исходный материал – красный фосфор – помещается в пресс-форму и под действием давления 1,2 ГПа и одновременным нагреванием до температуры 250 °С, вследствие аллотропного превращения, приобретает полупроводниковые свойства.

Для замера основных параметров полученного материала изготовлена контактная база из медной оболочки, к которой подводились электроды.

Замер электрической проводимости проводился методом четырехточечного измерения на мостовом приборе Р4833. Четырехзондовый метод замера для определения удельного электрического сопротивления позволяет проводить замеры образца любой формы и при этом исключается влияние электрического сопротивления четырех контактных электродов.

Расчет параметра запрещенной зоны производился по формуле

$$E_g = 2k\text{tg}(\alpha),$$

где k – постоянная Больцмана; α – угол наклона прямой; q – заряд электрона.

Затем, логарифмирование графика зависимости удельной электрической проводимости от обратной температуры дает график наклонной прямой линии, что свидетельствует о наличии собственной проводимости в полученном материале.

Для расчета запрещенной зоны находился угол наклона α графика зависимости удельной логарифмической проводимости $\ln(\sigma)$ от T^{-1} . Значение запрещенной зоны составило $E_g = 0,3$ эВ.

Технология прессования показала, что с ее помощью получают собственный полупроводниковый материал, который может использоваться в электронной сфере и стать альтернативой основной технологии получения полупроводникового материала.

УДК 669.793; 542.06

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДИОПСИДА

А. Д. ЗАЙЦЕВА, С. С. ГАЛАКТИОНОВ, А. Н. КРАСНОЩЕКОВ

Научный руководитель Е. Н. КУЗИН, канд. техн. наук, доц.

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Сложная геополитическая ситуация диктует необходимость поиска новых сырьевых источников для добычи редких и рассеянных элементов. Одним из наиболее востребованных металлов является скандий. Легирование алюминия 2...5-процентной добавкой Sc позволяет существенно повысить эксплуатационные свойства сплава. Сплавы на основе алюминия и скандия нашли широкое применение в медицинской, космической, авиационной и других отраслях промышленности.

Одним из наиболее перспективных источников для добычи соединений скандия является диопсид – магнийсодержащий материал из группы пироксенов. Сернокислотная переработка диопсида позволяет получать кислые магнийсодержащие растворы с содержанием соединений скандия 12...20 мг/дм³ [1, 2].

На первом этапе работ в рамках импортозамещения были разработаны методики аналитического контроля высокоминерализованных (до 200 г/дм³ серной кислоты или 50 г/дм³ смеси солей) растворов с использованием атомно-эмиссионного спектрометра с магнитной плазмой. Данное технологическое решение позволило отказаться от сложной процедуры пробоподготовки и удешевить стоимость анализа [3].

Основываясь на концепции энерго- и ресурсосбережения, первым этапом внедрения инноваций стала замена процесса жидкостной экстракции на твердофазную. Применение импрегнатов на основе макропористых активированных углей позволило отказаться от жидкофазной экстракции с использованием горючих растворителей (керосина). По своей эффективности и селективности импрегнаты не уступают коммерческим твердым экстрагентам, при этом их стоимость в среднем в 5–7 раз ниже [2].

Следующим этапом внедрения новых разработок стало внедрение реэкстрагентов на основе смеси аммонийных солей (фторид/сульфат) или растворов оксиэтилидендифосфоновой кислоты. Степень реэкстракции вновь предлагаемыми реагентами превысила 90 %. Отказ от использования фтороводорода позволил не только повысить уровень экологической безопасности производства, но и существенно снизить себестоимость получаемого скандиевого концентрата.

Не менее актуальным является вопрос осаждения соединений скандия из реэкстрактов. Так, в случае применения указанных выше экстрагентов становится возможным осаждение соединений скандия магний- или кальцийсодержащими материалами (соли/оксиды), при этом эффективность выделения скандия из раствора превышает 95 %.

Заключительным этапом внедрения новых технологических решений является технология нейтрализации маточных растворов, прошедших экстракцию скандия. Нейтрализация свободной серной кислоты бруситсодержащими отходами производства огнеупоров (периклаза) позволила вернуть часть фторидов на стадию вскрытия руды, получить железосодержащее сырье для получения комплексных коагулянтов [4]. Очищенные растворы с содержанием сульфата магния до 500 г/дм^3 направляют на стадию сушки с получением сульфата магния – ценного удобрения.

Принципиальная схема комплексной переработки диопсида с получением широкого спектра товарных продуктов представлена на рис. 1.

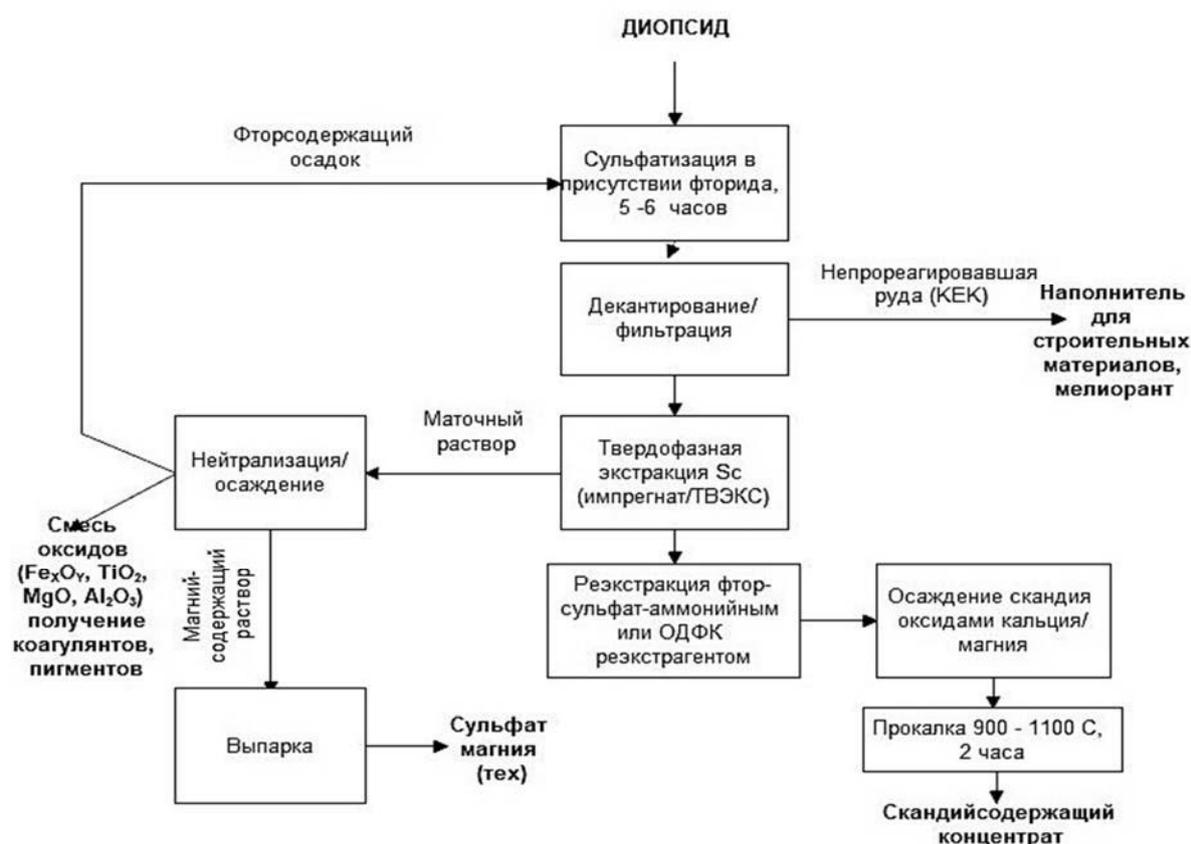


Рис. 1. Комплексная схема переработки диопсида

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нейтрализация сернокислых растворов при комплексной переработке диопсидсодержащих отходов обогащения / Е. Н. Кузин [и др.] // Обогащение руд. – 2019. – № 4. – С. 38–43.
2. Оценка возможности использования твердых экстрагентов на основе ДЭГФК/ТБФ в процессах извлечения скандия из сернокислотных растворов переработки диопсида / Е. Н. Кузин [и др.] // Вестн. технол. ун-та. – 2020. – Т. 23, № 1. – С. 64–67.
3. Кузин, Е. Н. Применение метода атомно-эмиссионной спектроскопии с СВЧ (магнитной) плазмой в процессах идентификации химического состава отходов сталеплавильного производства / Е. Н. Кузин // Черные металлы. – 2022. – № 10. – С. 79–82.
4. Очистка кислотно-щелочных сточных вод гальванического производства с использованием инновационных реагентов / Е. Н. Кузин [и др.] // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2020. – Т. 28, № 3. – С. 37–44.

УДК 66.087.7

КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ ЦИНК-НИКЕЛЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ

Д. В. ЗИНЕВИЧ

Научный руководитель А. М. КУЗЕЙ, д-р техн. наук, доц.

Физико-технический институт НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Введение. Промышленности требуются покрытия, обеспечивающие антикоррозионную защиту деталей различных форм и типоразмеров в широком диапазоне климатических условий эксплуатации, поддающиеся пайке, имеющие различную цветовую гамму. Существующие цинковые покрытия, полученные различными методами, не удовлетворяют этим требованиям, что делает необходимым разработку более эффективных покрытий, технологий для их осаждения. В качестве замены цинковых и кадмиевых покрытий предлагается использовать гальванические цинк-никелевые сплавы.

Методика и оборудование. Электрохимические покрытия системы Zn–Ni наносили из борфторидных электролитов. Составы электролитов: хлорид цинка (150 г/л), хлорид никеля (250...300 г/л), хлорид аммония (40 г/л) (табл. 1). Плотность тока при осаждении покрытий равнялась 4 А/дм². Осаждение покрытий на стальных подложках диаметром 30 мм и толщиной 5 мм проводили в гальванической ванне, расстояние между электродами составляло 15 см, в качестве источника питания использовался прибор НУ310Е-2. Осаждение проводилось без нагрева и перемешивания электролита.

Табл. 1. Составы электролитов для осаждения сплава цинк–никель

Название компонента	Концентрация, г/л	
	Электролит № 1	Электролит № 2
ZnCl ₂	150	
NiCl ₂	250	300
NH ₄ Cl	40	

Исследование морфологии и микроструктуры поверхности покрытий осуществляли на растровом электронном микроскопе VEGA/TESCAN (Япония).

Более стойкими к коррозии являются мелкокристаллические покрытия, полученные из электролитов с высоким содержанием ионов никеля, обработанные в растворе хромирования. Это обусловлено наличием межзерновых трещин у простых покрытий. У обработанных покрытий эти трещины закрыты оксидно-солевой пленкой, состоящей из оксидов хрома и солей цинка и никеля.

Как следствие, потенциал коррозии смещается в более электроположительную область и скорость коррозии уменьшается. Из указанных электролитов при термообработке покрытий на основе цинк-никелевых сплавов с содержанием никеля 8 %...11 % получается достичь максимальную коррозионную стойкость покрытия с сохранением электрохимического характера защиты стальной основы (рис. 1).

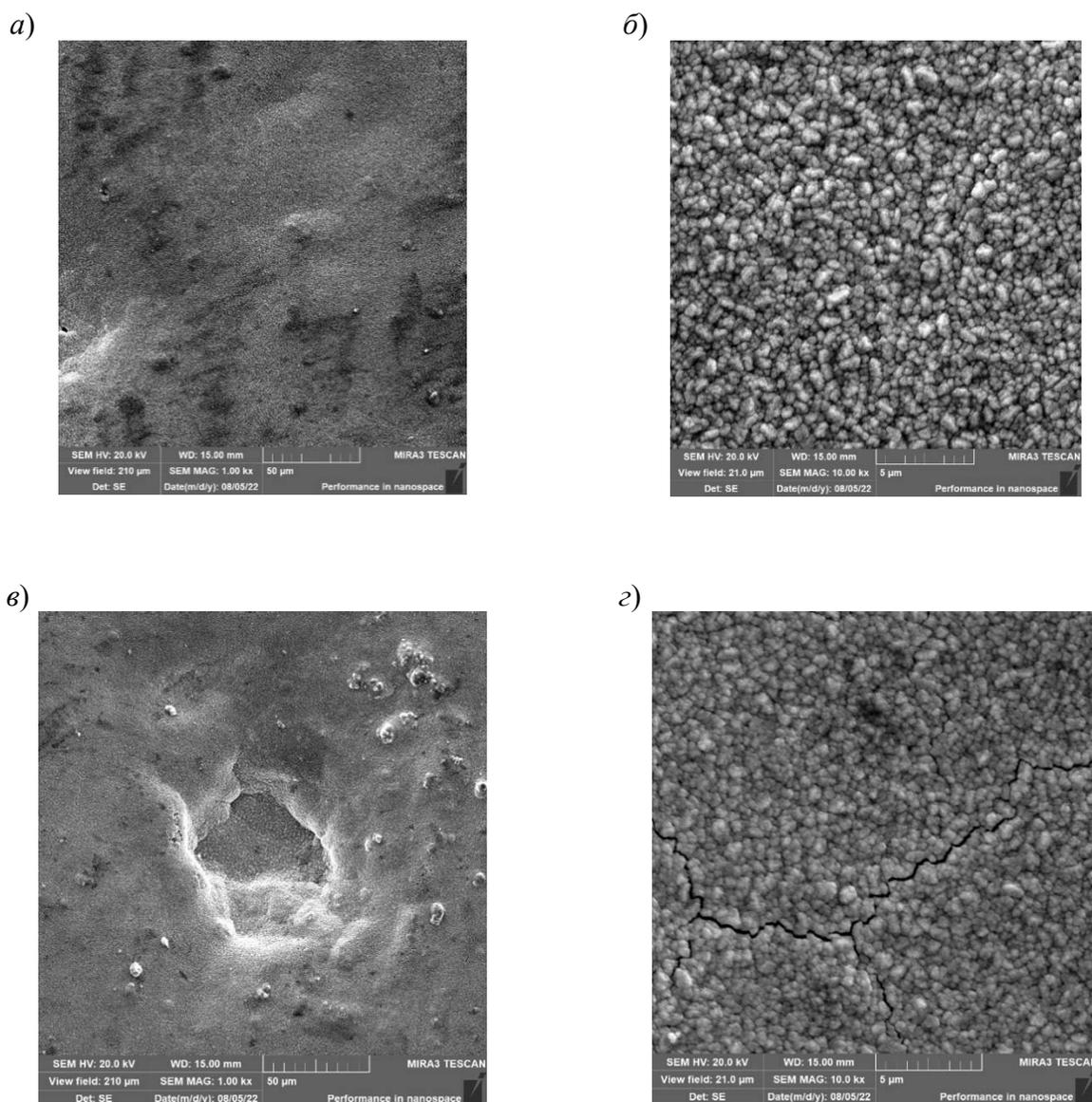


Рис. 1. Микроструктура цинк-никелевых покрытий из хлоридно-аммонийных электролитов: *а, б* – цинк-никелевое покрытие из электролита № 1; *в, г* – цинк-никелевое покрытие из электролита № 2

УДК 620.22:621.763

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

П. В. КЛОЧКО

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

Перспективным направлением создания композиционных функциональных материалов является реализация концепта многоуровневого модифицирования промышленных полимеров, предложенного в работах сотрудников учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» и реализованного в машиностроительных конструкциях – карданных валах, автомобильных амортизаторах и др. Расширение композиционных материалов на основе отечественных термопластов, разработанных на базе этого концепта, позволит в значительной степени обеспечить импортозамещение и будет способствовать инновационному развитию хозяйственного комплекса.

Рассмотрены структурные, реологические и деформационно-прочностные характеристики алифатических полиамидов, модифицированных полиамидной смолой на основе талловой канифоли (ПС) и компонентами, относящимися к наноразмерным. Близкое молекулярное строение ПС и промышленных полиамидов (ПА6, ПА6.6) обеспечивают совместимость матрицы и модификатора при изменении комплекса параметров характеристик (рис. 1). Модифицированные композиты на основе ПА6 обладают более высокими параметрами прочностных и реологических характеристик (см. рис. 1, кривые 1, 2). Очевидно, эффект обусловлен действием ПС, как высокомолекулярного пластификатора, который способствует формированию равновесной структуры и снижению вязкости расплава вследствие особенностей структуры ПС. Полиамидная смола является функциональным компонентом, который существенно может изменить параметры эксплуатационных

характеристик изделий из полиамидов, используемых для изготовления полимерных и металлополимерных конструкций, в том числе специального назначения, выполняя функцию комплексного модификатора, способствующего распределению дисперсных частиц и повышению адгезионных характеристик. Рассмотрена возможность использования ПС в качестве основы праймера для получения функциональных покрытий на основе полиамидов.

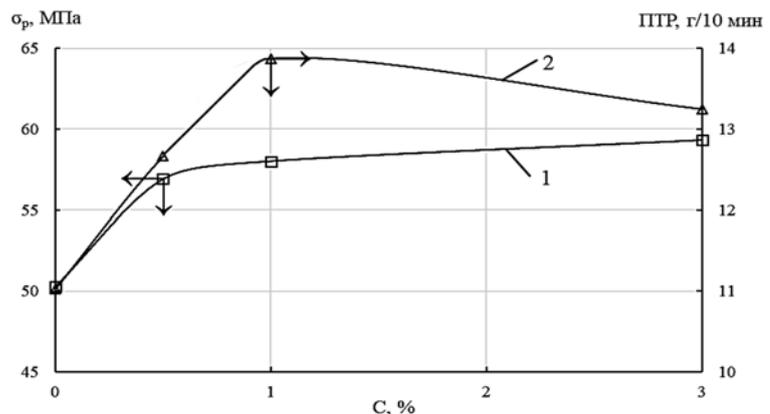


Рис. 1. Зависимость прочности при растяжении (1) и показателя ПТР (2) ПА6 от содержания ПС

Рассмотрена возможность использования ПС в качестве основы праймера для получения функциональных покрытий на основе полиамидов.

Как следует из работ В. Л. Флейшера, Н. В. Черной, М. В. Андрюховой, полиамидная смола на основе талловой канифоли характеризуется наличием функциональных групп $-\text{NH}-\text{CO}-$, которые вступают в адсорбционное взаимодействие, образуя продукт термически устойчивый до 503 К (рис. 2, кривая 1). Термическая обработка модельного образца ПС при температуре 573 К в течение 0,5 ч приводит к интенсифицированию термоокислительных процессов с образованием оксидных групп, которые способны образовывать химические связи с металлической подложкой и адсорбционные связи между макромолекулами (см. рис. 2, кривая 2).

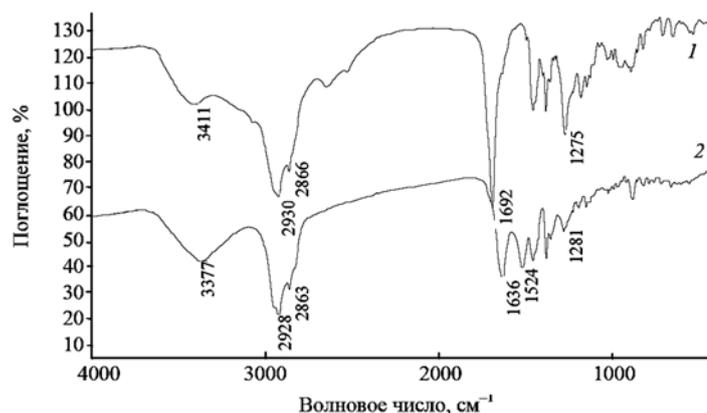


Рис. 2. ИК-спектр полиамидной смолы исходной (1) и термообработанной при температуре 573 К в течение 0,5 ч (2)

Таким образом, ПС может быть использована для формирования праймера в металлополимерных системах «покрытие – подложка», т. к. обладает способностью образовывать адгезионные связи и с металлической подложкой и с полиамидным покрытием благодаря своему молекулярному строению и совместимостью с полиамидной матрицей.

Морфологические исследования праймера, полученного обработкой металлической подложки водным раствором ПС или композицией на ее основе, показывают развитую структуру поверхностного слоя, способную активизировать адгезионное взаимодействие с полиамидным покрытием из ПА6, ПА11, ПА12 по механизму, близкому к действию праймера Primgreen. Для исследований использовали наноразмерные углеродсодержащие частицы (УДА, УДАГ), целлюлозосодержащие частицы (ацетидцеллюлозу, микроцеллюлозу, карбоксилцеллюлозу), продукты термолиза формиатов (оксалатов) меди.

Исследования показали, что наноразмерные частицы различного состава и технологии получения оказывают комплексное влияние на структурно-технологические параметры композиций на основе ПА6. Установлено изменение параметра вязкости расплава и параметров деформационно-прочностных характеристик, что свидетельствует об образовании адсорбционных связей физического типа между наночастицей и полиамидной макромолекулой. Формирование таких связей уменьшает активность макромолекулы в процессах взаимодействия с кислородом, увеличивая стойкость композита к воздействию повышенных температур.

УДК 628.31

СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ТИТАНСОДЕРЖАЩЕГО КОАГУЛЯНТА

Е. Н. КУЗИН

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

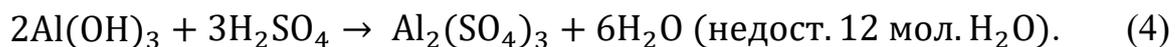
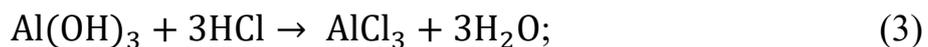
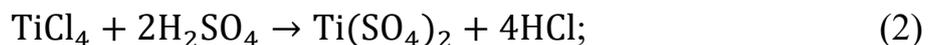
Вопросам очистки сточных вод уделяется достаточно много внимания. Рост промышленного производства и сокращение запасов пресной воды диктуют необходимость поиска новых высокоэффективных реагентов для инженерной защиты гидросферы.

Традиционные реагенты на основе солей алюминия и железа, несмотря на относительно высокую эффективность, не способны решать поставленные перед ними задачи [1]. Новым витком эволюции коагулянтов являются соли титана. Высокоэффективные реагенты, работающие в широком диапазоне рН, обладающие низкой токсичностью, способны полностью заменить алюминий и железосодержащие реагенты. Однако крайне высокая стоимость существенно тормозит их повсеместное внедрение [2].

Выходом из сложившейся ситуации может стать использование комплексных титансодержащих реагентов, полученных модификацией традиционных коагулянтов добавкой соединений титана [3, 4].

Цель работы – презентация технологии синтеза комплексного титансодержащего коагулянта, а также выбор потенциальных направлений его применения.

В основе предполагаемой технологии синтеза комплексного титансодержащего реагента лежат реакции гидролитического разложения тетрахлорида титана с получением соляной кислоты и коллоидного гидроксида титана (реакция 1), реакция обменного разложения тетрахлорида титана под действием серной кислоты (реакция 2), нейтрализации свободной соляной кислоты гидроксидом алюминия (реакция 3), а также реакция образования сульфата алюминия из гидроксида алюминия и серной кислоты (реакция 4).



Наиболее стабильной формой сульфата алюминия будет 18-водный кристаллогидрат, при этом недостающую влагу сульфат алюминия получит из водных растворов тетрахлорида титана, реализуя тем самым механизм химической дегидратации. Применение данного процесса позволит отказаться от сушки и существенно снизить себестоимость получаемого комплексного реагента.

Процесс синтеза ведут в реакторе с нагревом при температуре реакционной смеси 80 °С...90 °С. В реактор вводят водный раствор тетрахлорида титана и гидроксид алюминия, а затем, при постоянном перемешивании и нагревании, вводят серную кислоту. Варьируя соотношение гидроксид алюминия – тетрахлорид титана + серная кислота, становится возможным изменение доли модифицирующей добавки соединений титана. Данные о составе двух образцов, полученных по описанной методике синтеза, представлены в табл. 1.

Табл. 1. Состав образцов комплексных титансодержащих коагулянтов

Содержание, масс. %			
AlCl ₃ ·6H ₂ O	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	Ti-комп.	Нераств. часть
5,7	91,7	2,5	0,1
10,5	84,6	4,8	0,1

Апробацию полученных образцов комплексных реагентов проводили на сточной воде установки газоочистки линии изготовления минеральной ваты Московской области. Исходное содержание взвешенных веществ – 857 мг/дм³, рН – 8,36. В качестве образца сравнения использовали традиционный коагулянт – сульфат алюминия. Полученные в результате эксперимента данные представлены в табл. 2.

Табл. 2. Остаточные концентрации загрязняющих веществ

Реагент	Доза коагулянта, мг (МехОУ/дм ³)					
	10	20	30	40	50	60
Сульфат алюминия	790	650	390	110	65	12
Комплексный коагулянт	680	450	97	49	5,6	4,5

Как видно из представленных данных, комплексный титансодержащий коагулянт позволяет не только минимизировать остаточные концентрации взвешенных веществ, но и сократить дозировку коагулянта. Повышенная эффективность обусловлена процессами поликонденсации соединений титана (флокуляцией), а также явлением зародышеобразования (нейтрализационная коагуляция).

На основании полученных данных сформулировано предположение, что комплексные реагенты могут быть эффективны для очистки сточных вод пищевой, нефтехимической, металлургической и других отраслей промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Moussas, P.** Advances in coagulation/flocculation field: Al- and Fe-based composite coagulation reagents / P. Moussas, N. Tzoupanos, A. Zouboulis // Desalination and Water Treatment. – 2011. – Vol. 33. – P. 140–146.
2. **Thomas, M.** Efficiency of titanium salts as alternative coagulants in water and wastewater treatment: Short review / M. Thomas, J. Bağ, J. Królikowska // Desalination and Water Treatment. – 2020. – Vol. 208. – P. 261–272.
3. Titanium-Containing Coagulants in Wastewater Treatment Processes in the Alcohol Industry / E. Kuzin [et al.] // Processes. – 2022. – Vol. 10, № 3.
4. Модификация титанового коагулянта сульфатным способом / Н. Е. Кручинина [и др.] // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 24–27.

УДК 620.171.2

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБИДА И НИТРИДА ГАФНИЯ

Е. Д. КУЗЬМЕНКО

Научный руководитель С. В. МАТРЕНИН, канд. техн. наук, доц.
Томский политехнический университет
Томск, Россия

В проведенном исследовании изучены образцы керамики на основе карбида, нитрида и карбонитрида гафния. Данные образцы получены методом горячего прессования при температуре 2000 °С, давлении 40 МПа и времени выдержки при заданной температуре 15 мин. Исследуемые материалы относятся к термостойким материалам, в связи с высокой температурой плавления, и обладают значительными прочностными характеристиками. Данные свойства определялись при проведении испытаний методом Scratch Testing на приборе NanoIndenter G200. Данный метод заключается в нанесении на исследуемую поверхность царапины индентором при линейно возрастающей нагрузке и последующем снятии параметров профиля наведенной царапины, как показано на рис. 1.

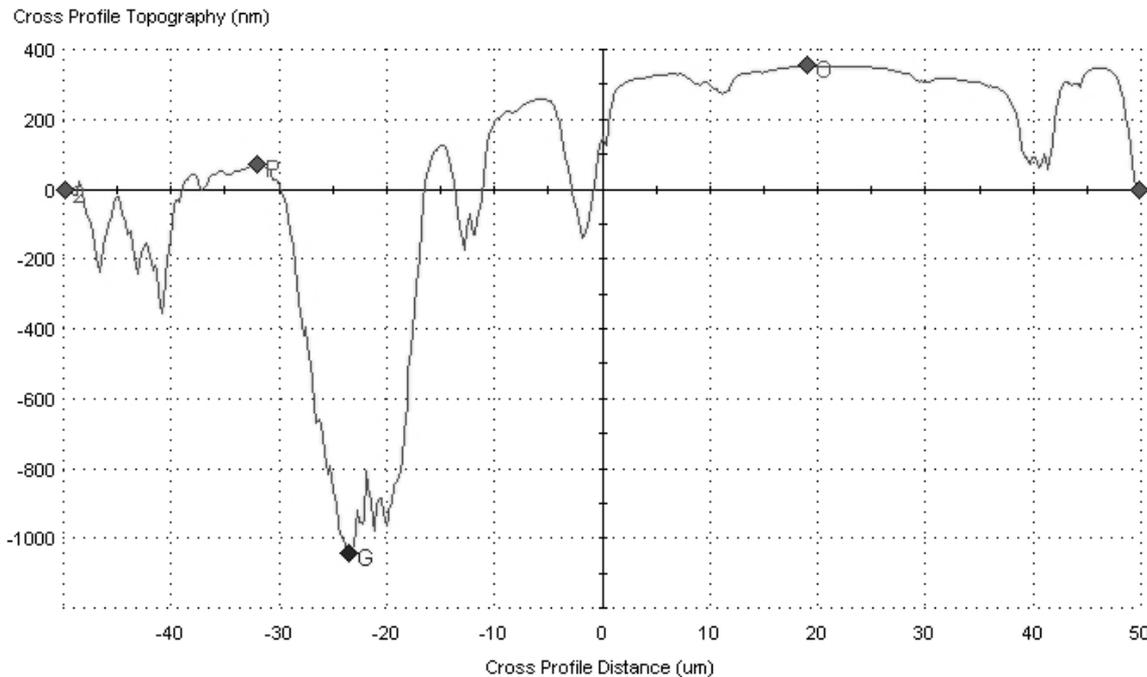


Рис. 1. Профиль наведенной царапины методом Scratch Testing

В результате проведенного эксперимента установлено, что прочность исследуемых образцов увеличивалась с увеличением содержания азота в исходной смеси компонентов до значений в 711,12 МПа, что связано с повышенной прочностью связи между азотом и гафнием из-за увеличенной разницы электроотрицательности между азотом и углеродом.

УДК 544.72.023.2: 547-327

СУПЕРГИДРОФОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА КРЕМНИЯ И ПОЛИЦИАНОАКРИЛАТА

З. С. ЛИВОНОВИЧ, К. С. ЛИВОНОВИЧ

Научный руководитель А. Е. СОЛОМЯНСКИЙ, канд. хим. наук, доц.
Институт химии новых материалов НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Введение. Супергидрофобные покрытия представляют научный и технический интерес, обусловленный их широким спектром применений [1]. Супергидрофобные покрытия (краевой угол смачивания (КУС) водой $\geq 150^\circ$) получают различными методами, к которым относится центрифугирование (spin-coating), метод прокатки (rod-coating), метод окунания (dip-coating) или послойное осаждение (layer-by-layer). Использование метода rod-coating позволяет контролировать толщину покрытий, сформированных из полимерной суспензии [2]. Слой гексадецилтриметоксисилана (ГЕМС) позволяет создать покрытия, проявляющие гидрофобные свойства (КУС водой больше 90°), при этом сформированный на поверхности рельеф позволяет дополнительно повысить КУС водой до значений больше 150° .

Цель работы – создать супергидрофобные покрытия из наночастиц диоксида кремния, полиэтилцианоакрилата (ПЭЦА) и олигомеров ГЕМС.

Материалы и методы. Покрытия на основе наночастиц оксида кремния (диаметр частиц ~ 10 нм, Aldrich) и этилцианоакрилата (ЭЦА, Navr 505, Беларусь) формировали на кремниевых пластинах прямоугольной формы площадью $1,5 \text{ см}^2$ методом прокатки (rod-coating) с использованием направляющих с заданной толщиной 0,3 мм. Для формирования покрытий наночастицы оксида кремния диспергировали в этилцианоакрилате погружным ультразвуковым диспергатором (УЗГ13-0,1/22, Беларусь). Полученную суспензию с различным содержанием оксида кремния наносили на кремниевые подложки с последующей полимеризацией ЭЦА и образованием ПЭЦА. Слои SiO_2 с ЭЦА обрабатывали парами триэтиламина в течение 10 с. Для придания покрытиям SiO_2 – ПЭЦА гидрофобных свойств на их поверхность наносили олигомеры ГЕМС (о-ГЕМС), которые получали гидролизом метоксигрупп ГЕМС эквимольным количеством воды в гексане в присутствии хлороводорода. Гидролиз проводили в грушевидной колбе на 50 мл при температуре кипения гексана и постоянном перемешивании в течение 80 мин. Полученный о-ГЕМС осушали на роторном испарителе (10 мм рт. ст., 15 мин) и растворяли фракцию димеров и тримеров ГЕМС в гексане. Раствор о-ГЕМС наносили на слои SiO_2 – ПЭЦА и центрифугировали со скоростью 3000 об/мин в течение 1 мин.

Изображения капли воды объемом 3 мкл на поверхности образцов получали с помощью микрокамеры «DigiMicroscope» и определяли КУС водой с использованием программного обеспечения ImageJ, содержащим плагин определения угла по профилю [1]. Морфологию образцов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на приборе JSM6000 (JEOL, Япония).

Результаты и обсуждение. Композиционные покрытия SiO_2 – ПЭЦА/о-ГЕМС имеют пористо-текстурированную поверхность, образовавшуюся при полимеризации ЭЦА и воздействии паров триэтиламина (рис. 1).

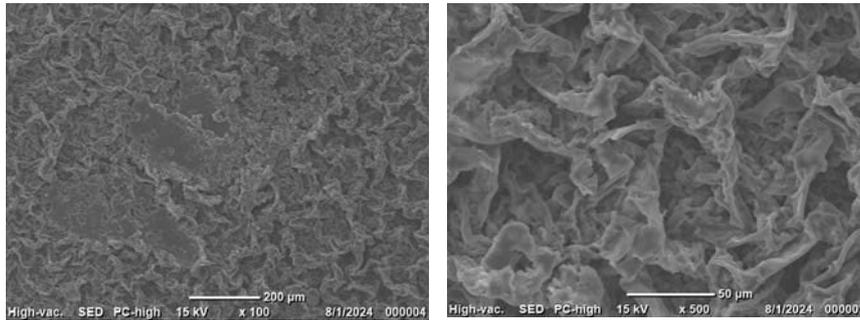


Рис. 1. СЭМ-изображения покрытий SiO_2 – ПЭЦА/о-ГФС, сформированных на кремнии из суспензий с концентрацией наночастиц SiO_2 в ЭЦА 60 мг/мл

Варьированием содержания SiO_2 в ЭЦА были получены гидро- и супергидрофобные покрытия. Оптимальной концентрацией SiO_2 в ЭЦА является 60 мг/мл для покрытий SiO_2 – ПЭЦА/о-ГЕМС, значение КУС водой которого соответствует супергидрофобным покрытиям и составляет 153° (табл. 1). Дальнейшее увеличение содержания частиц оксида кремния приводит к уменьшению механической устойчивости, однородности, шероховатости покрытий и значения их КУС водой.

Табл. 1. Шероховатость композиционных покрытий SiO_2 – ПЭЦА/о-ГФС и значения их КУС водой

C_{SiO_2} , мг/мл	R_a , мкм	R_z , мкм	КУС водой, град
0	$6,9 \pm 1,5$	$37,7 \pm 8,9$	141
30	$9,1 \pm 1,1$	$48,7 \pm 5,1$	148
60	$10,1 \pm 1,3$	$50,7 \pm 6,2$	153
90	$10,1 \pm 0,4$	$55,3 \pm 4,4$	142
200	$6,1 \pm 0,4$	$34,7 \pm 0,4$	123

Выводы. Установлено, что покрытия SiO_2 – ПЭЦА, полученные на кремниевых подложках методом rod-coating, проявляют гидро- и супергидрофобные свойства после формирования на их поверхности слоя о-ГЕМС. Наибольшее значение КУС водой составляют 153° для покрытий SiO_2 – ПЭЦА/о-ГЕМС, сформированных на кремнии из суспензии с концентрацией наночастиц SiO_2 в ЭЦА 60 мг/мл.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гурина, З. С.** Супергидрофобные и олеофобные покрытия из наночастиц оксида кремния, полиэтиленimina и перфтороктилтриэтоксисилана / З. С. Гурина, А. Е. Соломянский, Т. Н. Толстая // Полимерные материалы и технологии: Междунар. науч.-техн. журн. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 63–68.
2. Robust superhydrophobic surface fabrication by fluorine-free method on filter paper for oil/water separation / Y. Teng [et al.] // Polymer Testing. – 2020. – Vol. 91. – P. 106810.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ВЫДЕРЖКИ ПРИ ЗАКАЛКЕ НА СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ХРОМОВЫХ БРОНЗ

И. А. ЛОЗИКОВ¹Научный руководитель Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО², д-р техн. наук, проф.¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Наибольшее распространение в качестве материалов электротехнического назначения для изготовления деталей машин и механизмов, работающих в жестких температурно-силовых условиях (электроды контактной точечной и рельефной сварки, ролики машин шовной сварки, губки машин стыковой сварки и т. п.), получили медные сплавы, легированные хромом и цирконием – хромовые бронзы [1].

Одним из важнейших технологических факторов, определяющих качество жаропрочных хромовых бронз, является время выдержки в нагретом состоянии при проведении операции закалки. Анализ литературных данных [1], а также опыт промышленного применения хромовой и хромоциркониевой бронз, показывает, что оптимальное время выдержки зависит от массы изделия и чаще всего составляет 30...60 мин. При этом хрома в твердом растворе должно быть не менее 0,33 %, а электропроводность твердого раствора – не более 25 См.

В работе проводилось исследование влияния продолжительности нагрева при закалке на структуру и физико-механические свойства литых жаропрочных электротехнических бронз, полученных с применением механически сплавленной модифицирующей лигатуры с высоким содержанием основного легирующего компонента.

Образцы под закалку нагревались в лабораторной печи SNOL 30/1100, с PID-регулирующим блоком контроля температуры OMRON E5CN. Для защиты от окисления поверхности заготовок печное пространство продувалось аргоном. Охлаждающей средой при закалке являлась вода. Прибором для измерения электропроводности типа ИЭ-1 изучалось изменение сопротивления образцов (что указывает о количестве растворенного хрома) в зависимости от времени выдержки в нагретом состоянии.

Изучение влияния времени выдержки на растворение хрома показало, что после 30 мин нагрева при температуре (1000 ± 2) °С происходит полное завершение диффузионных процессов и дальнейшее нахождение образцов в печи на количество находящегося в твердом растворе хрома (величину электросопротивления) заметного влияния не оказывает (рис. 1).

Проведенные исследования показывают, что процессы, протекающие при закалке хромовых бронз, полученных с применением механически сплавленной модифицирующей лигатуры, аналогичны процессам при закалке классических

бронз. Изучение микроструктуры сплавов показало их существенное различие (рис. 2).

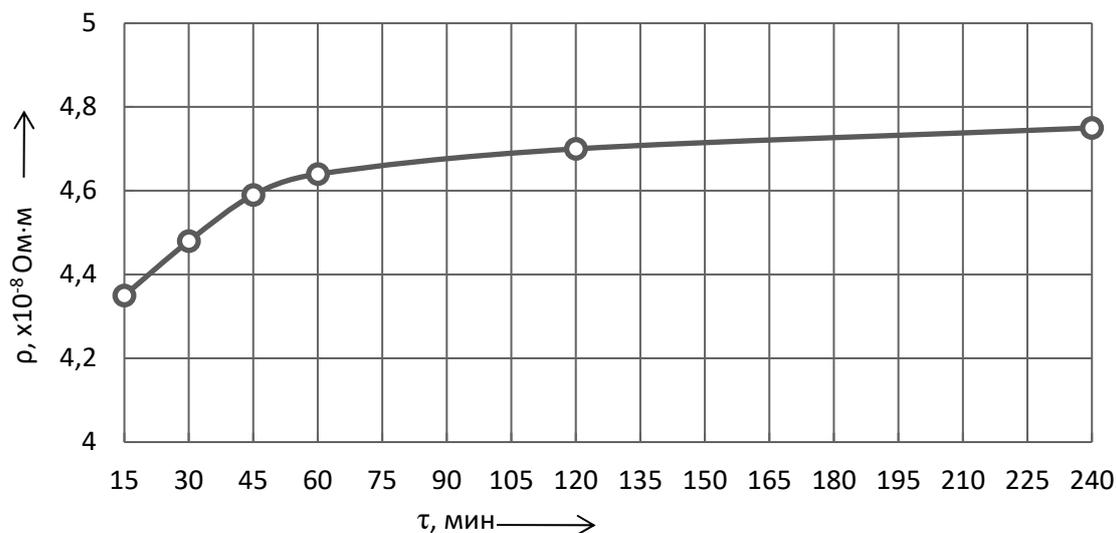


Рис. 1. Изменение электросопротивления от времени нагрева перед закалкой

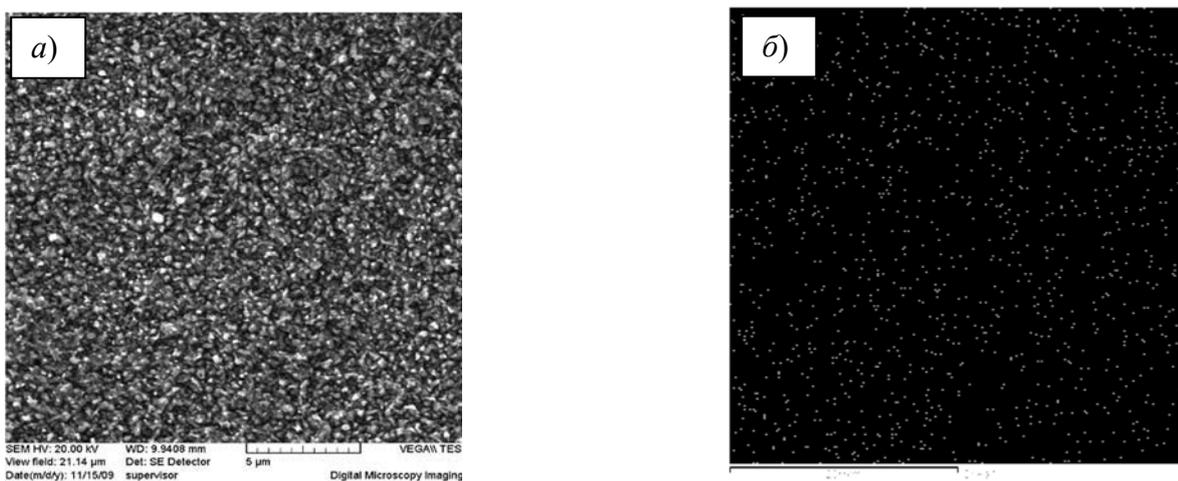


Рис. 2. Структура закаленной хромовой бронзы (а) и распределение Cr в ней (б) ($t_{\text{зак}} = (1000 \pm 2)^\circ\text{C}$; $\tau = 45$ мин)

Структура экспериментальных материалов относится к микрокристаллическому типу с размером, не превышающем 0,5 мкм (см. рис. 2, а). Основной легирующий элемент – хром – дисперсно и равномерно распределен в материале. При сканировании по площади участки, обогащенные хромом, отсутствуют (см. рис. 2, б).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев, А. К. Хромовые бронзы / А. К. Николаев, А. И. Новиков, В. М. Розенберг. – Москва: Металлургия, 1983. – 175 с.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПРИ ЗАКАЛКЕ НА СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ХРОМОВЫХ БРОНЗ

И. А. ЛОЗИКОВ¹

Научный руководитель Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО², д-р техн. наук, проф.

¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Особенностью термической обработки хромовых бронз, как классических дисперсионно-твердеющих сплавов, является обязательное выполнение заковки от некоторой определенной температуры, образующей твердый раствор максимально возможного пресыщения хромом и последующее старение, при котором образовавшийся пересыщенный раствор распадается с выделением дисперсных частиц хрома или хромосодержащих соединений, являющихся упрочняющими фазами в данных сплавах. Качество заковки определяется концентрацией хрома в пересыщенном твердом растворе. Его содержание можно контролировать методом измерения электропроводности закаленных образцов приборами для измерения электропроводности типа ИЭ-1, что и выполнялось в данной работе.

Образцы под заковку нагревались в лабораторной печи SNOL 30/1100 с PID-регулирующим блоком контроля температуры OMRON E5CN. Для защиты от окисления поверхности заготовок печное пространство продувалось аргоном. Охлаждающей средой при заковке являлась вода.

Изучалось изменение сопротивления образцов (что указывает о количестве растворенного хрома) в зависимости от температуры нагрева под заковку. Результаты исследований представлены на рис. 1.

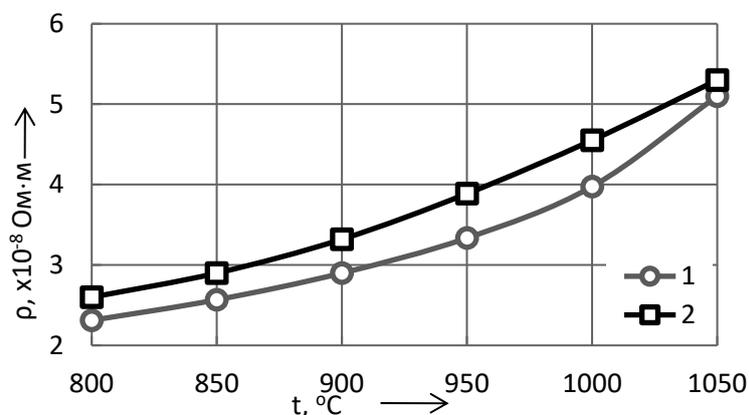


Рис. 1. Зависимость электросопротивления классической (1) и экспериментальной (2) хромовой бронзы БрХ от температуры заковки

Более высокое электросопротивление бронзы, полученной с применением механически сплавленной лигатуры, можно объяснить дисперсностью структуры и, как следствие, высокой суммарной поверхностью зерен основы, обусловленной формированием структуры микрокристаллического типа.

Это также объясняет высокую твердость разработанных сплавов, по сравнению с классической бронзой, после закалки с разных температур при одной и той же продолжительности нагрева.

Сравнительные данные приведены в табл. 1.

Табл. 1. Твердость после закалки классических и экспериментальных сплавов

Температура закалки, °С	Твердость после закалки классической бронзы БрХ, НВ	Твердость после закалки экспериментальной бронзы БрХ, НВ
800	48	62
850	50	64
900	49	67
950	49	68
1000	48	69
1050	48	69

Изучение рентгенограммы экспериментального модифицированного сплава БрХ показало равномерное распределение Cr по площади и отсутствие обогащенных участков (рис. 2).

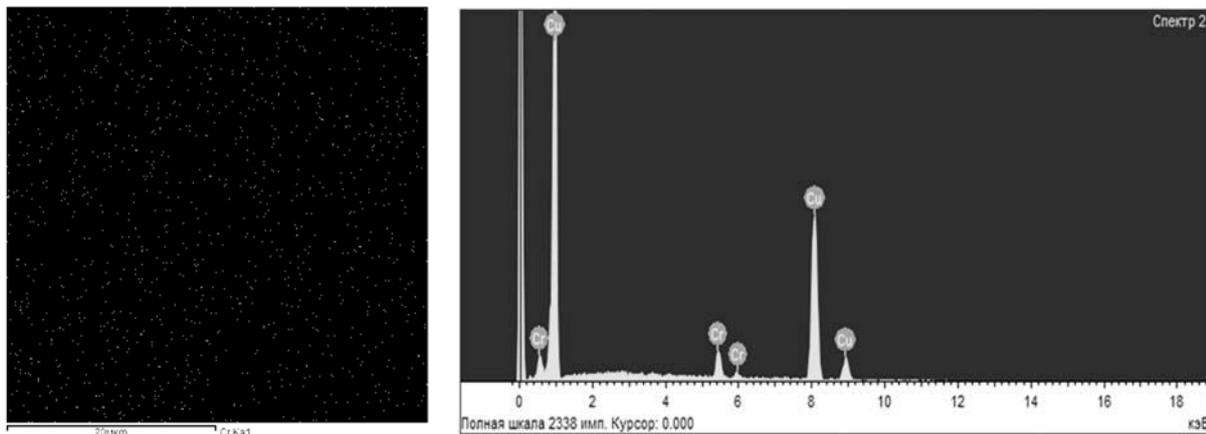


Рис. 2. Рентгенограмма сплава БрХ после закалки ($t_{зак} = (1000 \pm 2)^\circ\text{C}$; $\tau = 45$ мин)

Анализ результатов экспериментов позволяет сделать вывод о том, что наиболее технически оправданным режимом закалки модифицированных хромовых бронз следует считать нагрев до $(1000 \pm 20)^\circ\text{C}$ и последующее охлаждение в воде. При этом, вследствие модифицирующего действия механически сплавленной лигатуры на структуру, физико-механические свойства полученных сплавов выше.

УДК 537.9

ЭЛЕКТРОХРОМНЫЕ ПОКРЫТИЯ, НАНЕСЕННЫЕ ИЗ АКТИВНОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

А. М. МИХАЛКО

Научный руководитель А. А. РОГАЧЕВ, д-р техн. наук, проф.,

чл.-корр. НАН Беларуси

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины

Гомель, Беларусь

Покрытия осаждали из активной газовой фазы, формируемой потоком низкоэнергетических электронов с энергией 800...1600 эВ и плотностью 0,01...0,03 А/см². Для получения покрытий оксида вольфрама эффективной толщиной до 300 нм использовали порошок WO₃, а для формирования покрытий полианилина (ПАНИ) толщиной до 100 нм – смесь (1 : 1) порошка ПАНИ и Р₂О₅. Толщину контролировали в процессе нанесения кварцевым измерителем толщины. В качестве подложек использовали стекло с проводящим подслоем ИТО с сопротивлением 100 Ом/квadrat. Начальное давление остаточных газов при нанесении составляло 4·10⁻³ Па, температура подложек – комнатная.

Для исследования электрохромных свойств образец помещали в прозрачную кювету с электролитом и вспомогательным электродом (покрытие Pt на ситалловой пластинке). При испытаниях на образец с покрытием оксида вольфрама подавали «-» потенциал, а «+» – на вспомогательный электрод. На покрытие ПАНИ подавали «+» потенциал, а на вспомогательный электрод «-». Оценивали электрохромное переключение по УФ–ВИД-спектрам пропускания и поглощения в диапазоне длин волн 250...1100 нм.

Экспериментально установлено, что время окрашивания и насыщенность цвета зависят от используемого электролита и величины подаваемого напряжения. Минимальное время переключения покрытия оксида вольфрама 40 с при подаваемом напряжении 1,5 В. При использовании электролита СН₃СООН 0,5 М + ПВС 10 % время переключения увеличивается примерно до двух раз от минимально полученного, однако образец (покрытие оксида вольфрама) выдерживает более пяти циклов переключения. Для покрытий на основе ПАНИ наблюдали электрохромное переключение в электролите СН₃СООН 0,5 М + ПВС 10 % при напряжении 1,5 В.

Сформированные тонкопленочные структуры на основе оксида вольфрама, ПАНИ обладают многократным обратимым электрохромным переключением в среде электролита СН₃СООН 0,5 М + ПВС 10 % при подаче постоянного напряжения до 1,5 В противоположной величиной. Указанные тонкопленочные системы перспективны для высокоэффективных электрохромных устройств широкого назначения.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ в рамках проекта № Т22КИТГ-005.

УДК 541.515

IN SILICO-ИССЛЕДОВАНИЕ ИНКАПСУЛЯЦИИ ВИТАМИНА А ЦИКЛОДЕКСТРИНАМИ

Р. А. МУЗАПАРОВ, А. С. РАХИМЖАНОВА
Научный руководитель И. А. ПУСТОЛАЙКИНА,
канд. хим. наук, ассоциир. проф.

Карагандинский университет имени академика Е. А. Букетова
Караганда, Казахстан

Витамин А – жирорастворимый витамин, который содержит несколько химически родственных природных соединений, а его основной пищевой формой является ретинол. Витамин А обладает широким спектром биологической активности, играет важную роль в улучшении зрения, особенно в ночное время, в нормальном развитии костей и зубов, в воспроизводстве и здоровье кожи и слизистых оболочек, а также действует в организме как антиоксидант. Однако его низкая биодоступность из-за плохой растворимости в воде препятствует эффективному использованию в качестве биологически активной пищевой добавки.

Использование крахмал-циклодекстриновых олигомеров для повышения растворимости и скорости растворения биологически активных веществ является широко распространенным методом в современной фармацевтической промышленности. Циклодекстрины представляют собой замкнутые кольца в виде усеченного конуса с внутренними полостями различного размера. Внутренняя полость является гидрофобной, тогда как внешняя – гидрофильной. Образование комплексов включения по типу «хозяин – гость» происходит за счет связывания неполярных молекул препарата («гостя») с липофильной полостью циклодекстрина («хозяина»), что приводит к повышению растворимости и улучшению стабильности препаратов.

В рамках данной работы *in silico*-методы молекулярного докинга и динамики применены для изучения комплексообразования витамина А с циклодекстринами, а также для обоснованного выбора наиболее перспективного комплексообразующего агента. В качестве объектов исследования выступили молекулы витамина А (ретинола ацетат), α -, β -, γ -циклодекстринов и 2-гидроксипропил- β -циклодекстрина (2-ГП- β -ЦД) (рис. 1).

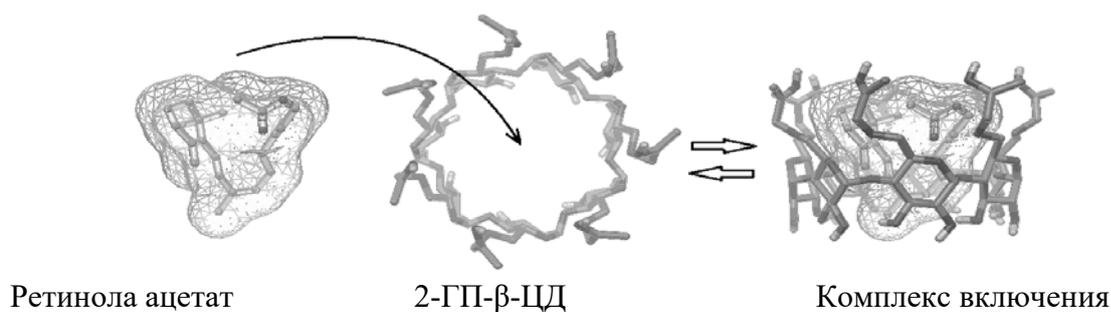


Рис. 1. Схема образования комплекса включения «витамин А – циклодекстрин»

Молекулярный докинг для комплекса (1:1) витамина А с циклодекстринами проводили с помощью программ AutoDock 4.2.6 и MGLTools 1.5.7, энергию связывания оценивали с использованием генетического алгоритма Ламарка (LGA). Наиболее эффективное связывание было отмечено в случае 2-гидроксипропил- β -циклодекстрина ($-6,76$ ккал/моль) (рис. 2), тогда как в случае α -, β -, γ -циклодекстринов энергия связывания составила $+30,57$, $-4,11$ и $-5,58$ ккал/моль соответственно.

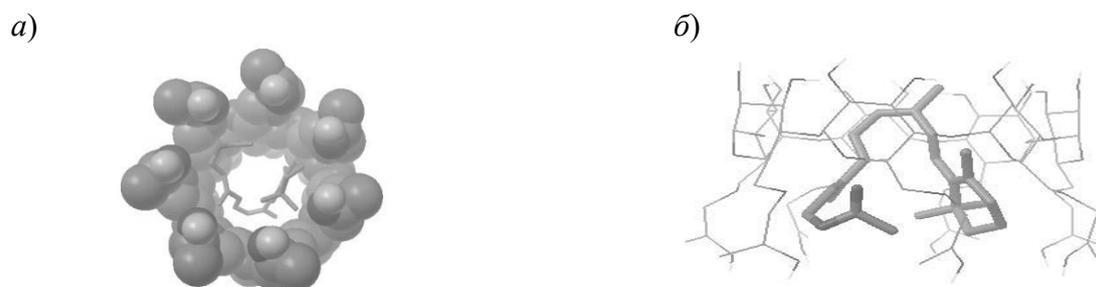


Рис. 2. Комплекс 2-ГП- β -ЦД – ретинола ацетат (1:1) с лучшей энергией связывания: *a* – вид сверху; *б* – вид сбоку

Стабильность образующегося комплекса включения оценивали методом молекулярной динамики в силовом поле CHARMM с использованием программы NAMD. Комплекс сольватировали с использованием простых точно заряженных молекул воды в прямоугольном ящике. После этого методом наивысшего спуска рассчитывалась эволюция системы при 300 К в течение 100 нс и оценивалось среднеквадратичное отклонение (RMSD) расстояния между центрами масс взаимодействующих молекул (рис. 3).

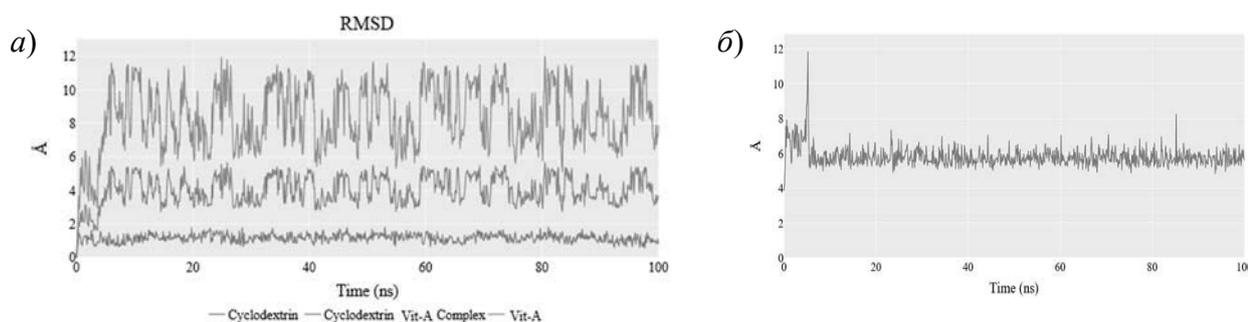


Рис. 3. RMSD (*a*) и изменение расстояния между центрами масс взаимодействующих молекул витамина (*б*)

Как видно из представленных на рис. 3 данных, витамин А демонстрирует высокое среднее значение ($8,5 \text{ \AA}$) со значительными отклонениями в пределах 5 нс (см. рис. 3, *a*, зеленая линия), при этом среднее значение RMSD для комплекса составляет $4,12 \text{ \AA}$ (см. рис. 3, *a*, красная линия). Центры масс витамина А и циклодекстрина расположены на среднем расстоянии $5,7 \text{ \AA}$ (см. рис. 3, *б*), что свидетельствует об устойчивости образующегося комплекса.

В целом, на основании *in silico*-оценки β -циклодекстринов и 2-гидроксипропил- β -циклодекстринов могут быть рекомендованы в качестве комплексообразующих агентов для витамина А.

УДК 54.057: 628.345.1

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО КОАГУЛЯНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Т. И. НОСОВА, М. А. НИШУКОВА

Научный руководитель Е. Н. КУЗИН, канд. техн. наук, доц.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Ежегодное увеличение антропогенной нагрузки на гидросферу приводит к ухудшению качества воды. Загрязненные природные и сточные воды представляют собой коллоидно-дисперсные системы, для очистки которых широко применяют методы коагуляции и флокуляции [1, 2]. Сегодня в качестве высокоперспективного коагулянта выделяют полимер хлорида диаллилдиметиламмония (ПОЛИДАДМАХ). Однако показатель ПДК_{р.х.} = 0,001 мг/дм³ мономера ДАДМАХа ограничивает его повсеместное применение.

Цель работы – оценка возможности получения коагулянта на основе ПОЛИДАДМАХа и инулина (полимер D-фруктозы) для повышения его коагуляционных свойств и снижения токсичности.

Полимеризацию мономера хлорида диаллилдиметиламмония проводили в водной среде в присутствии молекулы инулина. Содержание ДАДМАХа составляло 35,0 масс. %, содержание полисахарида – 1,0 масс. %. Реакцию инициировали персульфатом аммония. На рис. 1 представлены полученные результаты изменения температуры реакционной смеси.

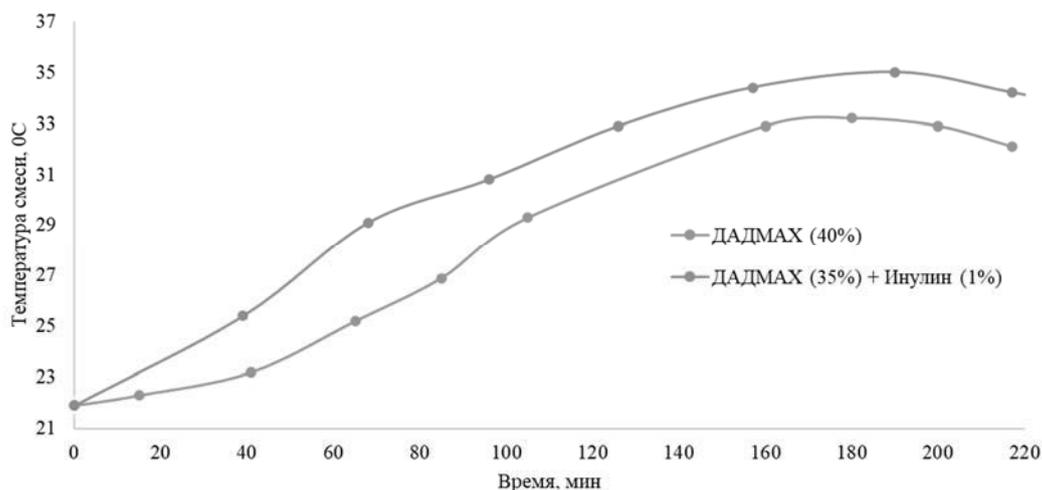


Рис. 1. Температурный режим полимеризации образцов

По данным на рис. 1 можно отметить, что для случая полимеризации инулина с ДАДМАХом наблюдается прирост температуры выше, чем у чистого мономера, что свидетельствует о более активном протекании процесса. Также для исследуемых образцов максимальный показатель температуры раствора достигает 35 °C, после которого скорость реакции снижается. Данный пик температурных кривых может быть обусловлен как разрушением длинных цепей полимера под действием температуры, так и окончанием синтеза.

С целью определения возможности применения модифицированного инулином образца ПОЛИДАДМАХа в качестве коагулянта проведен эксперимент по методу «Jar-теста» на модельной сточной воде, содержащей бентонит ($C = 500 \text{ мг/дм}^3$) и гуминовые кислоты ($C = 100 \text{ мг/дм}^3$). Результаты представлены на рис. 2.

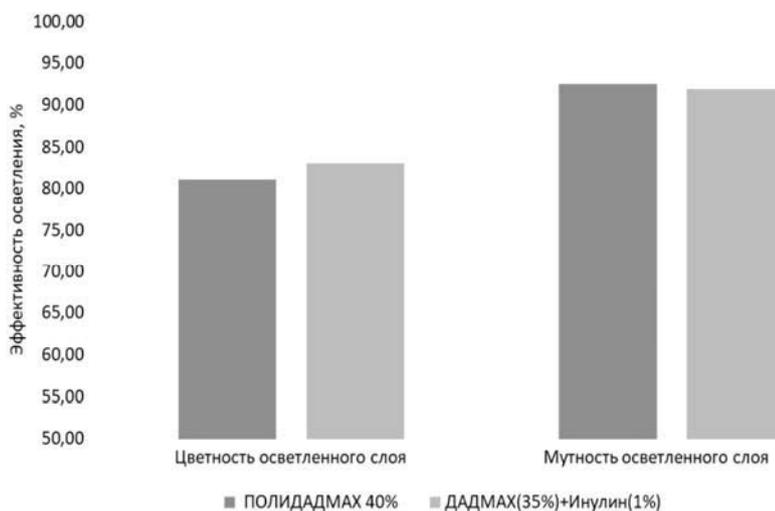


Рис. 2. Эффективность осветления модельной сточной воды

Как видно по данным на рис. 2, добавление к ПОЛИДАДМАХу макромолекулы инулина интенсифицирует процесс удаления коллоидных примесей из воды, что отражается на показателе цветности осветленного слоя. В случае добавления инулина одновременно протекают процессы как коагуляции за счет катионных групп ДАДМАХа, так и флокуляции, благодаря протеканию адсорбции полисахарида на коллоидных частицах [3]. Также добавление полисахарида приводит к снижению содержания мономера ДАДМАХа в комплексном коагулянте на 5 % без ухудшения его свойств.

В рамках исследования была подтверждена возможность получения органического коагулянта на основе полимера диаллилдиметиламмония хлорида и инулина. Применение данного реагента приводит к повышению степени осветления бентонитовой суспензии в сравнении с чистым полиэлектролитом, а также способствует снижению количества исходного мономера в коагулянте на 5,0 масс. %. Полученные результаты могут положительно отразиться на степени токсичности комплексного реагента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Очистка кислотно-щелочных сточных вод гальванического производства с использованием инновационных реагентов / Е. Н. Кузин [и др.] // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2020. – Т. 28, № 3. – С. 37–44.
2. Кузин, Е. Н. Комплексные коагулянты очистки сточных вод гальванического производства / Е. Н. Кузин, Н. Е. Кручинина // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2019. – Т. 27, № 4. – С. 43–49.
3. Шачнева, Е. Ю. Теория Ла Мера – основа флокуляционной очистки сточных вод промышленных предприятий / Е. Ю. Шачнева // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2017. – № 8. – С. 30–33.

УДК 55.09.43

МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННЫЕ ГРАНУЛИРОВАННЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

А. С. ОЛЕНЦЕВИЧ

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

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Алюминиевые сплавы все чаще применяются для получения изделий послойным синтезом. Их основными преимуществами являются невысокая стоимость и плотность, а также повышенная скорость печати и меньшие энергозатраты на единицу объема получаемого изделия. Однако по причине их относительно низкой прочности, а также формирования крупнозернистой структуры в изделии, получаемые детали зачастую имеют недостаточно высокие механические свойства. Их улучшения можно достичь использованием композиционных материалов, содержащих в своем составе ультрадисперсные термодинамические стабильные частицы, выполняющие роль центров кристаллизации при затвердевании жидкого металла, а также стабилизирующие границы зерен и субзерен. Перспективным способом получения таких материалов является механическое легирование.

В ходе экспериментальных исследований изучен процесс механосинтеза порошков на основе алюминия, включая литейные, жаропрочные, высокопрочные сплавы. Основные композиции представлены в табл. 1.

Табл. 1. Марка и химический состав синтезированных порошков

Наименование порошковой композиции	Содержание легирующего элемента, %								
	Al	Si	Mg	Mn	Cu	Cr	Zn	Ni	Sn
AlSi10Mg	89,5	10	0,5	–	–	–	–	–	–
AK7Ц9	82,8	7	0,2	–	–	–	10	–	–
Д16	93,3	–	1,6	0,6	4,5	–	–	–	–
В95	90	–	2,5	0,4	1,7	0,15	6	–	–
АН-2,5	97	–	–	–	–	–	–	3,0	–
А09-2	87,25	–	–	–	2,25	0,5	–	1	9

Изучено влияние изопропилового спирта и температуры камеры на гранулометрический состав порошка. Установлено, что для получения порошка с размером частиц основной фракции менее 50 мкм количество изопропилового спирта (ИПС) должно составлять более 1 %. Повышение температуры камеры до 65 град значительно увеличивает средний размер частиц и требует большего количества ИПС.

УДК 628.31

ОБЗОР МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРАТА НАТРИЯ ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

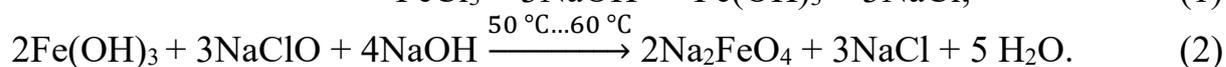
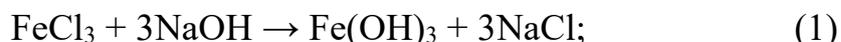
А. А. САРАНЦЕВА

Научный руководитель Е. Н. КУЗИН, канд. техн. наук, доц.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Одним из наиболее распространенных металлов в составе земной коры является железо. Ежегодно металлургические производства образуют огромное количество железосодержащих отходов. С целью минимизации объемов размещаемых на хранение отходов актуальным становится вопрос использования железосодержащих отходов в качестве сырья для получения ценных вторичных продуктов.

Отходы металлургических производств (железная пыль, стружка, ржавые металлические куски) могут стать сырьем для получения ценного продукта – феррата натрия. Данное вещество совмещает в себе свойства коагулянта, дезинфектанта и окислителя, что делает феррат натрия высокоперспективным реагентом для проведения процессов водоочистки и водоподготовки.

Известно, что феррат натрия можно получить в результате взаимодействия гидроксида железа и гипохлорита натрия в щелочной среде при нагревании в соответствии с реакциями



Предлагаемый метод синтеза феррата включает в себя растворение хлорида железа в горячем щелочном растворе гипохлорита натрия (50 °С...60 °С) при постоянном перемешивании. Процесс ведут до полного растворения хлорида железа. Преимуществами данного метода является простота проведения синтеза. Ключевым недостатком является необходимость использования гипохлорита натрия, получение которого требует дополнительных затрат, и хлорида железа (востребованный коагулянт) [1, 2]. Применение отходов металлургических производств в данном методе не предусмотрено.

Получение феррата натрия методом мокрого окисления под действием озона можно описать реакцией



Для реализации данного метода железосодержащую пыль добавляют в сильнощелочной раствор гидроксида натрия (рН = 12) и проводят барботирование озоном на протяжении часа.

Данный метод получения предполагает использование отхода производства – железную пыль или стружку, однако данный способ синтеза феррата натрия не позволит получить высокий выход целевого продукта реакции (феррат-аниона) в связи со сложностью протекания гетерогенного процесса и малой

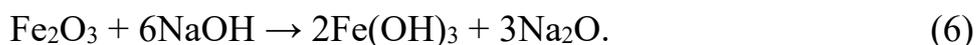
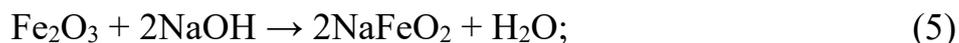
площадью контакта фаз реагентов.

Метод сухого окисления феррата натрия проводится посредством спекания реактивов в муфельной печи в соответствии с реакцией



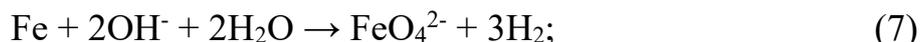
Для получения феррата натрия данным методом реактивы смешиваются в фарфоровом тигле по стехиометрическим соотношениям, выдерживаются в муфельной печи при температуре (650 ± 20) °С в течение 4 ч.

Данный процесс не требует сложного аппаратного оформления, однако достижение высокого выхода продукта реакции невозможно за счет параллельного протекания реакций



В ходе получения феррата натрия спеканием основным продуктом реакции является бирюзовый феррит натрия (NaFeO_2).

В процессе электрохимического синтеза феррата натрия происходит анодное растворение железа в растворе щелочи. Ток, подаваемый в процессе электролиза, окисляет железо до феррата в щелочном растворе гидроксида натрия. При этом происходят следующие реакции:



Железные электроды погружают в раствор гидроксида натрия с концентрацией 15 масс. % и проводят растворение пластин под действием тока с силой тока 5 А и напряжением 10 В. Процесс следует вести в течение 30 мин до начала снижения плотности тока за счет пассивации электродов [3].

Данный метод имеет наибольший выход продукта реакции, преимуществом является использование металлсодержащих отходов. Существенные недостатки данного метода – затраты электроэнергии на проведение процесса электролиза.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что получение феррата натрия электрохимическим путем является наиболее перспективным за счет наибольшего выхода продукта реакции, при этом применение металлсодержащих шламов в качестве сырья для получения феррата натрия позволит снизить негативное влияние полигонов на состояние окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Очистка кислотно-щелочных сточных вод гальванического производства с использованием инновационных реагентов / Е. Н. Кузин [и др.] // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2020. – Т. 28, № 3. – С. 37–44.
2. Кузин, Е. Н. Комплексные коагулянты очистки сточных вод гальванического производства / Е. Н. Кузин, Н. Е. Кручинина // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2019. – Т. 27, № 4. – С. 43–49.
3. Sarantseva, A. A. Investigation of the Process of Oxidative Degradation of Phenol by Sodium Ferrate Solutions / A. A. Sarantseva, N. A. Ivantsova, E. N. Kuzin // Russian Journal of General Chemistry. – 2023. – Vol. 93, № 13. – P. 3454–3459.

УДК 691.75.191

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Zn–Li–Mn,
ПОДВЕРГНУТОГО ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

А. Р. СИРАЗЕЕВА, Д. А. АКСЕНОВ, Б. О. БОЛЬШАКОВ, О. Б. КУЛЯСОВА

Научный руководитель Е. В. ПАРФЕНОВ, д-р техн. наук, проф.

Уфимский университет науки и технологий

Уфа, Россия

Использование неразлагаемых имплантатов сопряжено с определенными трудностями, включая длительный период заживления и необходимость хирургического удаления. В отличие от них, биоразлагаемые имплантаты, которые растворяются и усваиваются организмом, способствуют более эффективному восстановлению костной ткани. Основные группы таких материалов включают магний (Mg), цинк (Zn) и железо (Fe). Цинк характеризуется высокой биоразлагаемостью и оптимальной скоростью коррозии, однако обладает низкой прочностью. Исследования, посвященные добавлению марганца (Mn) к цинковым сплавам, пока не являются широко распространенными, хотя марганец способен улучшать механические характеристики и играет важную роль в обменных процессах в организме.

Металлы, подверженные биологическому разложению, все чаще находят применение в медицине для создания имплантатов, таких как сосудистые стенты и устройства для остеосинтеза. Цинк и его сплавы обладают высокой биосовместимостью и функциональностью, что делает их предметом активных научных исследований. Однако чистый цинк не соответствует механическим требованиям для стентов, предназначенных для разложения в организме. Улучшение механических свойств является критически важным для уменьшения толщины стенок и размера стента при сохранении необходимой прочности, что способствует быстрому восстановлению эндотелия и снижает риск разрушения стента. Исследования показывают, что добавление магния, меди, марганца и лития в состав цинка может повысить его прочность и пластичность.

В рамках проведенного исследования тщательно изучены образцы биоразлагаемого цинкового сплава Zn – 0,8 % Li – 0,1 % Mn (в весовых процентах) как в исходном состоянии, так и в мелкозернистом, полученном с помощью термомеханической обработки, включающей интенсивную пластическую деформацию и изотермическую прокатку.

Образцы в исходном состоянии характеризовались дендритной структурой и, как следствие, проявляли хрупкость. Наилучшие сочетания свойств, необходимых для изготовления имплантатов, продемонстрировали образцы, прошедшие комбинированную деформацию методами прокатки и РКУП. Прочностные характеристики составили 510 МПа, а пластичность достигла 47 %, что делает данный сплав потенциально привлекательным кандидатом для применения в области биомедицинских имплантатов.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ №24-43-00154.

УДК 691.175

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗИН ФТОРСОДЕРЖАЩИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

К. В. СУХАРЕВА

Научный руководитель А. А. ПОПОВ, д-р хим. наук, проф.
Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
Москва, Россия

Для достижения желаемых характеристик резиновых материалов применяются различные методы модификации поверхности, в том числе направленные на повышение износостойкости и механических свойств. Актуальной задачей является определение экономически выгодного и эффективного подхода к улучшению трибологических характеристик резиновых материалов. Работа направлена на повышение износостойкости путем модификации поверхности обработкой фторполимерсодержащим раствором.

В качестве основного сырья использовался бутадиен-нитрильный каучук NBR (марка БНКС-18, АО КЗСК, г. Красноярск, Россия). Фторполимер (марка ФKM-32, ГалоПолимер, г. Кирово-Чепецк, Россия) в сочетании с вулканизирующим агентом (хинольным эфиром диоксима-хинона) и дитиофосфатным ускорителем был использован для нанесения на поверхность каучука NBR. Поливинилиденфторид-сохлортрифторэтилен (фторопласт марки Ф32Л, ГалоПолимер, г. Кирово-Чепецк, Россия) растворяли в 1,1,2-трифтор1,2,2-трихлорэтаноле (ХФУ-113).

Образцы каучука NBR в виде образца в форме лопатки (для последующего испытания прочностных свойств) и в форме квадрата (для испытаний на истирание) подвергали различным видам модифицирующих воздействий на поверхность резины. Способы модифицирования поверхности образцов резины представлены в табл. 1. Состав должен покрыть поверхность резины и после сушки и термостатирования совулканизироваться с резиновой подложкой, снижая параметры износа и коэффициент трения.

Методом испытания на истирание определены изменения стойкости к истиранию и среднего коэффициента трения полученного и модифицированного NBR. Анализ показателей стойкости к истиранию и среднего коэффициента трения для NBR-M1 и NBR-M2 показал, что предварительная обработка путем замачивания в метилэтилкетоне оказывает незначительное влияние на эффективность модификации. При использовании хромированной стали в качестве подложки снижается износостойкость при увеличении коэффициента трения. Низкая эффективность методов M1 и M2 может быть обусловлена отсутствием сцепления между поверхностью резины и поверхностным слоем фторэластомера из-за низкой адгезии фторэластомера к поверхности NBR. Каучук после модификации типа M3 показывает значительное снижение истираемости. Про-

цесс фторирования поверхности резины значительно снижает начальный коэффициент трения о металл. Это снижение в первую очередь связано с уменьшением адгезионного взаимодействия между компонентами.

Табл. 1. Способы модифицирования поверхности образцов резины

Тип	Описание метода модификации
М1	На поверхность резины кистью наносили эластомерную композицию следующего содержания: ФКМ-32, хинольный эфир диоксима-хинона и дитиофосфатный ускоритель (10 масс. % раствор в МЭК) с помощью кисти ($T = (25 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$). Общее количество нанесенных слоев – 4, время высыхания между слоями – 24 ч. Образец с высушенным покрытием термостатировали при температуре 150 °С в течение 10 мин
М2	Предварительную обработку каучука NBR проводили путем погружения в метилэтилкетон (МЭК) на 10 мин. На поверхность резины с помощью кисти наносили эластомерную композицию следующего содержания: ФКМ-32, хинольный эфир диоксима-хинона и дитиофосфатный ускоритель (10 масс. % раствор в МЭК) ($T = (25 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$). Общее количество нанесенных слоев – 4, время высыхания между слоями – 24 ч. Образец с высушенным покрытием термостатировали при температуре 150 °С в течение 10 мин
М3	Образцы бутадиен-бутадиена погружали в 10-процентный раствор фторопласта марки Ф32Л в 1,1,2-трифтор-1,2,2-трихлорэтане и выдерживали в течение 6 ч ($T = (25 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$), после чего высушивали до постоянной массы

Механические свойства модифицированного NBR, такие как модуль растяжения при 100 % и 300 %, а также прочность на растяжение и твердость, улучшены по сравнению с чистым NBR. Прочность на разрыв NBR-M1 и NBR-M2 остается на уровне чистого NBR. Механические свойства, такие как прочность на растяжение и относительное удлинение, сохраняют свою целостность после фторирования, что указывает на то, что объемная структура фторэластомера осталась неизменной. Одновременно значения твердости образцов NBR-M1 и NBR-M2 увеличились на 4 и 6 ед. соответственно. Для каучуков, модифицированных по типу М3, модуль упругости при 100 % и 300 % увеличивается на 86 % и 44 % соответственно, при этом предел прочности при растяжении увеличивается на 20 %, а твердость увеличивается на 9 ед. по сравнению с полученным NBR. Увеличение твердости может быть связано с повышением плотности поперечных связей.

Таким образом, модифицированный по поверхности бутадиен-нитрильный каучук (метод М3) показывает лучшие трибологические (снижение коэффициента трения и скорости износа) и механические характеристики, чем необработанный образец. Наличие атомов галогенов (фтора, хлора) на поверхностном слое образца резины отвечает за комплекс повышенных свойств поверхностно-модифицированного NBR-M3.

УДК 541.64

МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПУРПУРИНА-18 С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ГРУППАМИ
МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИЛАКТИДА

А.-Т. Т. ТАНДЕЛОВ¹, А. Д. КОРНИЛОВ², Ю. В. ТЕРТЫШНАЯ¹¹Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН²Институт тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова (ИТХТ)
РТУ МИРЭА
Москва, Россия

Введение. Исследование направлено на молекулярное моделирование взаимодействий порфиринов с функциональными группами модифицированного полилактида для прогнозирования их конформаций в полимерной матрице [1].

Методика исследования. В Schrodinger Suite 2018-1 смоделированы аморфные ячейки сополимеров PLA/PEG (концентрации 9:1 и 8,5:1,5) методом молекулярной динамики (МД). Размеры ячеек – 28,0793 Å; температура – 320 К; плотность – 0,5 г/см³. Конформерный поиск проведен методами Systematic torsional sampling и Mixed torsional/low-mode sampling с минимизацией методом PRCG [2]. Профили плотности визуализированы и проанализированы с помощью Maestro.

Результаты и обсуждение. В Schrodinger Suite 2018-1 с использованием Polymer Builder смоделированы и уравновешены с помощью молекулярной динамики ячейки PLA/PEG (концентрации 9:1 и 8,5:1,5). Учет двухгранных углов выполнен по распределению Больцмана при 320 К; начальная плотность – 0,5 г/см³; коэффициент ван-дер-ваальсовых взаимодействий – 0,50. МД была реализована через Desmond.

Конформерный поиск методами SPMC и Mixed torsional/low-mode sampling, проведенный в вакууме и воде, не выявил значимых различий.

Программа Hex 8.0.0 использовалась для поиска сайтов связывания порфиринов. Определены три сайта связывания по минимальной энергии, докинг пурпурина-18 выполнен с помощью AutoDock VINA.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило возможность точного прогнозирования конформаций и пространственной ориентации в полимерных матрицах. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых материалов на основе порфиринов с улучшенными характеристиками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Lai, W. C.** The effect of end groups of PEG on the crystallization behaviors of binary crystalline polymer blends PEG/PLLA / W. C. Lai, W. B. Liao, T. T. Lin // Polymer. – 2004. – Vol. 45. – P. 3037–3080.
2. **Glotzer, S. C.** Molecular and mesoscale simulation methods for polymer materials / S. C. Glotzer, W. Paul // Annual Review of Materials Research. – 2002. – Vol. 32. – P. 401–436.

УДК 538.91

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ТОЛЩИНЫ ОКСИДНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ ВНС-5, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПУЧКАМИ ИОНОВ УГЛЕРОДА И ХРОМА

Е. Д. ХАБИБОВА

Научный руководитель В. О. СЕМИН, канд. физ.-мат. наук, доц.
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томск, Россия

На протяжении многих лет особый интерес фокусируется на снижении стоимости стальных полуфабрикатов, а также увеличении технологичности готовых изделий. Производственные затраты на ремонт, экологичность и срок службы деталей связаны с процессами коррозии и разрушением стальных конструкций при их эксплуатации в водных средах. С экономической точки зрения целесообразнее проводить не замену поврежденных конструктивных элементов, а обработку поверхности, которая бы способствовала повышению коррозионной стойкости и долговечности деталей, выполненных из сталей различного класса.

Цель работы заключается в определении толщины и химического состава поверхностного слоя стали ВНС-5, модифицированной ионно-пучковыми и химическими методами, а также выявлении причин, ответственных за коррозионные свойства.

В работе в качестве подложек выбрана коррозионно-, жаростойкая аустенитно-мартенситная сталь марки ВНС-5 (13X15H4AM3) производства ФГУП «ВИАМ» (г. Москва, Россия). Данная конструкционная сталь обладает безупречной свариваемостью всеми видами сварки и используется в авиационной технике, судостроении при производстве обширного перечня деталей машин и крепежных элементов.

Предварительная пробоподготовка поверхности стали ВНС-5 включала механическую полировку (МП) на абразивной бумаге до зеркального блеска. Образцы после МП обозначены как ВНС-5^{МП}. Далее проводили высокодозовую ионную имплантацию (ВДИИ) пучками ионов аргона и хрома с дозой облучения 10^{17} ион/см² и средней энергией 30 кэВ (ВНС-5^{ВДИИ(Cr⁺)}). ВДИИ ионами углерода (ВНС-5^{ВДИИ(C⁺)}) выполняли на вакуумной установке UVN-05MD «КВАНТ» при ускоряющем напряжении ≤ 80 кВ и расчетной дозе облучения $2 \cdot 10^{17}$ ион/см². Химическая пассивация (образец обозначен как ВНС-5^{ХП}) заключалась в погружении подложки из механически полированной стали в смесь 10 масс. % H_3PO_4 и 0,05 М $K_2Cr_2O_7$ на 140 ч. Электрохимические эксперименты на коррозию проводили в трехэлектродной ячейке на потенциостат-гальваностате Р40-Х (Россия). Фоновый электролит – 3,5 масс. % р-р NaCl. Выдержка в растворе перед измерениями – 90 мин. Запись импедансных спектров (ЭИС) в диапазоне частот $0,05 \dots 10^5$ Гц осуществляли при потенциостатической стабилизации потенциала разомкнутой цепи E_{ocp} с амплитудой синусоидального сигнала 10 мВ. Морфологию поверхности образцов ВНС-5

после коррозионных испытаний исследовали на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Argeo 2 S (Thermo Fisher Scientific, США) при ускоряющем напряжении 20 кВ. Химическое состояние элементов изучали методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) на спектрометре K-Alpha Nexsa (Thermo Fisher Scientific, США) с монохроматическим источником рентгеновского излучения Al K α ($\lambda = 1486,6$ эВ).

Типичные спектры ЭИС в координатах Найквиста и Боде, отражающие токопроводящие свойства стали ВНС-5 после поверхностных обработок, приведены на рис. 1, а, б.

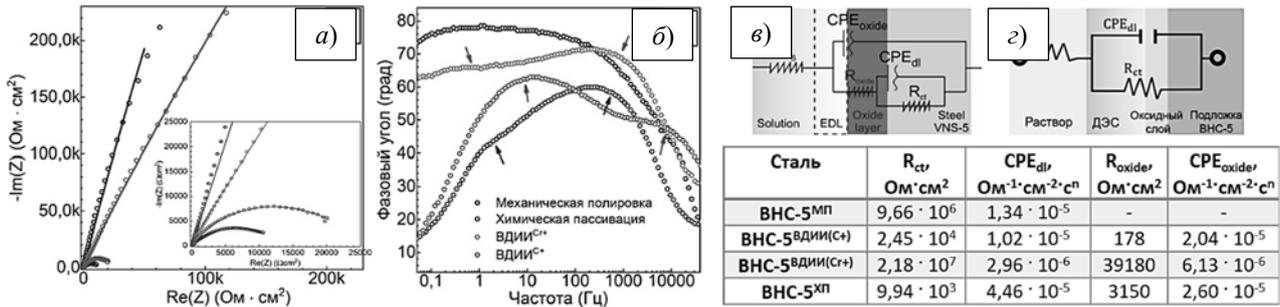


Рис. 1. Диаграммы импеданса в координатах Найквиста (а) и Боде (б) и эквивалентные электрические схемы (в, з) образцов стали ВНС-5, различающихся способом поверхностной обработки (на вставке – количественные данные аппроксимации ЭИС кривых)

С помощью аналоговых моделей в методе ЭИС (см. рис. 1, в, з) было обнаружено, что в модифицированных образцах процесс переноса заряда осуществляется через дополнительную границу раздела – оксидную пленку, обладающей собственной емкостью и сопротивлением. Химическое состояние оксидных фаз проанализировано методом РФЭС (рис. 2).

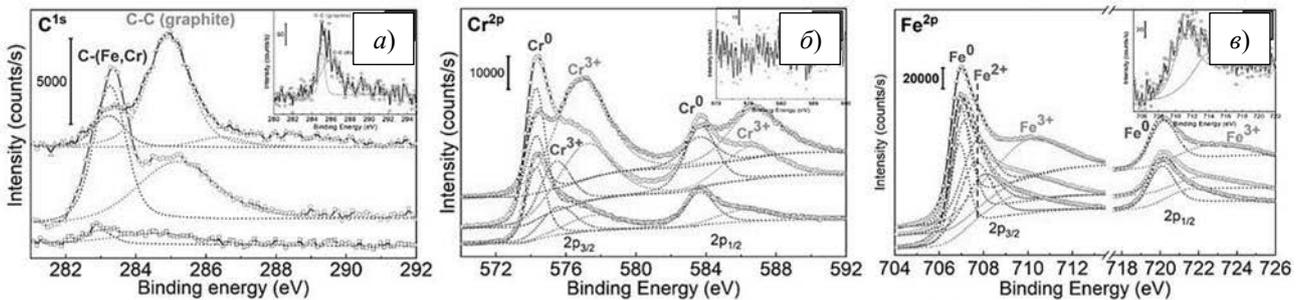


Рис. 2. РФЭС-спектры {C, Cr, Fe} высокого разрешения образцов из ВНС-5: ВНС-5МП (черная кривая), ВНС-5ХП (синяя кривая), ВНС-5ВДИИ(C+) (зеленая кривая), ВНС-5ВДИИ(Cr+) (красная кривая)

Сделан вывод, что наилучшей устойчивостью к коррозии обладает образец ВНС-5ВДИИ(Cr+) за счет формирования на его поверхности оксидного слоя из $Cr_2O_3 + CrO(OH) + Fe_2O_3$ с наибольшим сопротивлением к переносу зарядов в растворе.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект FWRW-2021-0003.

УДК 691.75.191

ВЛИЯНИЕ ПРОКАТКИ И ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Zn – 0,8 % Li

А. Р. ХАСАНОВА, Д. А. АКСЕНОВ,
Б. О. БОЛЬШАКОВ, Р. Н. АСФАНДИЯРОВ

Научный руководитель О. Б. КУЛЯСОВА, канд. техн. наук, доц.
Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

Цинковые сплавы в последнее время привлекли к себе большое внимание как представители класса биорезорбируемых сплавов. Поскольку они обладают хорошей биосовместимостью с человеческим организмом и оптимальной скоростью коррозии, сплавы цинка могут быть применены в качестве материала для биоразлагаемых имплантатов. Однако их главным недостатком являются низкие пределы прочности и текучести, не достигающие минимальных требований к подобным конструкциям. В связи с этим для исследования была поставлена задача повышения прочностных характеристик биоразлагаемого цинкового сплава Zn – 0,8 % Li (вес. %).

Образцы сплава Zn – 0,8 % Li были подвергнуты пластической деформации прокаткой при температуре 300 °С на степень деформации 70 %, после чего подвергались интенсивной пластической деформации методом равноканального углового прессования по следующему режиму: по два прохода при температурах 300 °С, 250 °С, 200 °С, 150 °С. Общее количество проходов было равно 8. При равноканальном угловом прессовании (РКУП) использовали прокатанные образцы сечением 10 × 10 мм и длиной 100 мм.

Исследование показало, что в процессе прокатки структура исходного состояния, состоящая из эвтектики Zn + LiZn₄ и первичной фазы LiZn₄, трансформируется, происходит фазовое перераспределение, а также образуется зеренная структура размером 10 мкм. Последующая деформация методом РКУП приводит к измельчению структуры до 2 мкм.

Механические испытания показали, что в исходном состоянии сплав Zn – 0,8 % Li разрушается хрупко, вследствие чего определить прочностные характеристики не представляется возможным. В результате прокатки прочностные характеристики повышаются, предел текучести и предел прочности составили 484 и 541 МПа соответственно. Также после обработки методом прокатки, в результате формирования зеренной структуры, образцы продемонстрировали пластичность 4 %. Применение последующей деформации методом РКУП привела к некоторому снижению прочностных характеристик (предел текучести составил 450 МПа, а предел прочности составил 501 МПа). Однако пластичность значительно увеличилась и составила 22 %.

Работы выполнены при финансовой поддержке проекта РНФ № 24-43-00154. Исследовательская часть работы проводилась с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Нанотех» (Уфимский университет науки и технологий).

УДК 544.421.42

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КИНЕТИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ В УСЛОВИЯХ ПРОЦЕССА АЧЕСОНА

В. Б. ЩЕРБАКОВА

Научный руководитель П. С. ГРИНЧУК, д-р физ.-мат. наук,

чл.-корр. НАН Беларуси

Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Введение. Синтез карбида кремния методом Ачесона является неизотермическим неравновесным процессом. Вследствие того, что в качестве исходного кремнийсодержащего вещества в промышленном процессе используется кварцевый песок, значительный интерес представляет физикохимия удаления примесных веществ (оксидов алюминия, магния, кальция и железа). Кинетические параметры карботермического восстановления зависят от множества факторов (в том числе размера частиц и давления), что затрудняет математическое моделирование таких систем. При этом большинство экспериментов в литературе проводят при пониженном давлении, т. к. это смещает температуру процесса в меньшую сторону. Однако особенностью процесса Ачесона является его длительность, атмосферное давление и высокие (до 2500 °С) температуры. Из [1] известна зависимость температуры от времени в разных точках печи Ачесона, что позволяет описать зависимость степени превращения оксида магния от времени, расстояния до центра печи и размера частиц, а также оценить возможность использования литературных данных, полученных при низком давлении.

Материалы и методы. В работе с помощью математического моделирования, исходя из литературных данных о формальной кинетике (предэкспоненциальном множителе в уравнении Аррениуса и энергии активации [2–5]), в различных условиях определена зависимость степени превращения от времени и расстояния до центра ядра печи Ачесона.

Результаты и обсуждение. Показано, что карботермическое восстановление оксида магния протекает на расстоянии до 45 см от ядра (рис. 1, а). При этом на границе с нагревателем степень превращения достигает 100 % через 12...14 ч после начала нагрева.

Установлено, что повышение давления снижает содержание металлического магния на начальных этапах процесса, однако впоследствии разница нивелируется (рис. 1, б). Аналогично, влияние скорости реакции наибольшее при $\chi < 80\%$ (рис. 1, в). Увеличение размера частиц оксида магния в 2 раза приводит к замедлению процесса его карботермического восстановления, однако различия становятся малыми при высоких степенях превращения.

Выводы. Все вышесказанное свидетельствует о том, что при высоких температурах определяющим является состав равновесной смеси, который определяется методами термодинамического моделирования. Кинетические

факторы, заметные на начальной стадии, с повышением температуры и увеличением длительности процесса Ачесона перестают оказывать определяющее влияние. Влияние давления на кинетику реакции является заметным, однако несоизмеримым с его влиянием на состав равновесной смеси.

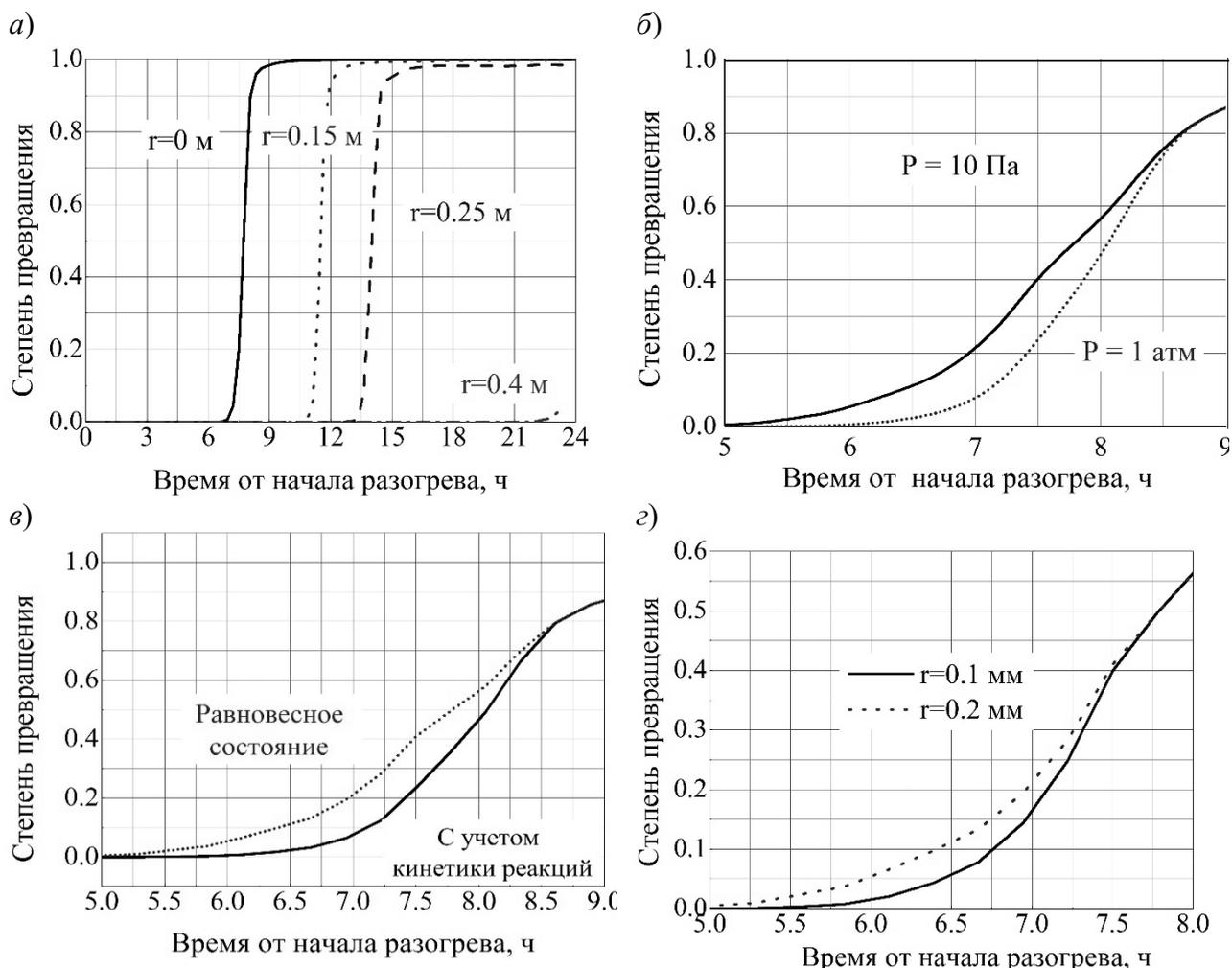


Рис. 1. Зависимость степени превращения оксида магния от времени: *a* – $P = 1$ атм, $r_{\text{мг}} = 0,1$ мм; *б* – $r_{\text{мг}} = 0,1$ мм, $r = 0$ м; *в* – оценка влияния кинетики процесса на состав реакционной смеси; *г* – $P = 100$ кПа, $r = 0$ м

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство абразивных материалов / А. С. Полубелова [и др.]. – Ленинград: Машиностроение, 1968. – 180 с.
2. Pressure dependent kinetics of magnesium oxide carbothermal reduction / В. А. Chubukov [et al.] // *Thermochim. Acta.* – 2016. – Vol. 636. – P. 23–32.
3. **Hong, L.** Kinetics of carbothermic reduction of magnesia and zinc oxide by thermogravimetric analysis technique / L. Hong, H. Y. Sohn, M. Sano // *Scand. J. Metall.* – 2003. – Vol. 32, № 3. – P. 171–176.
4. Study of carbothermic reduction of magnesia in vacuum / Q. C. Yu [et al.] // *Chin J Vac. Sci Technol.* – 2009. – Vol. 29, № 5. – P. 68.
5. **Prentice, L.** Mechanism and kinetics of reduction of magnesium oxide with carbon / L. Prentice, M. Nagle // *Magnes. Technol.* – 2009. – P. 35–39.

УДК 621.79

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ BF_3 В СОСТАВЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА
ПРИ СВАРКЕ СТАЛИ A335 GRADE P91

А. А. КОРОТЕЕВА, Р. Д. МООР, В. Д. ДОЛГАЯ

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

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

На сегодняшний день установлены характеристики влияния галогенидного соединения SF_6 в составе защитной газовой среды на технологические параметры при сварке. Проводимые исследования показали ряд преимуществ использования SF_6 в качестве модификатора газовой атмосферы при сварке, особенно в вопросе повышения трещиностойкости стали бейнитного и мартенситного классов. Исходя из этого, целесообразно продолжить использование галогенидных соединений в качестве газовой добавки, в особенности для более эффективного и ресурсосберегающего способа предотвращения образования трещин по замедленному механизму разрушения для сталей других структурных групп.

Наиболее подходящим галогенидным соединением является BF_3 , т. к. бор является элементом, увеличивающим длительную пластичность и жаропрочность стали и сплавов при его введении в качестве микродобавки. Эти характеристики важны при использовании жаропрочной стали A335 Gr.P91, из которой изготовлены бесшовные ферритные трубы, работающие в критических условиях при эксплуатации энергетических установок.

Предполагается, что многоступенчатая диссоциация бора в составе галогенидного соединения позволит создать необходимые условия, которые благоприятно повлияют на последующую термообработку стали A335 Gr.P91 в пределах температурного диапазона 600 °С...680 °С для устранения нежелательной структуры в виде дислокаций карбидных превращений и пластической деформации, образовавшихся в процессе проведения сварочных работ. При постепенном нагреве стали до вышеприведенных температур ее микроструктура будет доведена до аустенитного состояния, а газовая защитная модифицирующая добавка BF_3 , являющаяся аустенизатором, позволит более эффективно, по сравнению с обычным способом, произвести процесс перехода структуры стали в аустенитную фазу за счет абсорбции атомов бора на границах зёрен.

Важным вопросом является выбор наиболее эффективного количества BF_3 в составе защитной газовой атмосферы при сварке. Его высокое содержание может привести к образованию красноломкости и обезуглероживанию, что вследствие приведёт к снижению прочности сварного соединения. На данный момент данных о точном количестве введения BF_3 в качестве модификатора защитной газовой атмосферы при сварке недостаточно.

УДК 621.791

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОВЫХ ФЛЮСОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ

А. А. КОРОТЕЕВА, Е. А. ФЕТИСОВА, В. Д. ДОЛГАЯ

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

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Сварка в защитных газовых смесях является одним из наиболее распространенных способов, применяемых для широкого круга материалов. Повышение сложности легирования сталей и сплавов приводит к неизбежному переходу на использование инертных газов и их смесей. Это делает, с одной стороны, защитную газовую среду максимально не участвующей в металлургических процессах, происходящих в зоне горения дуги, и выполняющей лишь функцию вытеснения воздуха из зоны сварки. С другой стороны, открывает возможности управления технологическими характеристиками процесса через введение в нее газообразных компонентов, «газовых флюсов», существенно изменяющих характер плавления присадочной проволоки и, что более важно, позволяющих управлять металлургическими процессами в расплавленном металле, воздействуя на конечную микроструктуру и комплекс эксплуатационных характеристик. Инертная среда практически не реагирует с этими компонентами.

Введение газообразных компонентов эффективно при сварке сложных сталей и сплавов, для которых актуальны следующие проблемы:

- высокая чувствительность к диффузионному водороду;
- нежелательные изменения микроструктуры и выделение вторичных фаз, охрупчивающих материал;
- микроструктурная анизотропия, разупрочнение и рост зерна;
- коагуляция карбидов, приводящая к снижению длительной прочности материала.

Разработаны способы введения компонентов в струю защитного газа и установки, позволяющие с необходимой точностью регулировать их расход с объемной долей в составе газовой смеси $< 0,5 \%$.

Одним из преимуществ является возможность введения компонентов через поверхность сильно перегретой капли, что активизирует диффузионные процессы. Кроме того, такой способ позволяет без разработки новых присадочных материалов оперативно ввести необходимое количество модификатора в составе стабильного при нормальных условиях и диссоциирующего в высокотемпературной области дуги газообразного соединения.

Наиболее перспективными компонентами являются соединения SF_6 , BF_3 , N_2 .

УДК 621.791

РАЗРАБОТКА ПРИСАДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ
ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ СПЛАВА АК12М2МгН

Р. С. МИХЕЕВ¹, П. А. БЫКОВ², И. Е. КАЛАШНИКОВ², Л. И. КОБЕЛЕВА²

¹Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

²Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН
Москва, Россия

Объемные дисперсно-упрочненные композиционные материалы (КМ) на основе алюминия обладают лучшим комплексом механических и триботехнических характеристик [1, 2]. Поэтому их применение в качестве функциональных рабочих покрытий на деталях и элементах оборудования является весьма многообещающим. В связи с этим особый интерес представляет разработка присадочных материалов подобного состава для осуществления процессов дуговой наплавки, что и явилось целью работы.

Присадочные материалы в форме стандартных по размеру прутков диаметром 3 мм и длиной 350 мм получали методами порошковой металлургии. Для этого были произведены комплекты фильер и пресс-форм, определены технологические параметры процессов смешивания исходных порошковых смесей (обработка в планетарной мельнице марки Retsch PM100) и экструзии подготовленных композиционных смесей (предварительный нагрев в электропечи сопротивления камерной СНОЛ 10/11-В и последующая обработка на прессе ОМА 650 В). Главными критериями при выборе значений технологических параметров вышеуказанных операций являлись возможность экструдирования всего объема подготовленной композиционной порошковой смеси, а также соответствие присадочных материалов требованиям ГОСТ 21449.

Выбранный процесс экструзии исходных композиционных порошковых смесей позволил совместить существенно отличающиеся по составу и свойствам металлический сплав АК12М2МгН, ГОСТ 1583 (фракция 350 мкм), и армирующие керамические наполнители SiC (фракция 40 мкм) и TiC (фракция 0,7 мкм) в количестве 10 масс. % и 1 масс. % соответственно. Выбор вышеуказанных составов наполнителей обусловлен их доступностью, уровнем внедрения и экономической целесообразностью [3].

Характерные поверхности изломов и результаты энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии изготовленных присадочных материалов свидетельствуют о сохранении заданного кода армирования при отсутствии признаков деградации наполнителя вследствие взаимодействия с материалом матрицы (рис. 1). Полученные результаты позволяют считать состав изготовленных

процессом экструзии присадочных материалов из дисперсно-наполненных КМ однородным, а распределение частиц наполнителя удовлетворительным.

Таким образом, разработана технология изготовления присадочных материалов для дуговой наплавки дисперсно-упрочненных композиционных покрытий на основе сплава АК12М2МгН, позволяющая исключить химическое взаимодействие между материалом матрицы и наполнителями на всех технологических этапах.

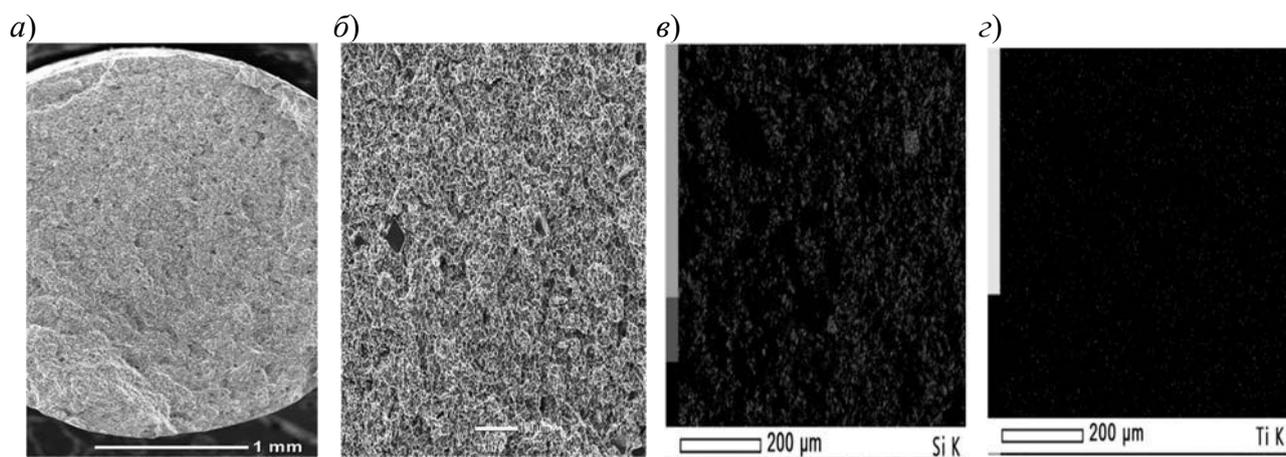


Рис. 1. Характерный вид изломов изготовленных присадочных материалов во вторичных электронах (а, б) и результаты поэлементного энергодисперсионного анализа (в, г)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шерина, Ю. В.** Влияние армирования TiC и TiB₂ на свойства и структуру алюминиевого сплава АМг2 / Ю. В. Шерина, А. Р. Луц, А. Д. Качура // Перспективные материалы. – 2024. – № 3. – С. 23–32.

2. Анализ влияния дисперсности структуры и качества распределения армирующего наполнителя на трибологические свойства алюмоматричных композиционных материалов / Л. И. Кобелева [и др.] / Journal of advanced research in technical science. – 2023. – № 36. – С. 84–89.

3. A review on aluminium matrix composite with various reinforcement particles and their behaviour / S. Arunkumar [et al.] // Materials Today: Proceedings. – 2020. – Vol. 33. – P. 484–490.

УДК 621.791.763.2

РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО КОДА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКЕ

А. О. СЕРГЕЙЧИК, Д. Н. ЮМАНОВ

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

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Одной из основных проблем технологического процесса при способах контактной сварки является подбор параметров режимов для формирования качественных соединений, обладающих необходимыми механическими свойствами, определяемыми при прочностных испытаниях готовых соединений. В качестве таких параметров можно выделить силу сварочного тока, напряжение межэлектродной зоны, мощность и энергию сварки, усилие сжатие электродов, перемещение электрода в процессе сварки. Из-за достаточно большого количества качественных параметров существует необходимость в создании программы для обеспечения незамедлительного и качественного управления вышеперечисленными параметрами в ходе сварки. Для этих целей был разработан графический код в программной среде LabView для измерения сигналов обратной связи и формирования сигнала управляющего воздействия, заранее четко не определенного.

Вначале программа включает реле питания двух пневмоклапанов привода сжатия. Далее происходит запуск цикла ожидания нажатия педали сварочной машины, после чего начинается отсчет времени предварительного сжатия с соответствующим формированием цифрового сигнала. По окончании времени предварительного сжатия происходит подключение датчика перемещения и протекание времени нулевой генерации тока для исключения потерь информации при измерении сигналов.

Время протекания тока подогрева жёстко не фиксировано и привязано к перемещению электрода, связанному с высотой рельефа h_p . То есть деформация рельефа на 10 % от его высоты h_p приводит к досрочному завершению цикла подогрева и переходу к блоку нарастания тока. В этом блоке главную роль играет коэффициент датчика скорости перемещения электрода, который управляет скоростью нарастания тока до величины тока сварки.

Принцип работы блока протекания сварочного тока аналогичен работе блока подогрева. При достижении необходимого перемещения, равного 90 % от высоты рельефа h_p , происходит переход к проковке сварного соединения для уменьшения остаточных напряжений в околошовной зоне. По завершении цикла проковки останавливается датчик перемещения и происходит отключение сигнала управления и реле питания пневмоклапанов. Машина переходит в режим ожидания. Идет отсчет времени между сварками для обеспечения работы машины в непрерывном цикле без остановок на перезапуск программы, что позволяет увеличить производительность труда. Также в программе учитывалось обеспечение охраны труда за счёт аварийного отключения машины при невозможности качественного завершения цикла.

УДК 621.791

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ СЛОЯ ГРАНУЛЯТА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ НА КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДКЛАДКАХ

С. А. СТЕЦЕНКО

Научный руководитель Б. И. МАНДРОВ, канд. техн. наук, доц.
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
Барнаул, Россия

В нормативной или конструкторской документации монтажные сварные стыки крупногабаритных конструкций имеют увеличенный зазор между свариваемыми кромками и указываются как нестандартные. Увеличенный зазор затрудняет удержание сварочной ванны в стыке, повышает вероятность несплавления металла корневого валика расплавленными кромками основного металла и ухудшает формирование корневого валика.

Для удержания жидкого металла в стыке, в зависимости от применяемого способа сварки, используют флюсовые подушки, остающиеся и съемные подкладки из тугоплавких неэлектропроводных материалов, например стекловолокна или керамики [1]. Керамические подкладки, прикрепляемые к свариваемым заготовкам с помощью алюминиевого скотча, являются перспективными, т. к. легко прикрепляются и снимаются при сборке и по окончании сварки. В то же время материал подкладки неэлектропроводен, что создает проблемы при дуговой сварке в защитных газах проволокой диаметром 1,2 мм при увеличенном зазоре (от 4 до 11 мм) между кромками.

При использовании съемных подкладок из стекловолокна рекомендуется [1] использовать засыпку в зазор металлохимической присадки (смесь гранулята с диоксидом титана) высотой от 5 до 12 мм в зависимости от толщины свариваемых листов и величины зазора. Сварка производится под слоем флюса, диаметр сварочной проволоки – 4 мм, сварочный ток – от 600 до 800 А. Рекомендации по дуговой сварке в защитных газах проволокой диаметром 1,2 мм не приводятся.

Было проведено изучение возможности дуговой сварки в защитных газах проволокой вышеуказанного диаметра корневого валика стыковых соединений с зазором между кромками 3 и 6 мм на керамической подкладке по слою гранулята. Для решения этого вопроса были выбраны четыре способа дуговой сварки в защитных газах: сварка проволокой сплошного сечения в углекислом газе и в смеси М21 (Ar 80 % и CO₂ 20 %), импульсно-дуговая сварка [2] и сварка порошковой проволокой в смеси газов М21.

Гранулят для проведения экспериментов с использованием керамической подкладки изготавливался из сварочной проволоки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм длиной 1,5...1,7 мм. Насыпная плотность изготовленного гранулята состави-

ла 4,7 г/см³. В экспериментах использовались полуавтоматы марок AOTAI AMIG500PM и Artsen PRO 500P, а также керамические подкладки сегментного типа с шириной формирующей канавки 6,4 мм и глубиной 1,0 мм.

На первом этапе исследования выполнялась сварка в углекислом газе стыковых соединений С17 по ГОСТ 14771–76 пластин толщиной 8 мм полуавтоматом марки AOTAI AMIG500PM по зазору 3 мм с высотой насыпки гранулята 5 мм согласно [1]. Было установлено, что такая высота насыпки гранулята дает хорошее формирование корневого валика при сварке в углекислом газе и импульсно-дуговой сварке. На втором этапе сварка проводилась по зазору 6 мм полуавтоматом Artsen PRO 500P.

При сварке проволокой сплошного сечения в смеси газов M21 хорошему формированию корня соответствует высота насыпки гранулята 3...4 мм. При сварке порошковой проволокой в смеси газов M21 по слою гранулята с высотой насыпки 5 мм в корне шва остается нерасплавленный гранулят даже на токе порядка 300 А. Для хорошего формирования корня высоту насыпки следует уменьшить до 2...3 мм.

Таким образом, экспериментально было установлено, что высота насыпки гранулята при сварке проволокой диаметром 1,2 мм должна соответствовать способу сварки, выбранному для решения практической задачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО-ГК «Трансстрой»-005–2018. Стандарт организации. Конструкции стальные мостов. Технология монтажной сварки. – Введ. 16.10.2018. – Москва: Науч.-исслед. ин-т транспортного стр-ва, 2018. – 147 с.

2. Изучение технологических особенностей механизированной импульсно-дуговой сварки / Б. И. Мандров [и др.] // Инновации в машиностроении: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. «ИнМаш-2022». – Барнаул: Алтайский гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова, 2022. – С. 113–116.

УДК 621.3: 621.791

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В МОБИЛЬНОМ РЕГИСТРАТОРЕ

Н. А. ТОЛПЫГО

Научный руководитель С. В. БОЛОТОВ, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При регистрации параметров сварочных процессов к измерительному оборудованию предъявляются требования широкого диапазона измерений, высокой точности, помехоустойчивости и быстродействия. Указанным требованиям удовлетворяют датчики тока и напряжения компенсационного типа фирмы «ИДМ-ПЛЮС». Выходной сигнал датчиков токовый, что минимизирует наводимые помехи на кабель. Характеристики датчика тока ДТК-700С и напряжения ДНК-С приведены в табл. 1.

Табл. 1. Технические характеристики датчика тока и напряжения

Параметр	Значение	
	Датчик тока ДТК-700С	Датчик напряжения ДНК-С
Напряжение питания, В	±15	±15
Диапазон измерения, А/В	±700	±600
Основная погрешность преобразования, %	±0,7	±1,5
Номинальный аналоговый выходной ток, мА	140	25
Ток потребления, мА	170	55
Полоса пропускания, кГц	100	40

В основном блоке мобильного регистратора токовый сигнал замыкается на шунтирующий резистор, с которого снимается падение напряжения. Напряжение с резистора через модуль защиты подается на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). Модуль защиты ограничивает входное напряжение для АЦП до уровня 2,5 В. Данный модуль также защищает основной блок от возможного короткого замыкания с источника питания датчиков ±15 В на АЦП. Модуль защиты реализован на программируемых стабилизаторах и токоограничивающих резисторах.

Установлено, что для оценки параметров сварочных процессов в динамике требуется частота дискретизации АЦП не менее 10...20 кГц. Для минимизации возможных помех и расширения диапазона измерения необходимо АЦП с дифференциальными входами. Для реализации мобильного регистратора выбрано АЦП ADS1256 на четыре дифференциальных входа с разрядностью 24 бита, частотой дискретизации до 30 кГц. Оцифрованные данные по каналу SPI поступают на микроконтроллер на основе ESP32 и передаются по WiFi на сервер.

УДК 621.791.763

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ АТМОСФЕРЫ SF₆ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Е. А. ФЕТИСОВА, А. А. КОРОТЕЕВА, К. Н. СЕРДЮКОВА
Научный руководитель А. О. КОРОТЕЕВ, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Эффективность применения металлов и сплавов в производственных условиях зачастую определяется комплексом их механических характеристик: твердостью, прочностью, пластичностью и т. д. В свою очередь, последние непосредственно связаны с такой характеристикой, как относительное удлинение металла, позволяющей давать оценку способности материала воспринимать нагрузки до разрушения, а также к деформации без повреждений. Пластичность наплавленного металла при сварке высокопрочных материалов оказывает большое значение, т. к. позволяет снизить вероятность образования трещин в околошовной зоне в случае сложного напряженного состояния металлоконструкции. Ранее было установлено, что SF₆ активно взаимодействует с расплавленным металлом в области сварки, что снижает количество углерода в металле шва. Это может, с одной стороны, несколько снизить прочность, но в то же время существенно повысить ударную вязкость, относительное удлинение и ряд других характеристик, определяющих работоспособность конструкции. Особенно это актуально в случаях, когда сварные соединения напрямую не воспринимают действие рабочих нагрузок, а являются связующими элементами.

Проведены исследования влияния количества SF₆ в составе защитной газовой смеси на значения относительного удлинения наплавленного металла. Образцы были получены с использованием высокопрочной сварочной проволоки сплошного сечения ESAB ОК AristoRod 69. Наплавка осуществлялась в трехкомпонентной газовой среде Ar (82 %) + CO₂ (18 %) + SF₆ с введением SF₆ в количестве 0,5 %...2 % при значении напряжения на дуге 22 В и скорости подачи сварочной проволоки 5,3 м/мин. Подготовка образцов осуществлялась в соответствии с ГОСТ 6996–66. Испытания на статическое растяжение проводились на разрывной машине РГМ 1000 М1 при комнатной температуре.

По полученным результатам отмечено, что присутствие гексафторида серы в составе защитной газовой атмосферы увеличивает значение относительного удлинения наплавленного высокопрочного металла на 30 % по сравнению с наплавленным металлом, полученным в традиционной газовой среде, что говорит о возможности использования разработанной технологии для изготовления металлоконструкций, эксплуатирующихся в климатических условиях с низкими температурными значениями.

УДК 621.791.75

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ, ДЕФОРМАЦИЙ
И КОРОБЛЕНИЯ ПЛАСТИНЫ $200 \times 100 \times 10$ ММ ИЗ СТАЛИ Р91
ПРИ МНОГОПРОХОДНОЙ СВАРКЕ НА БАЗЕ ПАКЕТА
ПРОГРАММЫ LS-DYNA

М. Н. ФИЛИППОВ¹, А. Л. МИНЬКОВ¹Научный руководитель С. В. МЕДВЕДЕВ², д-р техн. наук¹Белорусский национальный технический университет²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Проведены моделирование в средах ANSYS и LS-DYNA при многопроходной сварке температурных полей и расчёт термических напряжений и деформаций, а также величины коробления пластины $200 \times 100 \times 10$ мм из жаропрочной хромомолибденовой стали Р91. Двойной эллипсоид Голдака был использован в качестве трёхмерного источника нагрева. Моделирование проводилось в два этапа: получение распределения тепловых полей; деформационный анализ.

Цель работы – провести трёхмерное моделирование напряженно-деформированного состояния в процессе многопроходной сварки пластины $200 \times 100 \times 10$ мм и рассчитать напряжения и остаточные деформации в общей трехмерной постановке с применением метода МКЭ [1].

Расчёты проводились для автоматической аргодуговой сварки с неплавящимся электродом и погруженной дугой при $\eta_u = 0,6$, $I = 200$ А, $U = 25$ В, $v_{св} = 1$ мм/с и погонной энергии сварки $q = 3$ кДж/мм. Справочные данные по теплофизическим и механическим свойствам стали Р91, которые использовали при расчете, взяты из [2]. Моделирование сварки пластины проводили в три прохода с V-образной разделкой кромок при следующих максимальных температурах: источника тепла корневого шва – 2000 °С; источника тепла облицовочного шва правого и левого – 3000 °С. Количество элементов сетки – 438375.

Основные результаты.

1. Построена геометрическая модель пластины с конечно-элементной сеткой переменного размера: мелкая – в зоне шва и крупная – на остальных участках.

2. Определены максимальные остаточные растягивающие напряжения по фон Мизесу после сварки ($\sigma = 453$ МПа) и рассчитана остаточная деформация (коробление) после сварки по толщине пластины (ось $Y = 1,6$ мм).

3. Рассчитаны термические напряжения во времени при трехпроходной сварке правого (рис. 1) и левого торца пластины относительно начала сварки. Максимальные растягивающие напряжения возникают в центре правого торца – 28 МПа, а в центре левого торца – 29 МПа. Остаточные максимальные растягивающие напряжения в конце правого торца пластины – 4,2 МПа, а в середине левого торца пластины – 7 МПа.

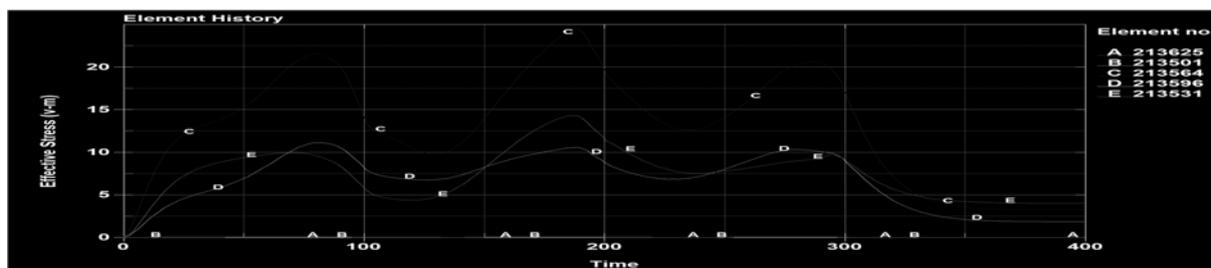


Рис. 1. Изменения термических напряжений во времени при трехпроходной сварке правого торца пластины относительно начала сварки

4. Рассчитаны изменения термических напряжений во времени при трехпроходной сварке переднего (рис. 2) и заднего (рис. 3) торца пластины относительно начала сварки. Термические напряжения во время сварки максимальны в середине переднего левого торца (кривая С) и равны 375 МПа при втором проходе, а также максимальны в середине заднего левого торца (кривая С) и равны 325 МПа при втором проходе. Остаточные растягивающие напряжения максимальны в середине переднего левого торца пластины (кривая С (255 МПа)) и ближе к шву (кривая D (325 МПа)), а остаточные растягивающие напряжения максимальны в середине заднего левого торца пластины (кривая С (100 МПа)) и ближе к шву (кривая D (280 МПа)).

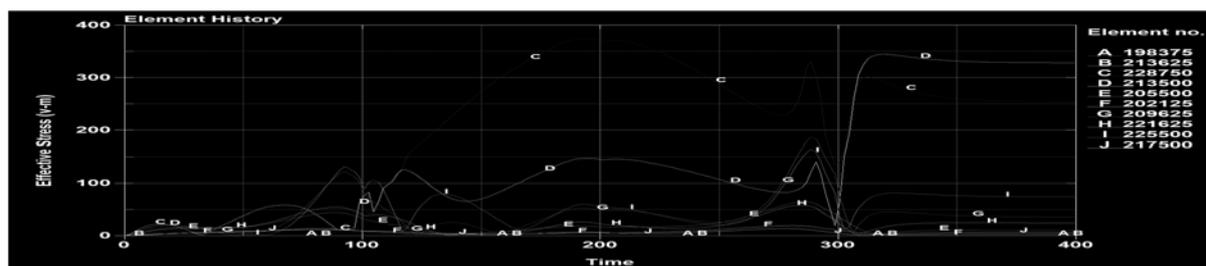


Рис. 2. Изменения термических напряжений во времени при трехпроходной сварке переднего торца пластины относительно начала сварки

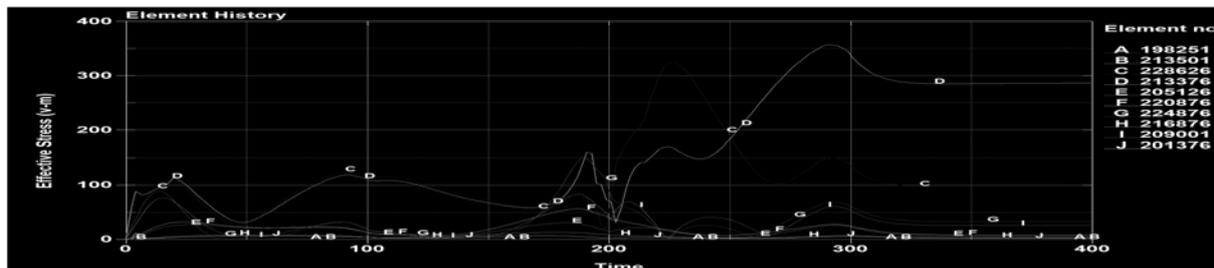


Рис. 3. Изменения термических напряжений во времени при трехпроходной сварке заднего торца пластины относительно начала сварки

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Prediction of deformation for large welded structures based on inherent strain / Yu Lu [et al.] // Trans. JWRI. – 2004. – Vol. 33, № 1. – P. 65–70.
2. T91/P91 Steel [Electronic resource]. – Mode of access: metalspiping.com.

УДК 621.791

РАСТВОРЕНИЕ КРЕМНИЯ В РАСПЛАВЛЕННОМ МЕТАЛЛЕ
СВАРНОГО ШВА

А. В. ШАБЛОВСКИЙ, Д. И. ЯКУБОВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Растворение кремния в расплавленном металле во время сварки является важным процессом, который оказывает значительное влияние на механические свойства сварного соединения. При взаимодействии кремния с расплавленным металлом происходят химические реакции, в результате которых образуются новые фазы и соединения, которые изменяют состав сплава и влияют на его структурный и фазовый состав.

Растворение кремния также способствует образованию мелких и однородных кристаллических структур, что затрудняет движение дислокаций, повышая прочность материала. Это особенно важно для конструкционных сталей, улучшая устойчивость к пластической деформации и разрушению под нагрузкой.

Важным аспектом является роль кремния в процессе раскисления расплавленного металла. Кремний может связываться с кислородом, образуя силикатные оксиды, что снижает содержание растворенного кислорода в расплаве. Это критически важно, т. к. кислород может вызывать образование пор и трещин, ухудшающих качество сварного шва.

Предметом исследований являлось определение растворения кремния в сварном шве при ручной дуговой сварке плавящимся электродом. Для проведения экспериментальной части исследования были изготовлены партии сварочных электродов, в качестве основы которых использовали электроды марки МР-3 с добавлением мелкодисперсного порошка карбида кремния. Таким образом, варьируя концентрацию добавки карбида кремния в составе покрытия сварочных электродов в количестве 3 %, 6 % и 9 % от массы шихты электродов соответственно, планировалось установить условия растворения кремния в сварном шве и оценить их влияние на микроструктуру шва.

После изготовления сварных образцов из пластин стали Ст3 толщиной 6 мм и размером 100 × 100 мм (согласно ГОСТ 6996–66) и образцов из наплавленного металла при пятислойной наплавке (согласно ГОСТ 9466–75) проводились металлографические исследования. Результаты исследований показали, что в металле сварного шва образовалась феррито-перлитная структура с размером зерен порядка 5...40 мкм. Преобладающая структура – перлит. В металле образцов пятислойной наплавки размер зерен составил порядка 10...70 мкм.

Во всех образцах наблюдалось равномерное распределение кремния по сечению зерен, не превышая 1 %...2 %.

УДК 621.791

ИСПЫТАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЖАТЕЛЕЙ ТЕРМОПАР

А. С. ШЕРСТОБИТОВ, Н. П. НИКИТЕНКО

Научный руководитель С. В. БОЛОТОВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Держатель термопар для контроля температуры на поверхности труб при дуговой сварке нефтепроводов выполняется на основе хомутной ленты из нержавеющей стали AISI 410 и плоского изолированного разъема РПИ-М из латуни марки Л63. Контактная сварка разъема РПИ-М и хомутной ленты производится на машине конденсаторной сварки МТК-1601. Разработаны технология сварки и система программного управления для её реализации [1, 2].

Разрушающие испытания сварных соединений при различных режимах контактной точечной сварки выполняли на разрывной машине KASON WDW-5. Определялось максимальное усилие на срез клеммы держателя термопар относительно хомутной ленты. Установлено, что при сварке на I–III ступенях ёмкости батареи конденсаторов (640...1920 мкФ) снижаются размеры сварной точки и велика вероятность образования непровара. Максимальное усилие на срез при этом не превышает 200 Н. Целесообразно сварку разъема РПИ-М и хомутной ленты осуществлять на IV ступени при емкости батареи конденсаторов 3200 мкФ при коэффициенте трансформации, равном 60. Снижение коэффициента трансформации до 30 сопровождается увеличением скорости нарастания сварного тока, что приводит к образованию выплесков расплавленного металла.

Установлено, что при снижении усилия сжатия электродов до 1,5 кгс усилие на срез падает от 260 до 135 Н в диапазоне напряжения на конденсаторной батарее от 250 до 300 В. Целесообразно сварку выполнять при усиллии сжатия электродов 2,0...3,0 кгс, при этом изменение усилия сжатия на срез в том же диапазоне напряжений на конденсаторной батарее составляет не более 55 Н. Максимальное усилие на срез сварной точки в 290 Н обеспечивается при сварке с усилием сжатия электродов 2,0...2,5 кгс при напряжении на конденсаторной батарее 250...260 В. При этом вырыв сварной точки осуществляется по металлу хомутной ленты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология контактной рельефной сварки держателей термопар / С. В. Болотов [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2024. – № 3. – С. 5–13.

2. Шерстобитов, А. С. Разработка системы управления машины конденсаторной сварки МТК-1601 / А. С. Шерстобитов, Е. П. Никитенко // 60 студенч. науч.-техн. конф. Белорус.-Рос. ун-та. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2024. – С. 198.

УДК 621.791.763.2

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА МЕДНЫХ ТОКОПОДВОДЯЩИХ КОНТАКТОВ

Н. М. ШУКАН, А. А. ЛОПАТИНА

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

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Современный мир нельзя представить без использования электрической энергии. За небольшим исключением, абсолютное большинство рабочих машин и механизмов приводятся в действие электродвигателями. Различного рода электротехнические устройства применяются для распределения, преобразования и использования электрической энергии. Ввиду своих преимуществ объёмы производства и потребления электрической энергии повышаются из года в год. Увеличиваются размеры и вырабатываемая мощность источников электроэнергии. Легковой и грузовой транспорт все чаще применяют электрический или гибридный привод, использование которого в условиях все расширяющейся электрической инфраструктуры становится все более актуально и экономически целесообразно. Однако это повышает требования к проводникам электрической цепи по максимальной мощности и надежности, особенно в местах их соединений и контактов, которые влияют непосредственно на общую эффективность энергосистемы. Из-за высокой электропроводности в обмотках электродвигателей применяется электротехническая медь в виде проводов заданного сечения, где их часть выводится. Однако применение пайки и опрессовки контактов не способно обеспечить равную проводимую мощность, по сравнению с основным металлом, и время работы таких элементов существенно ниже возможных. Применение пайки сопряжено с достаточно большим нагревом по длине проводника из-за высокой теплопроводности меди, что, зачастую, недопустимо.

Была разработана технология лазерной сварки электрических медных контактов. Медь способна отражать существенную часть лазерного излучения. Такой способ получения неразъемного соединения не только обеспечивает равнопрочность с основным металлом, но и гарантирует величину электрического сопротивления в зоне соединения на уровне основного материала медного проводника. Лазерный луч, как высокоэнергетический источник тепловой энергии, способен обеспечить получение жидкой фазы сварочной ванны даже на таком материале, как медь с высоким значением теплопроводности. Другими методами таких результатов достичь крайне сложно, что вынуждает применять присадочные материалы со сниженной температурой плавления по сравнению с медью. Сварка осуществляется без присадочного материала и допускает наличие зазора. Поскольку процесс происходит с высокой скоростью, зона нагрева не превышает нескольких поперечных сечений проводника.

УДК 621.791.763.2

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТОВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА ДЛЯ СВАРКИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Н. М. ШУКАН, Н. В. ПОПОВ

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

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Титан и его сплавы из-за низкой плотности широко применяются в аэрокосмической отрасли. Они хорошо обрабатываются и обладают высокой коррозионной стойкостью на открытом воздухе, в морской воде и ряде агрессивных сред. Высокая удельная прочность и жесткость титана позволяют значительно снизить вес конструкции по сравнению со сталями. Из него изготавливают множество ответственных деталей и узлов для авиации.

Эффективным способом соединения элементов при изготовлении различного рода конструкций является сварка плавлением. Она позволяет получать технологичные, со сниженной массой, детали самых различных конфигураций. Однако при этом существует ряд технологических особенностей, которые затрудняют получение равнопрочного сварного соединения высокого качества. Для получения качественного соединения сваркой плавлением изделий из титана необходимо обеспечить надежной газовой защитой от взаимодействия с воздухом и вредными примесями не только активную зону в месте расплава, но и области основного металла и металла шва, нагретые выше 400 °С...600 °С.

Традиционно сварка титана осуществляется неплавящимся электродом в среде инертных газов (TIG). При этом из-за низкой теплопроводности и коэффициента линейного расширения повышается вероятность появления недопустимого уровня внутренних напряжений в сварном соединении и деформаций. Более высокая температура плавления требует концентрированного источника энергии для нагрева и образования сварочной ванны.

При проведении исследований для соединения титана была использована сварка с применением оптоволоконного лазера, обеспечивающая высокую концентрацию вводимой энергии и позволяющая существенно снизить последствия термического цикла в виде деформаций. Минимальный размер сварочной ванны и большая скорость кристаллизации расплавленной ванны существенно снижают размеры зоны активного взаимодействия с окружающей средой. Стыковое соединение собиралось без зазора между кромками и сваривалось без использования присадочной проволоки. Такой метод может быть применен для большого диапазона толщин, в том числе двухсторонним способом. Для обеспечения газовой защиты сварка осуществлялась в камере с инертным газом. Проведенные испытания подтвердили получение не только равнопрочного сварного соединения, но и сохранение высокой пластичности околошовной зоны.

УДК 621.791.763.2

О ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОДНОГО УЗЛА ДЛЯ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ Т-ОБРАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Д. Н. ЮМАНОВ, А. О. СЕРГЕЙЧИК

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

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При обеспечении требуемого качества и механических характеристик сварных соединений при контактной точечной и рельефной сварке особое внимание уделяется конструкции электродных узлов контактных сварочных машин. Электродная оснастка должна обеспечивать не только точное расположение и фиксацию свариваемых деталей в процессе сварки, но и обладать высокими характеристиками проводимости сварочного тока. Наличие загрязнений на поверхности электродов, а также нерационально подобранная форма способствует повышению сопротивления межэлектродного участка $r_{ЭЭ}$, что может значительно снижать фактическую величину сварочного тока $I_{СВ}$.

По проведенным предварительным экспериментальным исследованиям установлено, что для получения качественного Т-образного сварного соединения цилиндрической втулки и пластины необходимо задавать максимально высокие значения сварочного тока $I_{СВ} = 27...32$ кА. Сварка на таком режиме приводит к разогреву втулки по всей высоте до температур свыше 550 °С, что свидетельствует о чрезмерном расходе тепловой энергии $Q_{ЭЭ}$ и, в свою очередь, является признаком нерационального подвода тока к зоне соединения, а также причиной появления недопустимых дефектов.

Проведены аналитические расчеты полного количества тепловой энергии, затрачиваемой на образование Т-образного сварного соединения, по результатам которых определено, что при подводе тока в торце втулки $Q_{ЭЭ} = 61,67$ кДж, что превышает оптимальный параметр $Q_{ЭЭ}$ более чем в 3 раза.

Согласно результатам проведенного математического моделирования различных вариантов исполнения верхнего подвижного электрода контактной сварочной машины замечено, что при подводе тока не в торец привариваемой втулки, а по её боковой цилиндрической части снижается общий нагрев изделия до нежелательных высоких температур, но повышается нагрев в контакте свариваемых деталей за счет концентрации линий протекания сварочного тока.

На основании проведенных исследований спроектирована разборная конструкция верхнего подвижного электрода, которая позволяет осуществлять подвод сварочного тока к боковой поверхности втулки вблизи контакта свариваемых деталей, а также обеспечивать точную фиксацию изделия в процессе сварки. Таким образом, предлагаемая конструкция электродного узла позволит решить проблему нерационального подвода сварочного тока к контакту свариваемых деталей, уменьшить тепловые потери $Q_{ЭЭ}$ на нагрев зоны сварного соединения, а также провести сварку на более низких значениях сварочного тока $I_{СВ}$, что позволит избежать перегрева деталей, потерь энергии и дефектов.

УДК 621.791

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА МЕТОДОМ ТОЧЕЧНОГО ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ

Д. И. ЯКУБОВИЧ, А. В. ВАСЕНИЧЕВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Метод электроэрозионного диспергирования на данный момент является одним из наиболее перспективных, т. к. позволяет получать порошок из любого токопроводящего материала, в том числе и из тугоплавких металлов и сплавов. Он отличается относительно невысокими затратами энергии и позволяет получить порошок с частицами сферической формы. Однако при анализе существующих установок для электроэрозионного диспергирования было выявлено, что имеющиеся на данный момент установки не всегда отвечают необходимым требованиям, предъявляемым к получаемому порошку. Часто гранулы в процессе производства оказываются слипшимися между собой, а также есть и сложности получения различных видов порошковых материалов в небольших объемах.

Для получения мелкодисперсного порошка округлой формы в небольших объемах из металлов различного химического состава была разработана экспериментальная установка для точечного электроэрозионного диспергирования металлов и сплавов. Сущность установки заключается в том, что в ней предусмотрена система принудительного перемещения электрода по диспергируемой поверхности, что не допускает его приваривания к этой поверхности. Сама система принудительного перемещения электрода представлена тремя видами – механическая, электромеханическая и осцилляторная.

Механическая система представляет собой коромысло с вольфрамовым электродом, перемещаемым к диспергируемой поверхности вручную. Электромеханическая система предусматривает перемещение коромысла с электродом при помощи электромагнитной катушки реле. При осцилляторной системе перемещения электрод установлен неподвижно, перемещается сама диспергируемая поверхность, электрод при этом не имеет непосредственного контакта с поверхностью, но между ними подается высокое напряжение, ионизирующее разрядный промежуток, через который пропускается силовой разряд.

Проведенные испытания установки позволили определить основные параметры ее работы, позволяющие регулировать дисперсность получаемого порошка в пределах 1...50 мкм: мощность установки – 1,5 кВт; напряжение – 50...250 В; частота – 2...300 Гц; емкость – 1...10 000 мкФ.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СОСТАВА Б83–(Al–Bi), СФОРМИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

Е. П. ЯНВАРЁВА

Научный руководитель Р. С. МИХЕЕВ, д-р техн. наук, проф.
Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
Москва, Россия

Работа направлена на изучение свойств композитного материала, создание прочного износостойкого материала на основе баббита Б83 для ремонта машин, где тяжело применить смазки.

Технологии нанесения покрытий на сегодняшний день широко распространены в машиностроении. Эти покрытия решают задачу быстрой изнашиваемости основных материалов. Именно поэтому порой не так важен основной материал детали, как покрытие, сформированное на ее поверхности [5]. В частности, материалом антифрикционного покрытия ответственных подшипников скольжения является сплав системы Sn–Sb (баббит). Баббит Б83 широко применяется в подшипниках электродвигателей, центробежных насосов, паровых турбин и других важных и ответственных конструкциях. Материал хорош при спокойной нагрузке ($p_v > 150$ кгм/см²). Б83 считается одним из самых дорогих антифрикционных материалов. Коэффициент трения его без смазки достаточно низок. Этот сплав имеет также хорошую, не выкрашивающуюся со временем вязкость и прирабатываемость [4]. Однако относительно низкие показатели усталостной прочности и износостойкости, вследствие присутствия в микроструктуре крупных кристаллов SnSb, ограничивают применение подобных материалов [1].

В последние годы для решения этой задачи находят применение композиционные материалы на основе баббита. Композиционные материалы создаются из порошков. Наличие в составе баббита интерметаллидных армирующих частиц обеспечивает модифицирующий эффект [2].

Процессом дуговой наплавки с погонной энергией 312 кДж/мм получали композиционные покрытия на стальной подложке (сталь 20, ГОСТ 1050). Чаще всего происходит именно нанесение дорогого материала на более простой и дешевый материал. Присадочным материалом служили композиционные прутки родственного состава Б83 – 3 масс. % (Al–Bi) с добавкой порошка «алюминий – висмут», изготовленные по технологии порошковой металлургии процессом экструзии [3]. Порошковая металлургия позволяет получать абсолютно любые сплавы, т. к. можно самому создать такой порошок, свойства которого компенсируют уже в виде наплавки, свойства более выгодного финансово материала, такого как сталь 20.

Если взглянуть на диаграмму состояния «алюминий – висмут», то она характеризуется широкой областью несмешиваемости в жидком состоянии и отсутствием промежуточных фаз. Положение максимума на кривой, ограничивающей область расслаивания, соответствует 1050 °С содержанию 18 % атомной массы

висмута. Получается, что существуют дополнительные центры кристаллизации, и количество крупных интерметаллидов должно уменьшаться.

Были проведены исследования структурно-фазового состава наплавленных композиционных покрытий. В частности, средствами оптической микроскопии в сочетании с системой трехмерного проектирования КОМПАС-3D v.18.1 определяли размер и площадь частиц SnSb и сопоставляли с таковыми для литого покрытия из матричного сплава Б83. Как упоминалось ранее, именно размер интерметаллидов SnSb определяет прочность, вязкость, а также сопротивление покрытия на основе сплава Б83 сжатию и растяжению.

Предположения подтвердились. Согласно полученным результатам, в композиционном покрытии средний размер интерметаллидов SnSb уменьшается на 14 % по сравнению с покрытием из матричного сплава (95,21 мкм против 108,37 мкм). Кроме того, растет доля интерметаллидов SnSb, площадь поперечного сечения которых не превышает 5000 мкм² (табл. 1).

Табл. 1. Характеристики кристаллов SnSb в полученных покрытиях

Состав покрытия, масс. %	Доля интерметаллидов SnSb, %, в зависимости от их площади, мкм ²				
	500...1000	1000...2000	2000...5000	5000...10000	> 10000
Б83	–	6,41	18,9	55,82	18,87
Б83–3 (Al–Bi)	0,87	3,76	42,31	46,47	14,05

Таким образом, показано, что композиционные покрытия состава Б83–(Al–Bi), сформированные процессом дуговой наплавки с погонной энергией 312 кДж/мм, характеризуются меньшим средним размером интерметаллидов SnSb по сравнению с покрытиями из матричного сплава Б83, что позволит повысить значения их усталостной прочности и износостойкости. Увеличение доли наполнителя в композиционных материалах приводит к уменьшению интенсивности и коэффициенту изнашиваемости [6]. Чем больше армирующих частиц в композиционных материалах, тем меньше доля матрицы в поверхности трения, а также ниже нагрузки на каждую частицу в отдельности при выполнении ими роли поддерживающих элементов на контактной поверхности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Leszczynska-Madej, B.** Effect of chemical composition on the microstructure and tribological properties of Sn-based alloys / B. Leszczynska-Madej, M. Madej, J. Hrabia-Wisnios // *The Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2019. – Vol. 28. – P. 4065–4073.
2. Effect of microcrystalline boron particles on structure and tribological properties of welded B83 babbitt layers / L. I. Kobeleva [et al.] // *Inorganic Materials: Applied Research*. – 2020. – № 1. – P. 1–6.
3. Technological parameters of production and properties of babbitt-based composite surfacing rods and deposited antifriction coatings / I. E. Kalashnikov [et al.] // *Inorganic materials: Applied Research*. – 2019. – Vol. 10, № 3. – P. 635–641.
4. **Альшиц, И. Я.** Опоры скольжения / И. Я. Альшиц, Н. Ф. Вержбицкий, Э. Ф. Зоммер. – Киев; Москва, 1958. – С. 196.
5. **Пенкин, Н. С.** Основы трибологии и триботехники / Н. С. Пенкин, А. Н. Пенкин, В. М. Сербин. – Москва: Машиностроение, 2008. – С. 208.
6. **Михеев, Р. С.** Алюмоматричные композиционные материалы с карбидным упрочнением для решения задач новой техники / Р. С. Михеев, Т. А. Чернышова. – Москва: Маска, 2013. – С. 356.

УДК 629.114.2:621.828.6

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПРОДОЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ ГРУНТА
ПО ПЕРЕДНИМ ГРАНЯМ ГРУНТОЗАЦЕПОВ

В. О. ВЕСЕЛОВ

Научный руководитель А. В. КУЛАБУХОВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Распределение усилий грунта по лобовым граням грунтозацепов является одной из важнейших зависимостей при определении тягового сцепления гусеничной машины с грунтом. Верное определение этой зависимости является основным шагом при разработке метода расчета сопротивления в целом, которое оказывает грунт на гусеничный движитель при их взаимодействии.

В работах многих исследователей, по нашему мнению, верно указано на то, что распределение нормальных реакций грунта по лобовым граням зацепов зависит от многих конструктивных и эксплуатационных параметров.

В процессе взаимодействия грунта с движителем продольные усилия, действующие на каждый в отдельности зацеп, не будут равными друг другу. Заглубление в грунт очередного зацепа не приведет к перераспределению продольных усилий по ранее заглубленным зацепам, т. к. те уже обеспечивают необходимое сопротивление. Однако при извлечении из грунта последнего зацепа продольные усилия, действующие на лобовые грани остальных, будут перераспределены, компенсируя его отсутствие. В этом случае все заглубленные зацепы, включая и вновь погруженный, дополнительно спрессуют грунт на определенную величину. У вновь погруженного зацепа это будет первая подпрессовка, а у предшествующего она будет второй. Очевидно, что каждый следующий зацеп будет иметь общее количество подпрессовок на единицу больше, чем предыдущий.

При предельном значении суммарной подпрессовки грунт перед зацепом заднего трака гусеницы разрушится, что приведет к перераспределению усилий по остальным зацепам. Увеличение касательной силы у предпоследнего зацепа вызовет дополнительную деформацию, что может привести к срезу грунта перед очередным зацепом. Таким образом, можно сделать вывод о возможном полном срезе грунта всеми зацепами в случае его среза последним. Такое взаимодействие зацепов с грунтом используется многими исследователями в области гусеничных движителей.

Таким образом, зацеп последнего трака гусеничного движителя является наиболее нагруженным и исключение его из работы может привести к срезу грунта всеми остальными зацепами, а следовательно, к 100-процентному буксованию машины.

УДК 624.138

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К УПЛОТНЕНИЮ ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

А. И. КАЙЛЬ¹, Е. С. ЕСКИН¹, С. А. ВОЙНАШ²

Научный руководитель Н. К. ТАГИЕВА, канд. техн. наук, доц.

¹Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)

Москва, Россия

²Казанский федеральный университет

Казань, Россия

Процесс уплотнения – способ достижения нужной твердости и плотности грунта, который является неотъемлемой частью любого строительства, начиная от жилых домов, заканчивая ямочным ремонтом. Строительство зданий и сооружений на неподготовленной почве, укладка дорожного полотна на неуплотненной подушке, ремонт дорожного полотна без уплотнения просевшей подушки ведут к неминуемому разрушению сооружений путем осадки почвы. Улучшение грунта обеспечивается удалением из него воздуха, воды, пористости. Обеспечение плотности нижних слоев поверхности является ключевой задачей в сфере дорожного строительства. Большинство методов улучшения грунта используются для уменьшения осадки и увеличения несущей способности.

В зависимости от целей строительства уплотненный слой достигает до нескольких метров, как и слой насыпного дорожного полотна. На сегодняшний день существуют разные методы уплотнения, рекомендованные для соответствующего грунта.

При использовании только одного метода невозможно добиться требуемого улучшения любых почв. Каждый метод эффективен в соответствующих условиях (рис. 1).

Торф	Мягкая глина	Глина	Твёрдая глина	Ил	Илистый песок	Песок	Гравий
Армирование раствором							
Вакуумная консолидация							
		Каменные колонны					
Динамическая замена							
			Высокоэнергетическое ударное уплотнение (HEIC)				
						Вибро-уплотнение	
						Динамическое уплотнение	
						Быстрое ударное уплотнение	
Вертикальные дренажи							

Рис. 1. Распределение методов уплотнения по типу уплотняемого материала

К примеру, торфяной грунт способны эффективно уплотнять методы армирования и вакуумной консолидации. Глина и ил также хорошо подвергаются уплотнению армированием, вакуумной консолидацией, а также высокоэнергетическим ударным уплотнением. Песчаную почву способны эффективно уплотнять вибрационное уплотнение и методы, основанные на трамбовании грунта.

Максимального коэффициента уплотнения грунта в некоторых случаях возможно добиться, комбинируя несколько методов улучшения грунта при строительстве и реконструкции дорог [1–3]:

- армирование раствором, который требует разных вариантов реализации соответствующей конструкции рабочего оборудования для достижения большего эффекта уплотнения при разных условиях работы;
- струйное армирование с множеством параметров регулирования;
- перемешивание грунта с раствором;
- укрепление почвы «каменными колоннами»;
- динамическое уплотнение.

Например, сочетание методов «каменные колонны и сваи» для стабилизации колонны на сверхмягких грунтах.

Процесс улучшения грунтов является неотъемлемой частью любого строительства, начиная от жилых домов, заканчивая ямочным ремонтом, что требует использования соответствующей технологии уплотнения. Строительство зданий и сооружений на неподготовленной почве, укладка дорожного полотна на неуплотненной подушке ведут к неминуемому разрушению сооружений из-за осадки почвы.

В ходе проделанной работы можно с уверенностью сказать, что на данном этапе развития технологий добиться высокого качества уплотнения можно на любых типах почв. Сложно выделить какой-либо способ улучшения грунта, т. к. каждый из них подходит для разных типов грунтов, технологического задания, географического местоположения и т. д. Зачастую грунт требует комплексного подхода, заключающегося в использовании нескольких методов вместе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машина для динамического уплотнения грунтов: а. с. SU 1452881 / В. В. Крылов, В. П. Станевский, А. А. Франивский, Л. А. Постовой. – Оpubл. 23.01.1989.
2. Способ возведения свайно-плитного фундамента: пат. RU 2390609 / К. Ш. Шадунц. – Оpubл. 27.05.2010.
3. Двумерная консолидация грунта под действием электроосмоса в сочетании с предварительным вакуумным нагружением / Ш. Ян [и др.] // Основания, фундамента и механика грунтов. – 2020. – № 1. – С. 13.

УДК 621.929

ГРОХОТ ВОЛНОВОЙ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

М. С. КУЗЬМЕНКОВА¹Научный руководитель Л. А. СИВАЧЕНКО², д-р техн. наук, проф.¹Барановичский государственный университет

Барановичи, Беларусь

²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Представленный грохот разработан для интенсификации процесса просеивания неоднородного по составу и свойствам сырья. Характеризуется высокой производительностью при переработке трудноразделяемых материалов, при этом имеет высокую энергоэффективность. Функциональная ценность рассматриваемой конструкции заключается в простоте изготовления аппарата и эффективности его использования. Конструктивно схема грохота приведена на рис. 1.

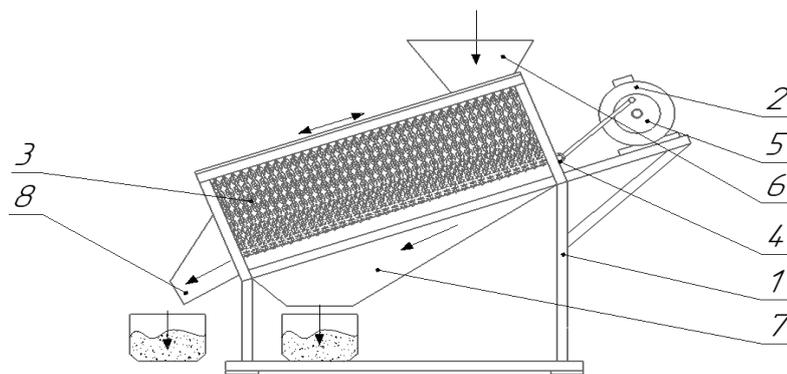


Рис. 1. Грохот волновой непрерывного действия

Рабочий процесс грохота волнового осуществляется следующим образом. Включается приводной электродвигатель 2, установленный на раме 1, и с помощью кривошипно-шатунного механизма 5 сообщает сложные возвратно-поступательные движения перемещения толкающей планке 4, от которой они передаются непосредственно продольной оси дугообразного цепного полотна 3, по которому распространяются в виде волн его деформации. Подаваемый через загрузочный бункер 6 исходный материал попадает в верхнюю часть дугообразного цепного полотна 3 и приводится в интенсивные продольные перемещения посредством толкающей планки 4, один из концов которой шарнирно связан с приводом таким образом, что ось шатуна совпадает с ее продольной осью, а вследствие угла наклона просеивающей поверхности происходит его движение вниз по просеивающей поверхности цепного полотна 3. Частицы материала, получив интенсивный импульс движения, встречаются с рабочей поверхностью цепного полотна 3, где через отверстия частицы, которые меньше их по размерам, отсеиваются и поступают в бункер 7, а частицы, превышающие отверстия, отбираются из агрегата через лоток 8.

УДК 623.437.3.093; 629.03; 629.36

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПОРТАЛЬНЫЙ МОСТ ДЛЯ ТРАКТОРА 3–4 ТЯГОВЫХ КЛАССОВ

К. Н. СЕРОВ¹, С. А. ВОЙНАШ²

Научный руководитель Р. Ю. ДОБРЕЦОВ¹, д-р техн. наук, доц.

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Россия

² Казанский федеральный университет

Казань, Россия

Современное сельское хозяйство требует использования высокоэффективных и универсальных машин, способных адаптироваться к разнообразным условиям работы. Одной из ключевых задач является минимизация воздействия на почву при сохранении высокой производительности. Для решения этой проблемы многие производители тракторов разрабатывают модели, которые позволяют заменять колесные движители на гусеничные. Трактор с гусеничным движителем, при прочих равных условиях, обладает большей проходимостью, лучшими тягово-сцепными характеристиками, сниженным давлением на опорную поверхность. Примером таких тракторов являются *JohnDeere 8R*, *Case IH Magnum*, *New Holland T9*, *Fendt 900 Vario*. В России тоже накапливается опыт применения гусеничных модулей на колесном тракторе «Кировец» [1].

За счет расположения ведущего катка в верхней части гусеничного обвода высота центра тяжести трактора увеличивается, в сравнении с колёсным вариантом движителя, что уменьшает проходимость трактора на уклонах. Для уменьшения высоты центра масс может быть применен порталый ведущий мост, который обеспечит несоосность полуосей главной передачи с осями ведущих катков гусеничного движителя. При обратной же установке порталого моста можно достичь другой цели – увеличение дорожного просвета, что позволит трактору работать в хлопковых полях, рисовых чеках и чайных плантациях.

Вследствие того, что площадь опорной поверхности у гусеничного движителя больше, чем у колёсного, можно предположить, что сопротивление повороту у гусеничного движителя будет также больше. Соответственно, при использовании поворотного моста, либо поворотного шарнира, нагрузка на них будет больше. Для уменьшения негативного влияния можно использовать механизм, распределяющий поток мощности между гусеницами [2].

Электромеханический порталый мост позволяет и компенсировать изменение высоты центра тяжести трактора, и перераспределять мощность между гусеницами.

За основу электромеханического порталого моста взят мост, описанный и представленный в [3], кинематическая схема которого изображена на рис. 1.

Ключевым объектом является редуктор (поз. 10), обеспечивающий три режима.

1. Режим с передаточным отношением, равным (-1) , обеспечивающий

распределение мощностей между бортами в зависимости от величины и направления крутящего момента, подводимого от ТЭД (поз. 9).

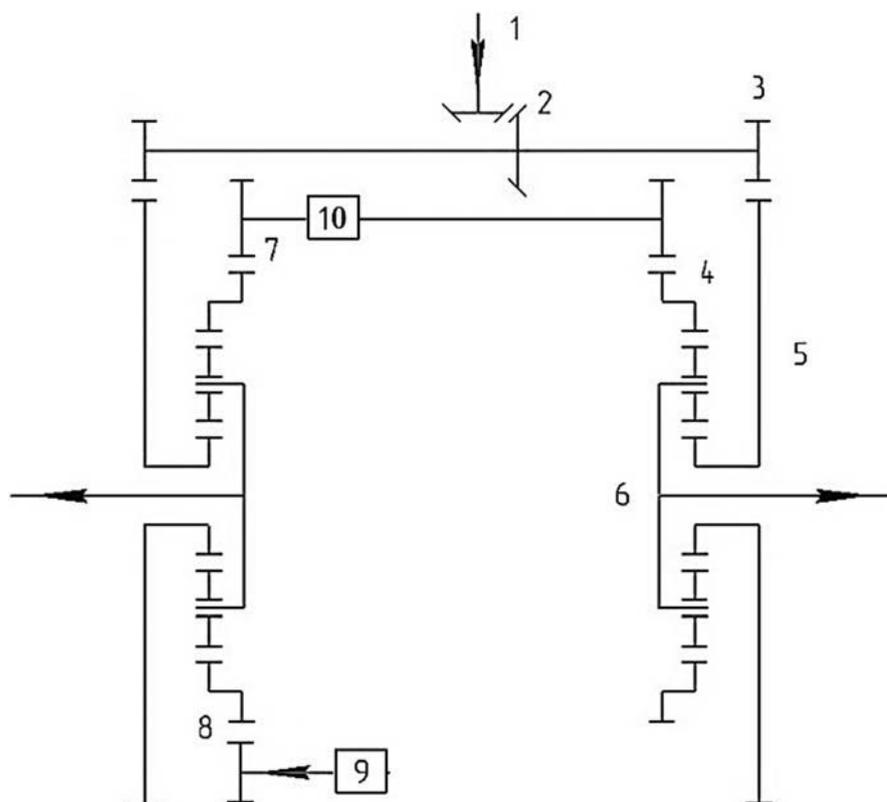


Рис. 1. Упрощенная кинематическая схема электромеханического порталного моста: 1 и 2 – первая ступень центральной передачи; 3 – вторая ступень центральной передачи; 4, 5, 6 – эпицикл, солнце и водило суммирующего планетарного механизма; 7 – межбортовая связь; 8 – редуктор; 9 – реверсивный тяговый электродвигатель; 10 – управляемый редуктор

2. Режим с передаточным отношением, равным (+1). В этом случае суммируются потоки мощности по источникам 1 и 9. Данный режим может быть использован для увеличения тяговой силы. Продолжительность использования режима будет определяться в основном характеристиками электродвигателя (поз. 9) и возможностями бортовых источников питания.

3. Режим остановки параллельного потока мощности. В этом случае механизм (поз. 10) блокируется. Движение шасси возможно за счет подвода энергии через поток от шестерни 1. Управление перераспределением мощности за счет параллельного потока исключается. Дифференциальной связи между бортами нет, режим предлагается рассматривать как запасной (аварийный).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Режим доступа: <https://kirovets-ptz.com/press/news/kirovets-na-gusenitsakh-pashet-quot-boloto-quot/>. – Дата доступа: 30.06.2024.
2. Трансмиссии тракторов (конструкция) / В. М. Шарипов [и др.]; под ред. В. М. Шарипова. – Москва: МАМИ, 1999. – 245 с.
3. **Добрецов, Р. Ю.** Портальный мост с разнесенным дифференциалом / Р. Ю. Добрецов, С. А. Войнаш // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Рязань, 2023. – С. 231–237.

УДК 621.892

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Д. С. ТАЛДЫКИН², А. В. ГРИШКИНА¹

Научный руководитель А. А. АКУЛОВ¹, канд. техн. наук

¹Государственный университет управления

²Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ)

Москва, Россия

В связи со склонностью сельскохозяйственной техники к поломкам, одним из ключевых факторов эксплуатационных показателей двигателей техники является качество моторных масел и периодичность его замен. Нестабильные сроки эксплуатации техники в сельскохозяйственной отрасли приводят к частым изменениям теплового режима двигателя, т. к. для данной отрасли характерны и длительные работы без остановок, и работа с частыми перерывами. Это приводит к повышению уровня осадков в нефтепродукте и большему расходу топлива.

Большое влияние на эксплуатационные характеристики двигателя имеет определение оптимального периода использования моторных масел в технике. Преждевременная замена влечет за собой излишние экономические затраты на материалы и технические работы. Если же длительное время не происходило замены масла, эффективность работы техники снижается и увеличивается количество поломок двигателя [1].

Полная замена моторного масла необходима при потери его основных эксплуатационных качеств. Окисляемость и повышение уровня осадков в масле являются главными причинами их потерь. Вероятнее всего загрязнение спровоцировано попаданием в масло песка, металлических частиц, сераорганических соединений и воды. В промышленности не допускаются к использованию масла с содержанием серы выше 0,03 % и полициклических ароматических углеводородов более 3 %. Содержание механических примесей не должно превышать 0,2 % [2]. В табл. 1 представлены предельные значения показателей отработанных масел.

Табл. 1. Предельные значения браковочных показателей моторных масел

Наименование показателей	Предельное значение масел	
	бензиновых	дизельных
Содержание примесей, %, не более	1,0	3,0
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	0,5...2,0	1,0...3,0
Содержание воды, %, не более	0,5	0,3
Содержание топлива, %, не более	0,8	0,8

Для получения лучшего химического состава нефтепродукта используют совмещение различных процессов очистки смазочных масел. Наилучшим вариантом совмещения является селективная очистка, ректификация, гидроочистка, гидрокреннинг и адсорбционная очистка.

Для увеличения срока службы моторов сельскохозяйственной техники чаще всего используется полнопоточная система тонкой очистки моторного масла. Благодаря данной системе фильтрации, уровень поломок и износа деталей двигателя сокращается в 2 раза.

Однако фильтрация и вентиляция картера не могут полностью предотвратить срабатываемость масел. На основе изучения эксплуатационных свойств и особенностей работы двигателей устанавливается срок службы моторных масел. Также учитывается экономическая и техническая целесообразность замены нефтепродукта, в зависимости от работы на газообразном или жидком топливе. Чтобы увеличить периодичность замены масла, в него добавляют диспергирующие присадки [3]. На данный момент разработана саморегулирующая смазочная система, которая позволяет автоматически ввести в масло новую порцию присадки по мере необходимости, что позволяет использовать двигатели без замены масла на продолжительных периодах с наименьшей потерей качества работы мотора.

Работа подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет средств федерального бюджета по государственному заданию (наименование темы научного исследования «Разработка научно-методических основ и методик производства и внедрения полимерных, композиционных материалов и смазочных композиций в интересах агропромышленного комплекса Российской Федерации»; код научной темы, присвоенной учредителем, FFSFM-2024-0018).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сырбаков, А. П.** Топливо и смазочные материалы: учебное пособие / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова. – Томск: Томский политехн. ун-т, 2015. – 159 с.
2. **Богданов, В. С.** Технологии и средства обеспечения качества топливно-смазочных материалов в АПК / В. С. Богданов, Н. Н. Пуляев, Ю. С. Коротких. – Москва: Триада, 2016. – 116 с.
3. **Бобровник, А. И.** Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебно-методическое пособие / А. И. Бобровник. – Минск: БГАТУ, 2010. – 212 с.

УДК 621.929

ВОЛНОВОЙ СМЕСИТЕЛЬ АДАПТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Ю. М. ХАРИТОНОВ

Научный руководитель Л. А. СИВАЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Рассматриваемый смеситель разработан для повышения эффективности процесса приготовления из различных компонентов однородных по качеству смесей и обладает высокой производительностью, низким энергопотреблением, а также характеризуется очевидной конструктивной простотой и удобством в обслуживании и эксплуатации. Для проведения экспериментов был изготовлен опытный образец. Схема смесителя приведена на рис. 1.

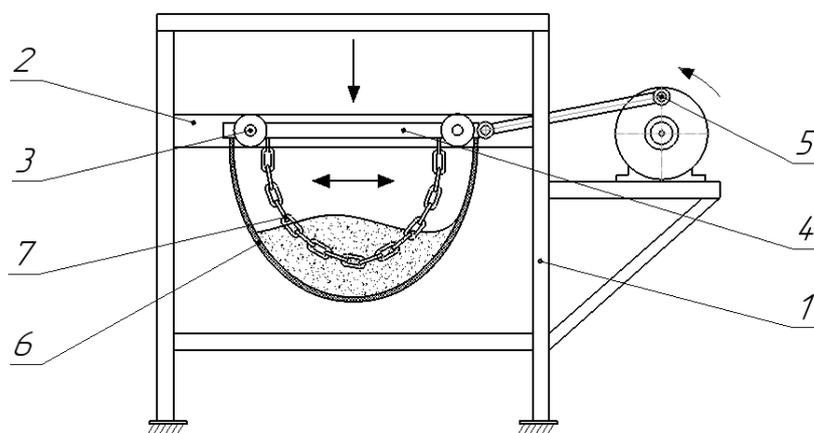


Рис. 1. Волновой смеситель адаптивного действия

Волновой смеситель содержит раму 1, на которой посредством направляющих 2, с установленными в них роликами 3, смонтирована прямоугольная рамка 4, совершающая возвратно-поступательное движение под действием кривошипно-шатунного механизма 5 в направлении, перпендикулярном её продольной оси, причём в рабочей камере 6 для интенсификации процесса смонтированы цепные звенья 7, концы которых неподвижно закреплены на противоположных сторонах прямоугольной рамки 4 и свободно провисают эквидистантно относительно рабочей камеры 6.

Рабочий процесс волнового смесителя адаптивного действия происходит следующим образом. Кривошипно-шатунный механизм 5 приводится в движение и позволяет прямоугольной рамке 4, на которой жёстко закреплена рабочая камера 6, совершать возвратно-поступательное движение посредством направляющих 2 с установленными в них роликами 3. В верхнюю часть рабочей камеры 6 подаются исходные компоненты смеси, перемешивание которых происходит в рабочей камере 6, установленной под углом к горизонту с постепенным скатыванием материала и последующей выгрузкой. Для интенсификации рабочего процесса в рабочей камере 6 на прямоугольной рамке 4 смонтированы цепные звенья 7.

УДК 621.311.62

РАСПОЛОЖЕНИЕ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА МАГИСТРАЛЯХ

И. А. ЧЕРДИНЦЕВ

Научный руководитель А. Н. РОЖКОВ, канд. техн. наук, доц.

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Москва, Россия

В последние годы рынок автомобилей пополняется новыми транспортными средствами, работающие исключительно на электроэнергии. Темпы роста сектора электротранспорта указывают на большие перспективы вытеснения автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, работающих на ископаемом топливе, из значительной части рынка потребления. Согласно Концепции производства и развития электротранспорта в России, к концу 2024 г. планируется произвести 17500 ед. транспорта. Заинтересованность государства в производстве электромобилей говорит о больших изменениях в дорожно-транспортной сфере в ближайшем будущем.

Но переход на электромобили в отдаленных от городов местах идет медленнее, чем в городах. Связано это с неуверенностью автовладельцев в возможности зарядки электромобилей на магистралях, а также в проходимости электромобилей на одном заряде.

Как итог, приведена таблица ТОП-5 моделей электромобилей (табл. 1), их продажи за 2023 г., а также их энергетические показатели (емкость аккумуляторной батареи и дальность хода).

Табл. 1. Характеристики автомобилей по моделям

Модель	Количество продаж, шт. (%)	Емкость батареи, кВт·ч	Проходимость, км
Zeekr	2932 (29,67)	100	656
Evolute I pro	1417 (14,34)	53	433
VW iD4	1308 (13,24)	83	607
Tesla	771 (7,80)	75	451
VW iD6	640 (6,48)	77	588

Возникает необходимость понять – достаточно ли будет зарядных станций на магистрали, чтобы электромобили смогли спокойно преодолевать большие дистанции.

Для этого была написана программа на языке программирования Matlab. Основная задача – оценить распределение посещаемости машин для каждой зарядной станции, если бы через магистраль в 1000 км проходило 1000 электромобилей, при этом распределение зарядных станций было равномерное, а проходимость электромобиля – 100 км.

В результате работы получены графики, по которым понятна эффективность размещения зарядных станций. Эти графики можно разделить на два

основных итога: стабильный (рис. 1) и рискованный (рис. 2). При стабильном все машины доходят до конца магистрали, а при рискованном есть существенная вероятность, что электромобиль разрядится и остановится.

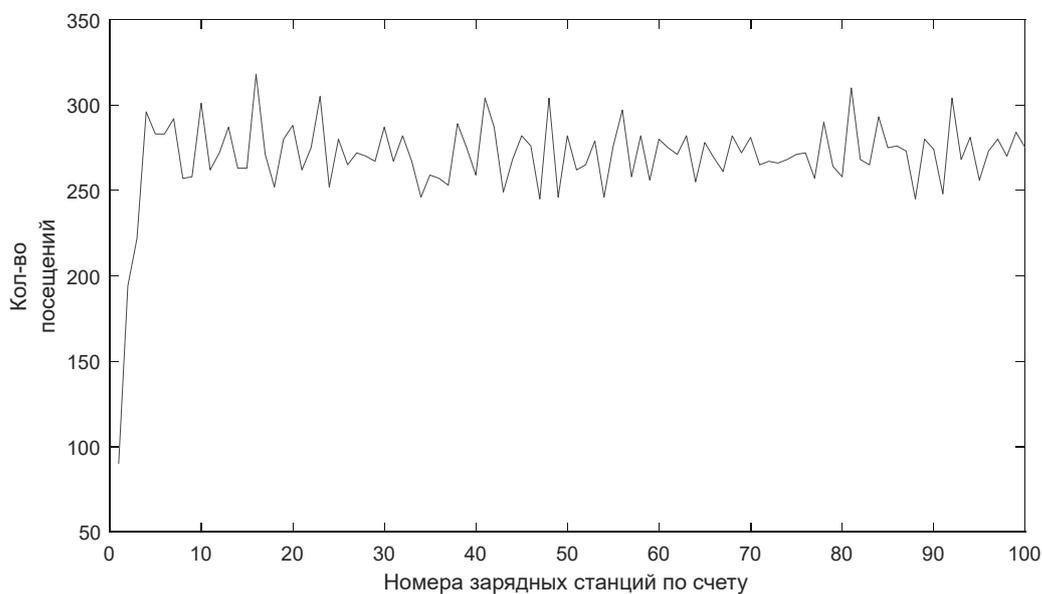


Рис. 1. Стабильное размещение зарядных станций

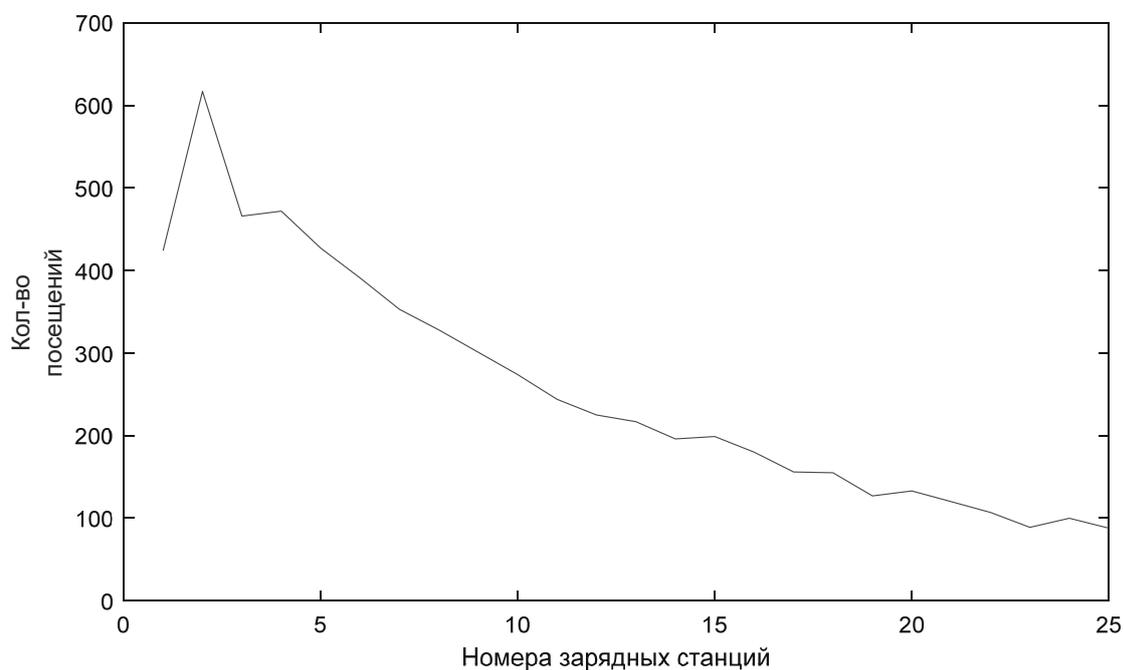


Рис. 2. Рискованное размещение зарядных станций

Таким образом, можно понять, что признаком рискованного размещения зарядных станций служит нисходящий тренд, а при стабильном размещении – боковой тренд.

УДК 621.9

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ТОНКОГО ГРОХОЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДУГООБРАЗНЫХ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ СИТ

С. Ф. ШАШЕНКО

Научный руководитель Л. А. СИВАЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В настоящее время в промышленности для классификации материала используются вибрационные, гирационные, барабанные, роликовые и другие грохоты. Однако все они обладают недостатками. Основные из них: сложность конструкции, малая удельная производительность, низкая эффективность при грохождении мелкого материала.

Дальнейшее развитие процессов тонкого грохождения зернистых продуктов может быть реализовано на основе преобладающего эффекта принудительного перемещения частиц через отверстия просеивающих поверхностей под действием совокупного влияния инерционных сил этих частиц и активных перемещений просеивающих поверхностей, причем векторы перемещений частиц и просеивающих поверхностей направлены навстречу друг другу.

В качестве примера технического выполнения предлагается конструкция волнового грохота. Его отличительная особенность от известных просеивающих устройств состоит в том, что просеивающая поверхность выполнена волнообразной и совершает колебательные перемещения, способствующие передаче своей внутренней поверхностью интенсивных перемещений находящемуся на ней материалу. Это создает оптимальные условия как для прохода частиц подрешетного продукта через отверстия просеивающей поверхности, так и обеспечивает удаление из этих отверстий застрявших в них и склонных к налипанию частиц.

Конструкция грохота с волновой просеивающей поверхностью может быть выполнена в виде дугообразно изогнутого сита, боковые стороны которого закреплены на качающейся прямоугольной рамке, установленной на раме и имеющей возможность совершать возвратно-поступательные или качательные перемещения. В процессе этих перемещений материал, находящийся на внутренней поверхности сита, представляющей собой установленный под углом к горизонту лоток, приводится в интенсивное движение, которое обеспечивает высокую эффективность процесса, а вибрационные собственные колебания поверхности сита устраняют забивание просеивающих отверстий и налипание на них влажных материалов.

На основании разработанного подхода изготовлен экспериментальный образец волнового грохота. Его опробование в лабораторных условиях показывает высокую технологическую эффективность. Конструкция обладает патентной новизной и имеет широкую сферу практического использования.

УДК 624.07

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РАМЫ ПРИ АВАРИЙНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

М. А. АМЕЛИНА

Научный руководитель В. И. КОЛЧУНОВ, д-р техн. наук, проф.
Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет
Москва, Россия

Несмотря на введенный в ряде стран, включая и Россию, стандарт ИСО 2394 по основным принципам надежности, реальный инструментарий для практической реализации такого документа в практике проектирования строительных конструкций до настоящего времени не разработан. Необходимы дальнейшие исследования по этой проблеме и разработка соответствующих вероятностных моделей для прогноза и оценки надежности строительных конструкций зданий и сооружений в особых расчетных ситуациях. В связи с этим в настоящей работе предложена вероятностная модель расчета риска отказа железобетонной рамы при потере устойчивости ее элементов, вызванной особым аварийным воздействием – удалением одной из колонн.

Был построен алгоритм расчета вероятности отказа железобетонной рамы при потере устойчивости ее элементов, вызванной удалением одной из колонн, включающий следующие элементы.

1. Построение расчетной схемы двухпролётной железобетонной рамы, нагруженной внецентренно приложенными продольными силами. Нагружение рамы производится в два этапа. На первом этапе к верхним узлам рамы прикладывается постоянная статическая нагрузка в виде сосредоточенных сил P_1, P_2, P_3 с эксцентриситетом e . На втором этапе прикладывается особое воздействие в виде внезапного удаления крайней колонны первого этажа.

2. Определение критических параметров и критических значений сил для каждой из стоек рамы по первичной и вторичной расчётным схемам с использованием метода перемещений. Учитывая уровневое изменение жесткостей элементов рамы вследствие трещинообразования при нагружении конструкции, вычисление коэффициента средних деформаций арматуры на участках между трещинами и, соответственно, приведенных жесткостей сечения производится с учетом деформационного эффекта [1]. При этом для построенных с учетом деформационного эффекта эпюр распределения деформаций бетона и арматуры вычисляются относительные взаимные смещения арматуры и бетона на участке между двумя смежными трещинами.

3. Вычисление основного параметра железобетона – параметра средних деформаций арматуры (коэффициента В. И. Мурашева ψ_s) – производится методом наименьших квадратов. Для функции параметра ψ_s получено выражение

$$\begin{aligned} \psi_s &= \frac{\varepsilon_{sm}}{\varepsilon_s} = \frac{2}{\varepsilon_s l_{crc}} \int_0^{0.5l_{crc}} \varepsilon_s(y) dy = \frac{2}{\varepsilon_s l_{crc}} \int_0^{0.5l_{crc}} (\varepsilon_s + ay^2 + by^4) dy = \\ &= \frac{2}{\varepsilon_s l_{crc}} \left[\frac{1}{2} \varepsilon_s l_{crc} + \frac{1}{24} a l_{crc}^3 + \frac{1}{160} b l_{crc}^5 \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

4. Вероятностная модель отказа элементов рамы после внезапного удаления одной из колонн (рис. 1) строится с использованием принципа эквиградиентности Г. А. Гениева [2], математическое выражение которого записано в виде

$$\frac{\partial P}{\partial q_1} = \frac{\partial P}{\partial q_2} = \frac{\partial P}{\partial q_n}. \quad (2)$$

5. Подставляя выражения параметров устойчивости, получено значение экстремума функции f (экстремум критической силы):

$$f = \frac{v_0^2 B_{0.red}}{l_0^2}. \quad (3)$$

Предложенный алгоритм апробирован примером определения вероятности потери устойчивости (рис. 2) конструкции железобетонной рамы при рассмотренном режиме нагружения и выполнено сопоставление расчетных и опытных значений критических сил потери устойчивости для рамы, результаты испытаний которой приведены в [3].

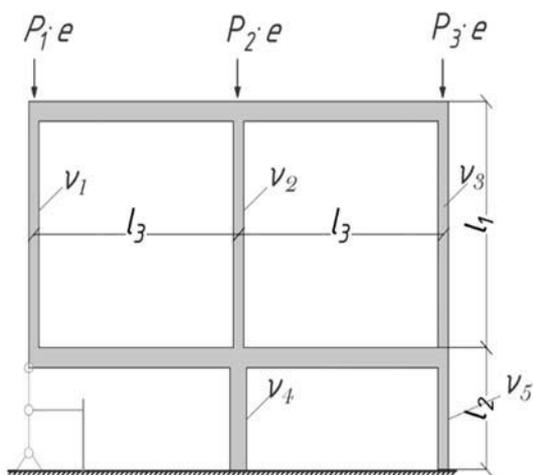


Рис. 1. Схема конструкции опытной рамы

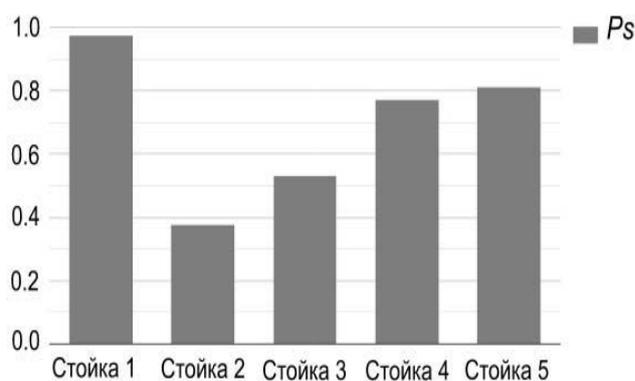


Рис. 2. Диаграмма вероятности на потери устойчивости каждой из стоек рамы после мгновенного удаления крайней колонны

Значение относительной разницы между расчетными и опытными значениями составило 5,9 %. Это позволяет сделать вывод об удовлетворительной сходимости результатов расчета по предложенной методике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчунов, В. И. Определение уровневого расстояния между трещинами в железобетонных конструкциях / В. И. Колчунов, С. С. Федоров // Строительство и реконструкция. – 2024. – № 4. – С. 14–28.
2. Гениев, Г. А. О принципе эквиградиентности и применении его к оптимизационным задачам устойчивости стержневых систем / Г. А. Гениев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1979. – № 6. – С. 8–13.
3. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario / S. Savin [et al.] // Buildings. – 2023. – Vol. 13. – P. 908.

УДК 691: 666.9.017

ЭФФЕКТИВНАЯ ДОБАВКА, ПОВЫШАЮЩАЯ ПРОЧНОСТЬ АРБОЛИТА

Д. Е. ДУБОВ

Научный руководитель И. С. КАЗАКОВА, канд. техн. наук, доц.

Вологодский государственный университет

Вологда, Россия

Доля индивидуального жилищного строительства в Вологодской области в 2023 г. составила 55,5 % от общего объема введенных площадей. В связи с особенностями экономики региона материалы из древесины и продуктов ее переработки имеют особую перспективу при строительстве индивидуальных зданий. Арболитовые блоки являются одним из перспективных и многофункциональных материалов для индивидуальных застройщиков. Одной из главных причин использования арболита в строительстве является его экологическая чистота. Материал не содержит опасных веществ и не загрязняет окружающую среду.

Целью работы является подбор оптимального состава арболита с добавкой хлорида кальция (CaCl_2) для увеличения его прочностных характеристик. Хлорид кальция улучшает сцепление между древесиной и цементным вяжущим, что способствует созданию более прочного и надежного материала. Также материал с добавлением хлорида кальция обладает антисептическими свойствами, что предотвращает развитие микроорганизмов внутри древесного заполнителя, продлевая срок службы материала. Использование CaCl_2 в составе арболита может привести к повышению его гигроскопичности и, как следствие, к повышению теплопроводности. Это связано с неправильным соотношением компонентов, входящих в состав арболита. В работе подобран оптимальный состав арболита с использованием добавки, улучшающей его свойства.

Для проведения эксперимента были подготовлены образцы арболита, содержащие хлорид кальция, и образцы без химической добавки. Опытные образцы изготовлены и выдержаны в лабораторных условиях с точным соотношением компонентов арболита и химических добавок согласно ГОСТ 19222–84 [1]. Соотношение хлорида кальция к компонентам арболита было принято опытным путем и приведено в табл. 1. Там же приведены геометрические характеристики и масса образцов. Образцы подвергались вибропрессованию в индивидуальных формах. Срок выдержки образцов из арболита составил 30 календарных дней, что достаточно для набора нормальной прочности.

Лабораторные испытания проводились на универсальной испытательной машине И1147М в соответствии с методикой ГОСТ 10180–2012 [2]. Разрушение образцов из древесно-цементного композита происходит пластично и напо-

минает смятие древесных образцов. Прочность арболита определяется по максимальному усилию. В ходе эксперимента контролировалась скорость нагружения образцов, поскольку она может влиять на результаты испытаний.

Полученные результаты подтверждают эффективность использования CaCl_2 в качестве основной химической добавки. В результате эксперимента прочность на сжатие арболитовых образцов с добавлением CaCl_2 в среднем составила 4,66 МПа (коэффициент вариации 6,54 %), прочность образцов, не содержащих химических добавок, – 1,22 МПа (коэффициент вариации 13,47 %). Хлорид кальция способствовал ускорению гидратации цемента, что приводило к более быстрому набору прочности. Плотность материала выросла, по сравнению с образцами без хлорида кальция, на 7 %.

Табл. 1. Экспериментальные образцы

Номер образца	Геометрические размеры, см	Масса, г	Состав смеси и химические добавки, масс. %
Образцы с добавлением CaCl_2			
1	10 × 10 × 10	1000	Цемент: 23,04 Дробленка: 34,56 CaCl_2 : 0,92 Вода: 41,47
2	10 × 10 × 10	996	
3	10 × 10 × 10	1000	
Образцы, не содержащие химические добавки			
1	10 × 10 × 10	876	Цемент: 23,26 Дробленка: 34,88 Вода: 41,86
2	10 × 10 × 10	936	
3	10 × 10 × 10	965	

В ходе исследования удалось индивидуально подобрать состав смеси арболита в зависимости от типа цемента и типа дробленки и получить материал минимально подверженный гидратации с увеличением прочности при сжатии в 3,8 раза. Такая прочность сопоставима с прочностью запатентованных ранее образцов арболита, содержащих в своем составе добавки, которые имеют более высокую стоимость. Повышение прочности арболитовых блоков будет способствовать возможности усиления нагрузки на несущие стены зданий, что может привести к увеличению этажности или количества пролетов зданий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 19222–84.** Арболит и изделия из него. Общие технические условия. – Введ. 01.01.1985. – Москва: Изд-во стандартов, 1984. – 29 с.
2. **ГОСТ 10180–2012.** Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Введ. 01.07.2013. – Переизд. в 2018 г. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 32 с.

УДК 691.335

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОПОКИ НА ПРОЧНОСТЬ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Д. А. КИРИЛИН, Б. Б. УТЕГЕНОВ

Научный руководитель А. М. КОКАРЕВ, канд. техн. наук, доц.
Астраханский государственный архитектурно-строительный университет
Астрахань, Россия

Исходя из анализа ранее проведенных исследований по высокопрочным тяжелым бетонам с добавками, можно сформировать гипотезу [1, 2]. Основой гипотезы является улучшение характеристик высокопрочного тяжелого бетона, которое обеспечивается снижением аутогенной усадки, за счет адсорбирующих свойств минеральных добавок природного происхождения или суперадсорбирующих полимеров (САП) [2].

Целью работы является повышение эффективности тяжелых высокопрочных бетонов для монолитных строительных конструкций, подвергающихся высоким нагрузкам, с применением местного природного сырья – опоки.

Задачей научного эксперимента является оценка влияния опоки при её применении в составе смеси вяжущего для увеличения прочности тяжелого бетона.

План подбора соотношений минеральной добавки (опоки) и цемента представлен в таблице на рис. 1. Также изготавливается бетон без опоки и суперпластификатора в качестве контрольного образца.

№	% содержание опоки	Пластичность смеси	Осадка конуса, см	Расход материалов на 1 м ³ бетона и раствора						
				Цемент, кг	Добавка (опока)	Песок, кг	Щебень, 5-20мм, кг	Вода, кг	Суперпластификатор MasterGlenium® 51	В/Ц
Состав №1	0	П-4	17	543	0	526	1140	240	0	0,442
Состав №2	0	П-5	28	543	0	526	1140	190	5,43	0,350
Состав №3	5	П-4	17	515,85	27,15	526	1140	240	0	0,465
Состав №4	5	П-5	27	515,85	27,15	526	1140	185	5,43	0,359
Состав №5	10	П-5	27	488,7	54,3	526	1140	185	4,072	0,379

Рис. 1. Составы бетонной смеси для изготовления тяжелого бетона

В результате проведенной работы получены следующие результаты.

1. Прочность на сжатие тяжелого бетона в партии № 4, содержащей опоку и

суперпластификатор, выше на 20,7 %, чем состав № 2, содержащий суперпластификатор, но без опоки (рис. 2).

2. Добавление в состав вяжущего опоки, которая является адсорбентом, увеличивает водопотребность вяжущей системы. В то же время опока способствует более равномерному взаимодействию воды с цементным камнем. Это оказывает влияние на снижение усадочных трещин и, как следствие, приводит к повышению прочности тяжелого бетона с добавлением опоки.



Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие образцов от времени твердения

3. Для равномерного распределения щебня в объеме бетонной смеси рекомендуется снизить добавку суперпластификатора MasterGlenium® 51 до 0,4 % от массы бетонной смеси.

4. На улучшение физико-механических характеристик высокопрочных тяжелых бетонов для монолитных конструкций оказывает комплексное влияние суперпластификатор на основе поликарбоксилата и минеральная добавка в виде опоки, добываемой в Астраханской области.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гувалов, А. А.** Способы уменьшения аутогенной усадки в высокопрочных бетонах / А. А. Гувалов // Азербайджан. хим. журн. – 2012. – № 2. – С. 95.
2. **Шарафутдинов, К. Б.** Перспективы применения суперадсорбентов как добавки в бетон / К. Б. Шарафутдинов, К. А. Сарайкина, Г. Г. Кашеварова // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2021. – Т. 1. – С. 20–25.

УДК 621.926

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИЗМЕЛЬЧЕНИЮ ЩЕБНЯ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ РОТОРНОЙ ДРОБИЛКЕ

А. С. МАРЧЕНКО

Научные руководители В. С. МИХАЛЬКОВ, канд. техн. наук, доц.;

Д. В. МИХАЛЬКОВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Рассматривая многообразие существующих и перспективных дезинтеграторов, а также методов и принципов дезинтеграции, нельзя не отметить следующие основные данные и предпосылки для оптимального измельчения [1]:

– ежегодно дезинтегрируется около 4 млрд т различных материалов, большую часть которых составляет группа строительных материалов;

– на цели дезинтеграции расходуется около 5 % общего производства электроэнергии, т. е. огромное количество затрат только на процесс измельчения материалов;

– масса дробильного оборудования составляет тысячную часть от массы измельчаемого исходного сырья в год;

– около 3 % металла безвозвратно теряется в процессе дезинтеграции;

– существующие методы дезинтеграции обладают низкой селективностью, что не позволяет контролировать количество слабых зерен, переизмельчение, состояние поверхности конечного продукта.

Задачи по избирательному измельчению решались различными исследователями как теоретически, так и экспериментально. Первые работы в этой области принадлежат основоположникам классической механики Леонардо да Винчи, Галилею, Гюйгенсу, Лейбницу. Декартом введено понятие количества движения. Ньютон при рассмотрении удара впервые использовал понятие коэффициента восстановления [2].

В большинстве случаев существующее оборудование в достаточной степени эффективно измельчает твердые строительные материалы, однако не позволяет контролировать параметры конечного продукта, а в отдельных случаях значительно ухудшает параметры готового продукта.

Под руководством профессора Л. А. Сиваченко была спроектирована и изготовлена дробильная установка (рис. 1). В дробильной установке реализованы принципы разрушения щебня вращающимися стальными ударными элементами, расположение которых показано на рис. 2. Использование дробилок ударного действия позволяет значительно снизить металлоемкость производства и повысить качество конечного продукта.

Экспериментальные работы по измельчению проводили на щебне карьера п. Волма Минской обл., который относится к полнокристаллической глубинной обломочной породе.

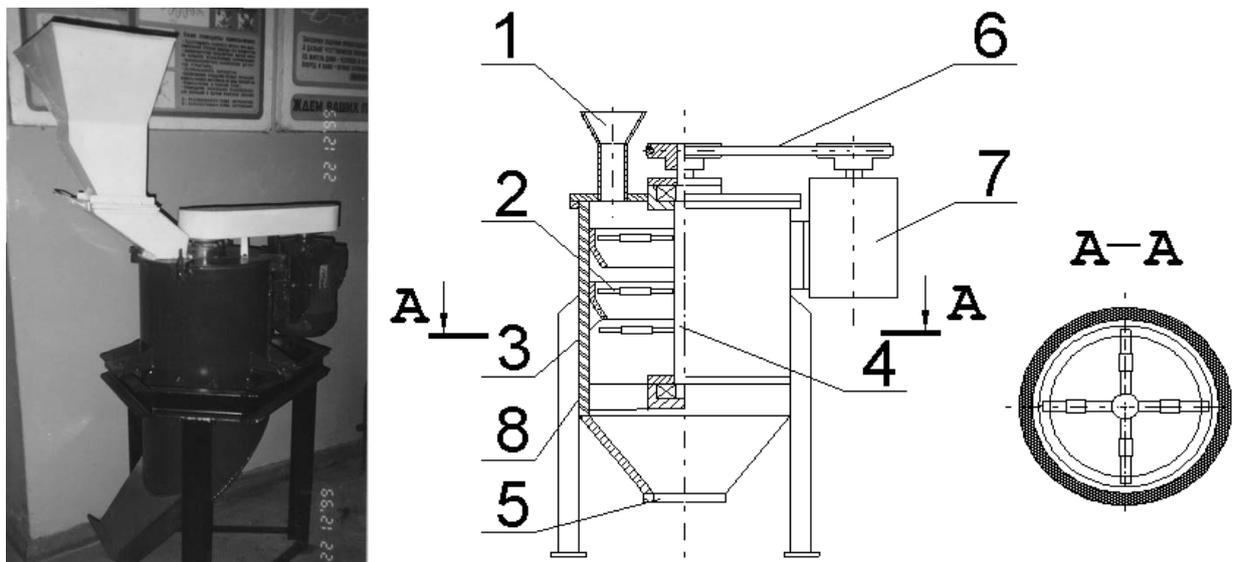


Рис. 1. Дробильная установка и схема конструкции дробилки: 1 – загрузка; 2 – ударные элементы; 3 – отражатель; 4 – вертикальный вал; 5 – выгрузочное окно; 6 – ременная передача; 7 – электродвигатель; 8 – корпус



Рис. 2. Расположение ударных элементов при измельчении щебня

При ударе в зоне контакта могут возникать упругопластические деформации, имеющие местный характер и развивающиеся в пределах малых объемов. Дробильные установки ударного действия вызывают в измельчаемом материале все виды деформаций, среди которых преобладает сжатие [2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михальков, Д. В. Получение кубовидного щебня на дробильных установках ударного действия / Д. В. Михальков // Вестн. МГТУ. – 2003. – № 1 (4). – С. 128–132.
2. Кильчевский, Н. А. Теория соударения твердых тел / Н. А. Кильчевский. – Москва: Гостехиздат, 1949. – 233 с.

УДК 624.042.41

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТИЧНОГО ЗАСЛОНЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА КОМПЛЕКС ЗДАНИЙ

Д. К. МИШИЧЕВ

Научный руководитель О. Б. ЗАВЬЯЛОВА, канд. техн. наук, доц.
Астраханский государственный архитектурно-строительный университет
Астрахань, Россия

При выполнении расчета многоэтажного здания ветровые нагрузки на расчетную модель задаются программным комплексом в автоматическом режиме в соответствии с ветровым районом. При этом влияние окружающей застройки учитывается понижающими коэффициентами в соответствии с нормативными документами. Однако при расчете здания, входящего в состав комплекса аналогичных зданий, представляется необходимым учет их взаимного расположения по отношению к направлению ветрового потока.

Здание, частично заслоняемое другим зданием, испытывает неравномерное ветровое давление, в связи с чем предполагается, что его крутильные перемещения могут быть значительны, что отразится на прочности крайних колонн здания.

Для подтверждения либо опровержения данного утверждения необходимо выполнить:

- 1) анализ ветровых давлений;
- 2) анализ горизонтальных перемещений дисков перекрытий.

Для примера выбран комплекс из трёх 16-этажных административных зданий, расположенных в соответствии с требованиями действующих нормативных актов, документов и правил проектирования.

Размеры зданий в плане 22×48 м, расстояние между зданиями в ходе расчета варьировалось от 20 до 40 м, здания расположены каскадом.

Анализ ветровых давлений. Для моделирования ветровых давлений в программном комплексе Ansys была построена упрощенная модель комплекса зданий и вписана в модель воздушного массива.

Для моделирования воздушного потока потребовалось рассчитать функции изменения скорости ветра по высоте, изменения интенсивности турбулентности по высоте и функцию изменения масштаба турбулентных вихрей [4–6]. По полученным функциям и значениям произведен расчет [1–3], представлена картина распределения ветровых потоков и их скоростей (рис. 1).

Анализ горизонтальных перемещений. Для сравнения горизонтальных перемещений здания необходим объект сравнения – этим объектом будет аналогичное отдельно стоящее здание, не испытывающее заслонение.

Произведем полный цикл моделирования и расчета и получим значения горизонтального перемещения от «чистой» ветровой нагрузки.

Для передачи ветрового давления из ПК Ansys в ПК «Лири САПР» автоматических систем не существует, поэтому передадим нагрузки вручную,

сводя площади давлений в линии нагрузок на перекрытия.

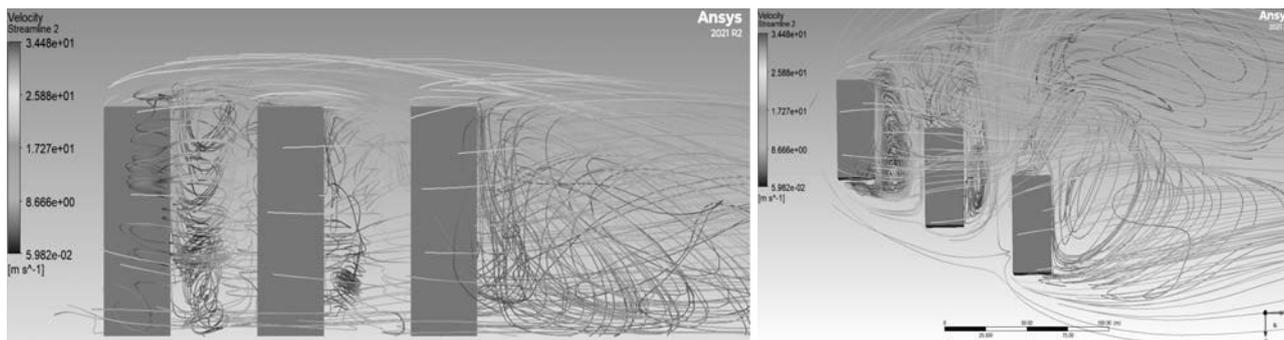


Рис. 1. Линии распределения ветровых потоков, виды сбоку и сверху

Получаем значения влияния «чистой» ветровой нагрузки, а также максимальное поступательное перемещение верха отдельно стоящего здания – 3,38 мм.

Повторно проведем аналогичный цикл сбора и приложения нагрузки на здание на основе карты давлений для здания, которое наполовину заслонено другим, и получаем следующие перемещения: максимальное горизонтальное перемещение угла здания – 2,41 мм; перемещение противоположного угла здания – 0,6 мм; таким образом, угол поворота составит $\approx 0,0022$ град.

Вывод. Угол поворота в 0,0022 град не способен оказать какого-либо влияния на прочность и устойчивость конструктивных элементов здания. Таким образом, можем сделать вывод, что заслон одного здания другим, скорее позитивно влияет на заслоняемое здание, т. к., несмотря на неравномерность прилагаемых ветровых нагрузок, их значения понижаются. Данный вопрос может быть более актуален для зданий с большей высотой и длиной, что более присуще многоподъездным жилым зданиям, нежели административным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.
2. CNR-DT207–2008. Guide for the assessment of wind actions and effects on structures (Руководство по оценке воздействия ветра на конструкции).
3. ГОСТ Р 56728–2015. Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции.
4. Мишичев, Д. К. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных норм в части определения ветровой нагрузки на здания / Д. К. Мишичев // Перспективы развития строительного комплекса: образование, наука, бизнес: материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов: в 2 ч. – Астрахань: АГАСУ, 2023. – Ч. 2. – С. 277–280.
5. Мишичев, Д. К. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных норм в части определения ветровой нагрузки на здания / Д. К. Мишичев // Материалы XII Междунар. науч. форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников. – Астрахань: АГАСУ, 2023. – С. 482–485.
6. Просвирина, И. С. Влияние скорости ветра на характер распределения давления снаружи многоэтажных зданий / И. С. Просвирина, Е. М. Дербасова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4 (34). – С. 57–60.

УДК 691

МНОГОФАКТОРНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТОВ С УЧЕТОМ LCA

Н. В. САПРАНКОВ

Научный руководитель О. М. ЛОБИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В строительной отрасли информационное моделирование (BIM) становится всё более востребованным. Широкое применение цифровых технологий дает преимущество как инвестору, так и проектировщикам, поскольку позволяет видеть все чертежи, схемы, объемы работ, достоинства и недостатки проекта. Важным трендом строительства также является учет минимизации вредного воздействия объекта на окружающую среду [1].

Разработана методология комплексной оценки проектов ограждающих конструкций индивидуальных жилых домов в Беларуси на основе множества факторов с учетом оценки жизненного цикла здания (LCA) [2, 3].

Целесообразность исследования состоит в том, чтобы создать методологию, позволяющую проводить комплексную оценку проектов конструктивных решений ограждающих конструкций зданий в Беларуси и в автоматизированном режиме выбрать вариант инвестиционно-строительного проекта по заданным параметрам с учетом индивидуальных требований заказчика, выполнить и учесть оценку жизненного цикла здания, рассмотреть большее количество вариантов для сравнения без удорожания работ, сократить затраты на проектирование.

Методология комплексного подхода выбора вариантов конструктивных решений, включает последовательное выполнение следующих этапов:

- отбор и анализ возможных вариантов, оценка применимости их в данных условиях проектирования;
- определение значимых для заказчика и общества критериев оценки;
- проектирование объекта с использованием программных комплексов, задание основных параметров окон, дверей, стен, назначение во время их моделирования слоев, содержащих информацию о материалах, выполнение тепло-технического расчета, разработка сметной документации по вариантам проектирования;
- анализ жизненного цикла (Life Cycle Assessment – LCA) материалов;
- комплексная автоматизированная оценка;
- ранжирование вариантов проектных решений в соответствии с принятыми критериями оценки;
- выбор оптимального варианта.

Этапы исследования представлены в виде схемы (рис. 1).



Рис. 1. Этапы исследования

Научная новизна данной методологии состоит в комплексном подходе к проведению ТЭО конструктивных решений, использовании наряду с традиционными критериями (минимальные затраты) оценки жизненного цикла здания (LCA), в которой были учтены влияния потенциалов: глобального потепления (GWP); образования смога (SFP); окислительно-восстановительный (AP); эвтрофикация (EP); количество невозобновляемой энергии (NRE).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лобикова, О. М.** Тренд развития стратегического менеджмента в компаниях при строительстве жилья – курс на энергосбережение / О. М. Лобикова, Н. В. Лобикова // Инновационная экономика, стратегический менеджмент и антикризисное управление в субъектах бизнеса: сб. ст. I Междунар. науч.-практ. конф. – Орел: Орлов. ГАУ, 2018. – С. 229–232.
2. **Лобикова, О. М.** Оценка жизненного цикла материалов в период окончания срока эксплуатации для ограждающих конструкций жилого здания / О. М. Лобикова, А. В. Субоч, Н. В. Сапранков // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2024. – С. 16–21.
3. **Галюжин, С. Д.** Энергомоделирование зданий в условиях цифровой трансформации / С. Д. Галюжин, О. М. Лобикова // Экономика и бизнес: цифровая трансформация и перспективы развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Москва, 2022. – С. 48–53.

УДК 691

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОЦЕНКЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТА

Н. В. САПРАНКОВ

Научный руководитель О. М. ЛОБИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Здания и сооружения при строительстве и эксплуатации негативно влияют на окружающую среду, потребляют природные ресурсы, выделяют вредные выбросы [1]. Для выбора оптимального варианта проекта строительства здания, помимо требований к дизайну, техническим и проектным решениям, необходимо учитывать и снижать воздействие объекта на природную среду [2, 3]. Чтобы оценить воздействие на окружающую среду, была разработана автоматизированная модель анализа жизненного цикла (Life Cycle Assessment – LCA). Существует ряд программных продуктов, реализовывающих LCA. Рассмотрим возможность использования доступных к применению и имеющихся на рынке: One-Click LCA, Tally LCA, Solidworks Sustainability, Carbo Life Calculator [3]. Сравнительный анализ программных продуктов для LCA представлен на рис. 1 и 2.

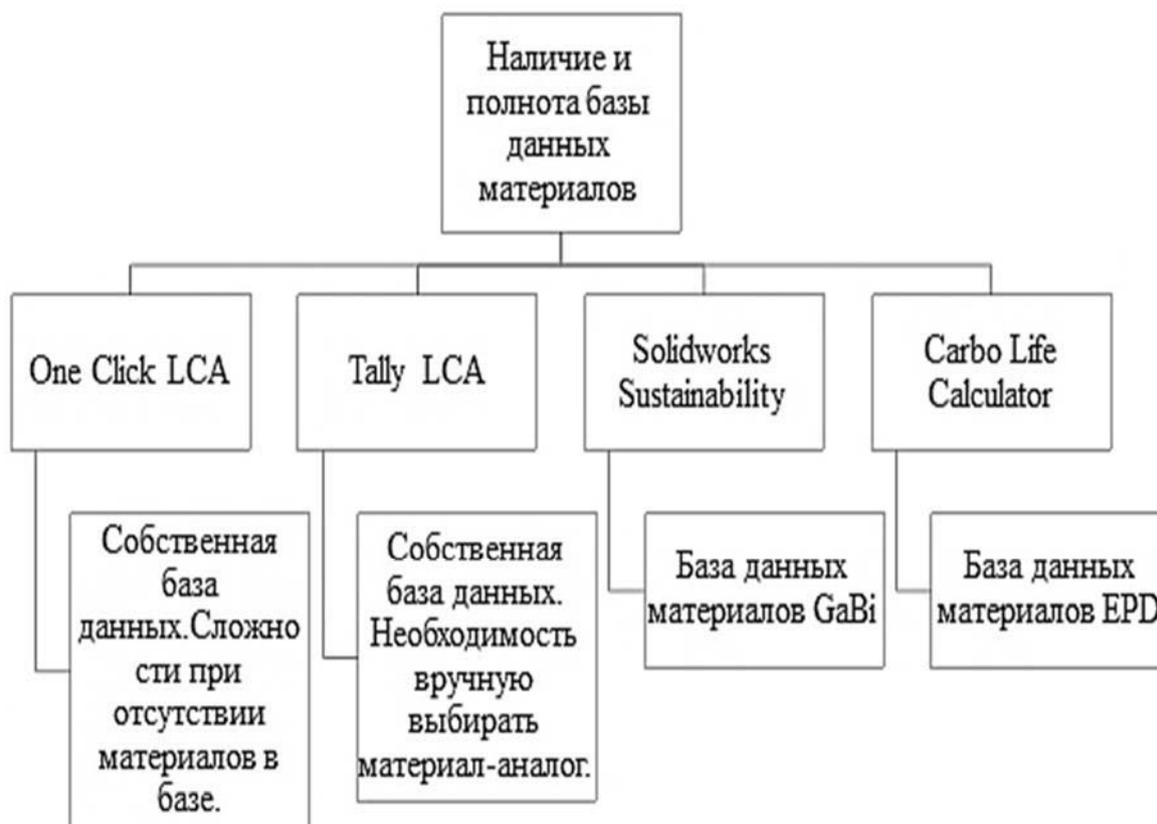


Рис. 1. Сравнительный анализ баз данных

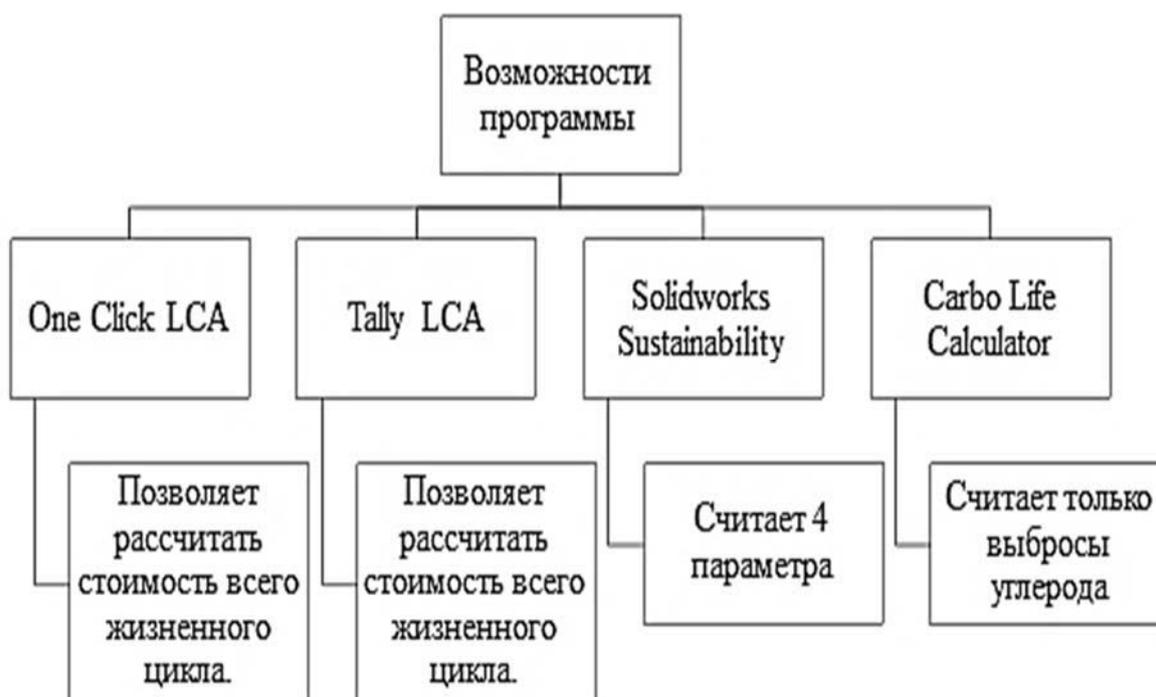


Рис. 2. Сравнительный анализ возможностей программных продуктов

Выполнив сравнительный анализ возможностей программных продуктов для расчета LCA, заключаем, что при необходимости определения исключительно выбросов углерода в оценке, наиболее подходящим выбором является Carbo Life Calculator, поскольку он обеспечивает удовлетворительные текущим потребностям результаты с максимальным эффектом [3]. При выполнении оценки полного жизненного цикла необходимо предварительно выполнить обоснование вкладываемых в приобретение программного продукта финансовых ресурсов.

При однократном применении рекомендуем выбрать бесплатную Trial-версию Tally LCA, которая дает возможность провести анализ и получить качественный полный отчет LCA. При необходимости выполнения расчетов на регулярной основе эффективным будет приобретение One Click LCA или полной версии Tally LCA.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лобикова, О. М.** Методология комплексного подхода при проектировании энергоэффективных конструктивных решений / О. М. Лобикова, С. Д. Галюжин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2023. – С. 281–282.
2. **Галюжин, С. Д.** Энергомоделирование зданий в условиях цифровой трансформации / С. Д. Галюжин, О. М. Лобикова // Экономика и бизнес: цифровая трансформация и перспективы развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Москва, 2022. – С. 48–53.
3. **Лобикова, О. М.** Применение цифровых технологий в оценке жизненного цикла объекта / О. М. Лобикова, А. В. Субоч, Н. В. Сапранков // Экономика и бизнес в условиях цифровой трансформации и новых вызовов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Москва, 2024. – С. 75–87.

УДК 691.335

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИПСОВЫХ КОНГЛОМЕРАТОВ

А. С. СИВУХА

Научный руководитель Т. С. ЛАТУН

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Применение в строительстве изделий на основе гипсового вяжущего можно объяснить технологичностью данного материала. Изделия из гипса легко формуются и быстро набирают прочность, обладают хорошей огнестойкостью и экологичностью. При всех перечисленных достоинствах гипсовое вяжущее нельзя назвать дешевым материалом. Для экономии гипсового вяжущего, т. е. его замены, предложено использовать отходы боя керамического кирпича.

Применение боя из керамического кирпича не должно влиять на прочностные характеристики изготовленных изделий. Анализ предела прочности при сжатии является актуальной задачей.

Введение добавок различного вида приводит к изменению плотности и, как следствие, прочности материала. Такое явление обусловлено тем, что не вся вода вступает в химическую реакцию с вяжущим веществом, часть воды остается в свободном виде. При затвердевании свободная вода образует в теле конгломерата микро- и макропоры, наличие которых снижает прочность. Важным фактором, влияющим на прочность конгломератов, является адгезия.

Для оценки степени влияния введения отходов керамического кирпича на прочность при сжатии проведен статистический анализ данных, полученных экспериментальным путем. Было изготовлено три партии образцов из строительного гипса и боя керамического кирпича с размером частиц от 0,315 до 1,25 мм.

Образцы первой партии были изготовлены из гипса и воды без введения кирпичного боя. Во второй партии образцов 25 % гипса были заменены боем кирпича керамического. В третьей партии образцов количество вводимого кирпичного боя увеличено до 50 % с соответствующим снижением расхода гипсового вяжущего.

При анализе экспериментальных данных установлено различие показателей прочности для рассматриваемых трех партий. Для окончательного решения вопроса о статистической значимости выявленных различий необходимо проведение статистического анализа этих результатов. Такой анализ включает в себя проверку всех трех распределений на нормальность по критериям асимметрии и эксцесса.

Проверка показала, что гипотеза о нормальности всех трех распределений подтверждается. Введение кирпичного боя в количестве до 50 % по массе не снижает прочностные характеристики гипсовых конгломератов.

УДК 504.062.2

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД В ТЕХНОЛОГИЯХ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

К. Д. СОЛОВЬЕВ, Н. Е. КРУЧИНИНА

Научный руководитель Е. Ю. ИВЛИЕВА, канд. биол. наук

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Открытая разработка недр для добычи сырья для производства строительных материалов составляет почти 100 % от всего объема [1]. Одним из основных сопутствующих добыче процессов является выемка значительного количества вскрышных пород и последующее складирование в отвалы неиспользуемых частей недр. Эти извлеченные в прошлом природные материалы содержат большое количество полезных компонентов, которые не были в свое время использованы из-за устаревших, в сравнении с нынешними, технологий и добывающей техники.

В настоящее время проблема накопления неиспользуемых частей недр, в том числе и нерудного происхождения, становится все более актуальной в силу истощения доступных к разработке месторождений и сложностями в поиске новых минерально-сырьевых баз. Данные отходы добычи, как правило, не используются вовсе, либо применяются для рекультивации выработанного месторождения, откуда и были получены [2].

Объектом исследования в работе является палыгорскитовая глина Борщевского месторождения, составляющая часть вскрышной породы добычи сырья для производства цемента компании «Цементум». Схожесть минералогического и химического состава палыгорскитовой глины с бентонитовыми материалами, а также описанное цеолитоподобное строение палыгорскитовой (аттапульгитовой) глины [3], позволяют сделать предположения о возможности ее применения в качестве гидроизолирующего материала и/или минерального сорбента.

Применение глиноматериалов является наилучшей доступной технологией (НДТ) по защите окружающей среды на местах размещения твердых коммунальных отходов (ТКО), а также в процессе ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде (НВОС). Полигоны ТКО и объекты НВОС являются источником фильтрата, содержащего широкий перечень загрязняющих веществ. Для предотвращения их миграции в окружающую среду применяют противofильтрационные экраны (ПФЭ) из глиноматериала с требуемым нормативным значением коэффициента фильтрации не более $5 \cdot 10^{-7}$ м/с по СП 320.1325800.2017 *Полигоны для твердых коммунальных отходов.*

Для установления принципиальной возможности применения палыгорскитовой глины для строительства ПФЭ проведено определение коэффициента фильтрации в соответствии с ГОСТ 25584–2023 *Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации глинистых грунтов*. По результатам экспериментов установлено, что для исследуемого образца значение коэффициента фильтрации равно $8 \cdot 10^{-10}$ м/с, что значительно ниже требуемого нормативного значения. Выявленный высокий водоупорный потенциал исследованной глины обосновывает принципиальную возможность ее применения для обустройства ПФЭ полигонов ТКО и объектов НВОС.

С целью установления принципиальной возможности использования палыгорскитовой глины для снижения взвешенного показателя загрязнения фильтрата полигонов ТКО проведено определение ее сорбционной активности на модельных растворах тяжелых металлов. По результатам экспериментов установлена высокая эффективность очистки, которая составила в отношении водорастворимых форм Cu – 91 %, Zn – 99,9 %, Mn – 99,6 %, Ni – 97,6 % и Hg – 94,2 %. Это позволяет оценить палыгорскитовую глину Борщевского месторождения как эффективное сырье для производства минерального сорбента неспецифического действия.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. На примере вскрышной породы цементного предприятия доказана возможность ее применения в качестве гидроизолирующего материала в составе противофильтрационного экрана полигонов ТКО и ОНВОС.
2. Доказана возможность применения палыгорскитовой глины Борщевского месторождения для производства минерального сорбента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ильин, С. А.** Состояние и перспективы развития открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых / С. А. Ильин, Д. В. Пастихин // Горный информ.-аналит. бюл. – 2013. – № 1. – С. 364–383.
2. **Беневольский, Б. И.** Минерально-сырьевой потенциал – базовый элемент экономического суверенитета и национальной безопасности России / Б. И. Беневольский // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2015. – № 5. – С. 50–59.
3. Геология, минералогия и генезис палыгорскитовых глин Борщевского месторождения Калужской области и перспективы их технологического использования / В. В. Наседкин [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2014. – Т. 56, № 3. – С. 237–258.

УДК 691

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ TALLY LCA

А. В. СУБОЧ

Научный руководитель О. М. ЛОБИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При проектировании объектов необходимо уделять внимание снижению выбросов на этапах производства материалов для строительства, при строительстве, эксплуатации и ликвидации (утилизации) объектов и составляющих материалов.

Анализируемые показатели влияния на окружающую среду: потенциалы глобального потепления, эвтрофикации, окислительно-восстановительный, образования смога, количество невозобновляемой энергии в Tally рассчитаны по методологии европейского стандарта BS EN 15978:2011 [1, 2]. Потенциал глобального потепления – углекислый газ (CO₂) является основным парниковым газом, выбрасываемым в результате деятельности человека, и ему уделяется особое внимание в этом исследовании.

В работе смоделированы варианты конструктивных решений жилых зданий и загружены объемы строительных материалов ограждающих конструкций при помощи программного обеспечения Tally LCA для Autodesk Revit 2019. Анализируемым элементам назначены соответствующие материалы из баз данных Tally LCA и выполнены расчеты выбросов и потребляемые ресурсы кгCO₂e от них. Оценка воздействий на природную среду представляет собой таблицу в программе Excel и PDF-файл, в котором находятся графики и описание к ним [3, 4]. Для удобства пользователя и эффективной работы с получившимся документом в нем присутствует содержание. В содержании представлена количественная и качественная оценки влияния изучаемых строительных материалов на природную среду. Результаты выводятся в виде цветных графиков и описания к ним, также представляются диаграммы результатов расчета влияния выбросов на глобальное потепление и детализация по стадиям жизненного цикла строения (Life Cycle Stages) (рис. 1). Полученные данные позволяют произвести выбор варианта материала ограждающих конструкций с учетом минимального влияния на природную среду [5, 6].

По результатам исследования оптимальным вариантом с минимальным воздействием на окружающую среду в виде выбросов кгCO₂e является ограждающая конструкция из древесины. Причем вариант конструкции из дерева на стадии строительства оказывает наименьшее влияние на окружающую природу в виде выбросов углерода на 112,47 % по сравнению с кирпичной стеной.

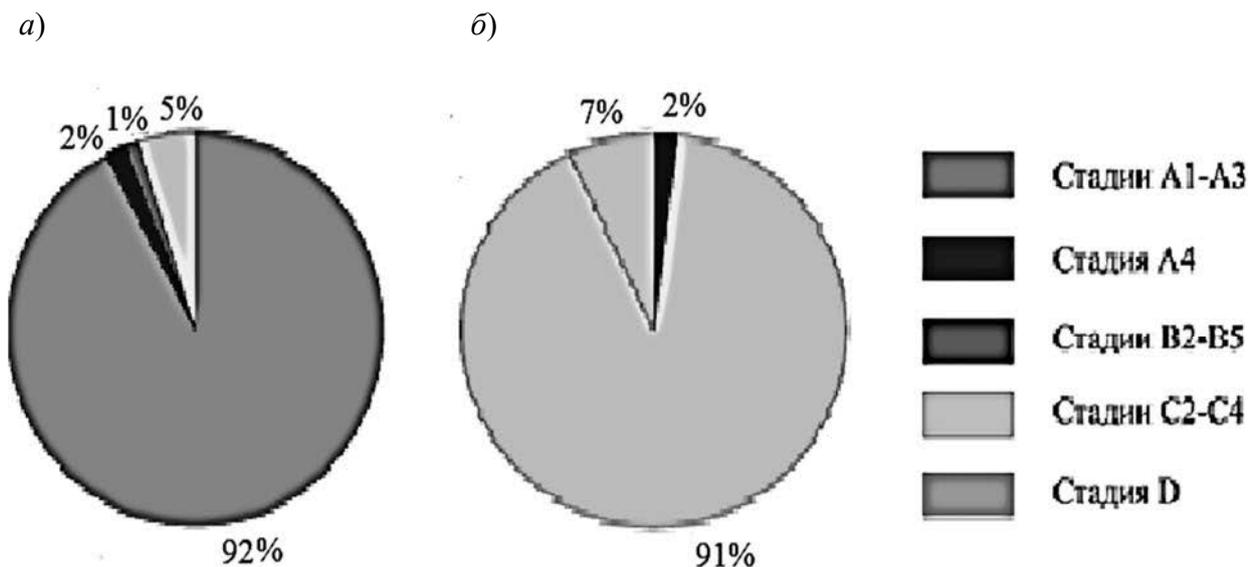


Рис. 1. Выбросы потенциала глобального потепления (выданы Tally LCA): а – на примере кирпичной стены; б – на примере стены из древесины

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Lasvaux, S.** Study of a Simplified Model for the Life Cycle Analysis of Buildings / S. Lasvaux. – Paris: Institute de Technologie, 2010. – 14 с.
2. **Галюжин, С. Д.** Энергомоделирование зданий в условиях цифровой трансформации / С. Д. Галюжин, О. М. Лобикова // Экономика и бизнес: цифровая трансформация и перспективы развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Москва, 2022. – С. 48–53.
3. **Левада, А. В.** Оценка жизненного цикла на основе BIM-модели для зеленого строительства / А. В. Левада, Д. В. Немова // Неделя науки ИСИ: материалы Всерос. конф. – Санкт-Петербург: Инж.-строит. ин-т С.-Петербург. политехн. ун-та Петра Великого, 2021. – С. 374–376.
4. **Лобикова, О. М.** Тренд развития стратегического менеджмента в компаниях при строительстве жилья – курс на энергосбережение / О. М. Лобикова, Н. В. Лобикова // Инновационная экономика, стратегический менеджмент и антикризисное управление в субъектах бизнеса: сб. ст. I Междунар. науч.-практ. конф. – Орел: Орлов. ГАУ, 2018. – С. 229–232.
5. **Лобикова, О. М.** Оценка жизненного цикла материалов в период окончания срока эксплуатации для ограждающих конструкций жилого здания / О. М. Лобикова, А. В. Субоч, Н. В. Сапранков // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2024. – С. 16–21.
6. **Лобикова, О. М.** Повышение энергоэффективности жилых зданий: проблемы, опыт решения / О. М. Лобикова, Н. В. Лобикова // Россия: тенденции и перспективы развития. – Москва: Ин-т науч. информ. по общественным наукам Рос. акад. наук, 2018. – С. 351–353.

УДК 691

АНАЛИЗ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОЙМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ BIM-МОДЕЛИ ДЛЯ ЗЕЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

А. В. СУБОЧ

Научный руководитель О. М. ЛОБИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Строительная отрасль является одним из крупнейших потребителей энергии из природных ресурсов. Именно поэтому важно понимать ее влияние на окружающую среду [1–3].

Данная работа представляет собой сравнительный анализ жизненного цикла строительных материалов, включая расчеты углеродного следа, и использует программный пакет LCA Tally для выявления нежелательных последствий срока эксплуатационной службы малоэтажного жилищного строительства с использованием различных вариантов строительных материалов на стадии проектирования. Методы оценки экологического эффекта включают в себя компьютерные модели оценки негативных экологических воздействий, модели анализа экологической эффективности городской застройки по интегральному показателю, чек-лист устойчивого развития и Life Cycle Assessment – LCA [4, 5]. Анализ влияния на природную среду выполнен в приложении Tally, надстройки для Autodesk Revit 2019. По результатам расчетов в Tally в отчете представлены численные параметры факторов, влияющих на окружающую среду, и их графическое представление в виде диаграмм, разделенных по показателям из BIM-модели.

Целью исследования является определение оптимальной ограждающей конструкции частных жилых домов в Могилевской области Беларуси с учетом оценки жизненного цикла (этапы B2...B5, в которые входят эксплуатация, обслуживание, текущий и капитальный ремонты, реконструкция) с использованием метода LCA [5, 6].

В исследовании смоделирован двухэтажный дом в Autodesk Revit 2019. Выбраны два варианта конструктивных решений жилых домов, а объемы применения стройматериалов для ограждающей конструкции были загружены с помощью программы Tally LCA. Материалы для указанной конструкции выбрали из базы данных Tally LCA [6]. Выбросы kgCO_2e были рассчитаны автоматически. Результаты расчетов представлены на рис. 1 и 2.

На данной основе выбрали материал для ограждающих конструкций с позиции минимизации влияния на природную среду в период эксплуатации срока службы здания. По результатам исследования оптимальным вариантом с минимальным влиянием на природную среду является ограждающая конструкция из кирпича. Следовательно, методика LCA с использованием приложения Tally для Autodesk Revit при обосновании варианта материала конструкции стен

дает возможность запроектировать объект таким образом, чтобы минимизировать неблагоприятное влияние на природную среду.

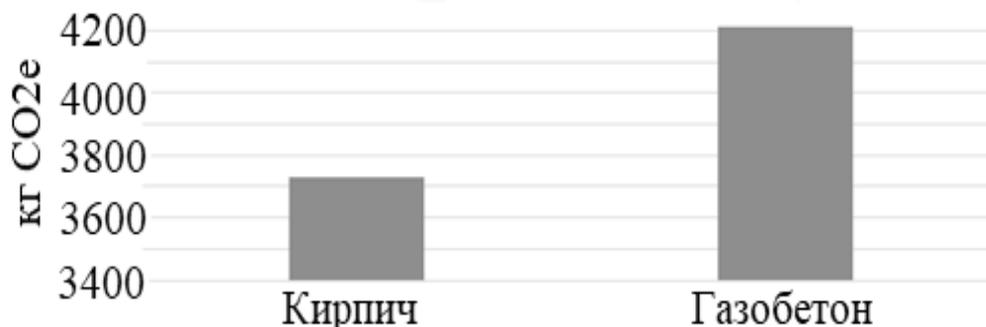


Рис. 1. Выбросы кгCO₂e в модулях В2...В5

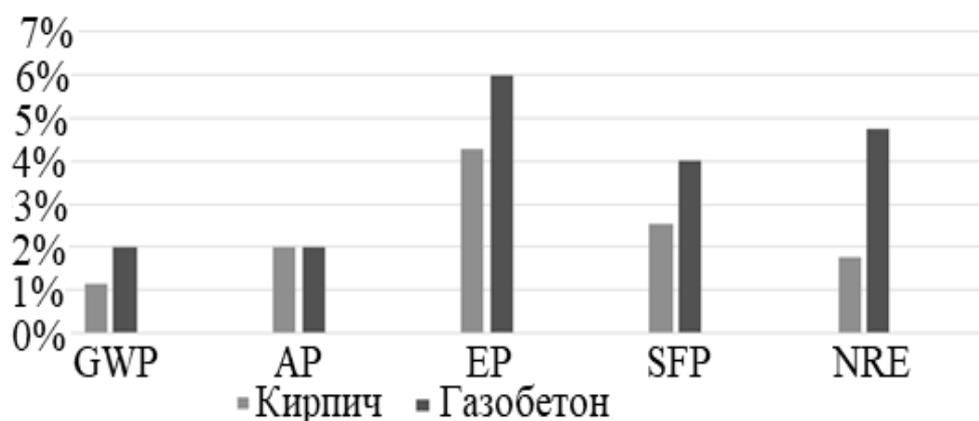


Рис. 2. Выбросы разных категорий воздействия (в процентах) в модулях В2...В5

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лобикова, О. М.** Энергосбережение в сельском хозяйстве: экологический аспект / О. М. Лобикова, Н. В. Лобикова // Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. – Макеевка: Донбас. аграр. акад., 2018. – С. 127–131.
2. **Лобикова, О. М.** Повышение энергоэффективности жилых зданий: проблемы, опыт решения / О. М. Лобикова, Н. В. Лобикова // Россия: тенденции и перспективы развития. – Москва: Ин-т науч. информ. по общественным наукам Рос. акад. наук, 2018. – С. 351–353.
3. **Лобикова, О. М.** Оценка экологической безопасности строительства / О. М. Лобикова // Экологическая неделя БРУ – СПбПУ: сб. материалов науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 40–46.
4. **Ковалев, А. О.** Методы оценки экологического воздействия на городскую среду / А. О. Ковалев // Символ науки. – 2016. – № 11–3 (23). – С. 83–86.
5. **Левада, А. В.** Оценка жизненного цикла на основе ВМ-модели для зеленого строительства / А. В. Левада, Д. В. Немова // Неделя науки ИСИ: материалы Всерос. конф. – Санкт-Петербург: Инж.-строит. ин-т С.-Петербург. политехн. ун-та Петра Великого, 2021. – С. 374–376.
6. **Лобикова, О. М.** Оценка жизненного цикла материалов в период окончания срока эксплуатации для ограждающих конструкций жилого здания / О. М. Лобикова, А. В. Субоч, Н. В. Сапранков // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2024. – С. 16–21.

УДК 69:004

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Г. И. ТИТОВ, С. В. ИВАНОВ

Научный руководитель Г. А. БОГДАНОВА, канд. техн. наук, доц.
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия

Информационное моделирование в строительстве – это процесс создания и использования цифровой информационной модели (ЦИМ) объекта капитального строительства в целях организации координации, совместного использования и хранения данных [1]. Отличительным принципом технологий информационного моделирования (ТИМ) является отказ от разработки классических 2D-чертежей, и разработка 3D-модели объекта – ЦИМ, на основе которой автоматически формируются планы, разрезы и т. д. (рис. 1).

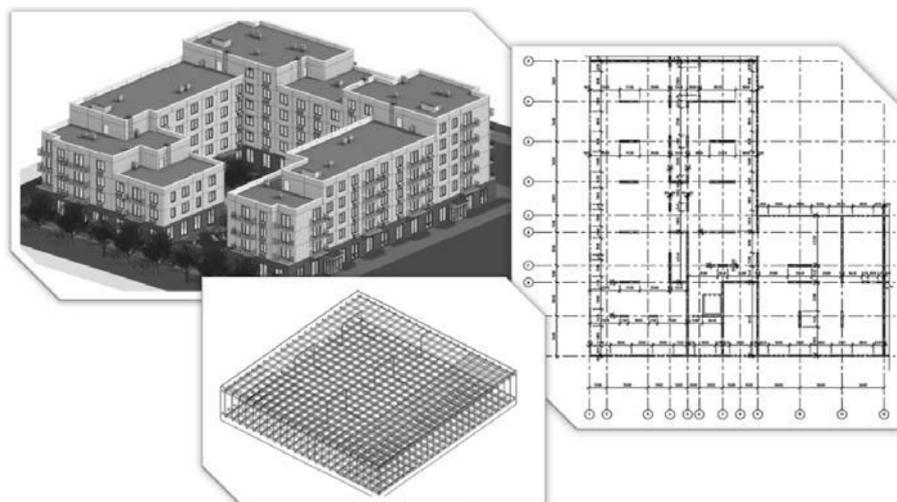


Рис. 1. Результат разработки цифровой информационной модели

На данный момент в России стремительными темпами происходит развитие ТИМ в проектировании и строительстве [2]. Это позволяет значительно упростить и ускорить процессы проектирования, строительства, эксплуатации объектов, а также их последующей реконструкции или демонтажа. Компания «Autodesk» в 2008 г. одна из первых подняла вопрос о развития технологий информационного моделирования в области строительства России. Благодаря этому была проделана колоссальная работа от написания первых стандартов до написания и принятия множества документов, как, например, постановление Правительства РФ № 331 от 5 марта 2021 г., согласно которому применение ТИМ на объектах госзаказа обязательно с 1 января 2022 г., использование ТИМ в области жилищного строительства обязательно для застройщиков с 1 июля 2024 г. Ключевым этапом развития является переход на использование ТИМ на всем жизненном цикле объекта проектирования к 2030 г. и созданием единой информационной системы обеспечения градостроительной деятельности.

На основе анализа опыта проектных компаний России можно сделать вывод о наличии множества как зарубежного программного обеспечения (Revit, 3DMax, Navisworks), так и отечественного софта (Renga, Model Studio CS). Однако программы такого уровня требуют соответствующих профессиональных навыков, чем классические программные комплексы. В то же время внедрение, подобных продуктов позволяет повысить надежность проектируемых конструкций и минимизировать ошибки проектировщиков.

Еще одним из преимуществ использования технологий информационного моделирования является моментальная трехмерная визуализация, способствующая более точному осмыслению проектируемого здания. Помимо этого, немаловажным преимуществом ТИМ является снижение объема рутинных операций и освобождение ресурсов для более глубокой проработки изучаемого предмета [3].

Одним из ключевых преимуществ ТИМ является возможность корпоративной работы как на этапах разработки одного раздела, так и смежных. На разных этапах создания проекта работает большое количество специалистов, результат работы которых сводится в единую ЦИМ, что позволяет отследить коллизии проекта.

При создании цифровой информационной модели следует объединять трехмерную модель проекта, а также сопутствующие сведения. Для этого необходимо использовать среду общих данных (СОД). Это своего рода хранилище, где лежит вся необходимая информация об объекте проектирования и строительства.

При переходе на проектирование с использованием ТИМ могут возникнуть такие сложности, как формирование системного подхода к моделированию в связи с отсутствием профессиональной переподготовки, разработка всех разделов в рамках общей модели, отсутствие навыков совместной работы и т. п.

Таким образом, на сегодняшний день информационные технологии имеют существенное преимущество перед классическим проектированием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве [Электронный ресурс]. – 219 с. – Режим доступа: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/16405/>. – Дата доступа: 10.09.2024.
2. Рыбакова, А. О. Тенденции развития технологии информационного моделирования зданий / А. О. Рыбакова, А. М. Якубович // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 12 (114). – С. 136–138.
3. Алексеев, И. В. Применение BIM-технологий при проектировании уникальных зданий и сооружений с учетом отечественной и зарубежной практики / И. В. Алексеев, Ж. В. Иванова // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2022. – № 2 (28). – С. 45–50.

УДК 614.84:624.014

НОВЫЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ ОГНЕСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

А. С. ТОЩАКОВА

Научный руководитель И. С. КАЗАКОВА, канд. техн. наук, доц.

Вологодский государственный университет

Вологда, Россия

Вопросы огнезащиты несущих стальных конструкций зданий очень актуальны в настоящее время, поскольку большое количество гражданских объектов выполняется в металле. До недавнего времени для определения огнезащиты несущих стальных конструкций использовали метод определения толщины огнезащитного слоя по приведенной толщине металла. В качестве этой величины рассматривалось отношение площади поперечного сечения конструкции к периметру ее обогреваемой поверхности. Для обеспечения разных пределов огнестойкости стальных конструкций разработаны таблицы с толщиной огнезащитного материала для разных значений приведенной толщины металла. Эта методика не учитывала требования прочностных расчетов для определения критических температур конструкции в зависимости от параметров ее нагружения, способов опирания и марки стали. Благодаря разработке стандарта организации Ассоциации развития стального строительства (АРСС) «Проектирование огнезащиты несущих стальных конструкций с применением различных типов облицовок» [1], можно определить толщину огнезащиты для обеспечения заданных пределов огнестойкости металлических конструкций при различных значениях критической температуры для разных типов облицовок. В [1] приведены номограммы для определения толщины огнезащитных облицовок из листовых материалов на основе гипсокартона и гипсоволокна (ГВЛ, КНАУФ-Файерборд, ГКЛО), цементно-песчаной штукатурки, огнезащитного штукатурного состава «Панцирь-О» при температурах нагрева конструкции в пределах от 450 °С до 600 °С (при этих температурах наступает предельное состояние по потере несущей способности) и величине приведенной толщины металла от 2 до 12 мм.

В работе представлены исследования огнезащиты стальных колонн здания столовой, проект которого выполнен в 2017 г. Здание относится к классу функциональной пожарной опасности Ф3.2. Класс конструктивной пожарной опасности здания – С0. Степень огнестойкости здания – III. Предел огнестойкости несущих колонн – R45. Внецентренно-сжатые колонны запроектированы из двутавра 35К2 по ГОСТ Р 57837–2017 из стали С345, геометрическая длина – 4,65 м. Колонны имеют во время пожара обогрев с трех сторон. Для обеспечения заданного предела огнестойкости колонн в проекте принят огнезащитный

материал из листов ГКЛВО (гипсокартонный лист волокнистый огнестойкий) толщиной 12,5 мм. Толщина подобрана по сертификату соответствия № С-RU.ПБ58.В.02469 в зависимости от приведенной толщины металла сечения колонн, равной 9,93 мм.

Для проверки соответствия принятой в проекте толщины листов ГКЛВО для внецентренно-сжатых колонн толщине огнезащитного материала, полученной на основе новой методики, были выполнены прочностные и теплотехнические расчеты. Критическая температура определялась в зависимости от марки стали колонны и значений температурных коэффициентов снижения предела текучести стали γ_T и снижения модуля упругости γ_e . Значения температурных коэффициентов снижения механических свойств стали вычислялись по формулам, приведенным в [1]. При этом значения внутренних усилий в колонне (продольная сила и изгибающий момент) определялись от постоянных и временных длительных нагрузок, принятых с коэффициентом надежности по нагрузке равным 1. Для вычисленных значений температурных коэффициентов $\gamma_T = 0,458$ и $\gamma_e = 0,387$ критическая температура составила 600 °С [2]. Используя номограммы [1], по критической температуре для заданной марки стали колонны и приведенной толщины металла определялась толщина огнезащитного покрытия. Принято огнезащитное покрытие из плит КНАУФ-Файерборд (аналог используемых ранее листов ГКЛВО). Для заданных условий его толщина составила 12,5 мм, что говорит о том, что принятая ранее только по приведенной толщине металла толщина огнезащитного покрытия для внецентренно-сжатых стальных колонн здания столовой достаточна. Однако данное утверждение может не подтвердиться при проверке толщины огнезащитных материалов для несущих конструкций на других объектах с более высокой степенью огнестойкости. Поэтому оценка различий в толщине огнезащиты стальных конструкций, вычисленных по разным методикам, требует дополнительных исследований, что предусмотрено программой дальнейшей научной работы и программой экспериментальных исследований с использованием ПО ANSYS.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СТО АРСС 11251254.001-018-03 (ВНПБ73–18)**. Проектирование огнезащиты несущих стальных конструкций с применением различных типов облицовок. – Москва: АКЦИОМ ГРАФИКС ЮНИОН, 2018. – 72 с.: ил.
2. **СТО АРСС 11251254.001-022-1**. Методические рекомендации по разработке проекта огнезащиты стальных конструкций. – Введ. 07.02.2023. – Москва: Ассоц. развития стального стр-ва, 2022. – 51 с.

УДК 624; 624.15; 725.1

КЛАССИФИКАЦИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ
БИНАРНЫХ ФУНДАМЕНТОВ-ОБОЛОЧЕК НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ
В ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В. Н. ТУРКИН¹, А. С. ПОПОВ¹, А. Н. МАРЬЯШИН²

¹Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П. А. Костачева

²Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета
Рязань, Россия

В настоящее время в сфере гражданского строительства различных зданий и сооружений очень важно снизить себестоимость работ, затраты на материал, бетон, повысить скорость и надежность строительства.

Внедрение в практику строительства специальных тонкостенных бинарных (двойных) фундаментов-оболочек позволит снизить сроки и затраты на строительство, повысить надежность сооружений, особенно возводимых на слабых грунтах, решить ряд геотехнических задач, создать условия к переходу к новой экономико-строительной формации [1, 2].

При устройстве фундаментов для различных зданий и сооружений со сложной планировкой помещений чаще всего применяют решения с высокой материалоемкостью и низкой удельной несущей способностью на таких грунтах. Например, плитные, свайные или комбинированные свайно-плитные фундаменты, которые достаточно дороги и имеют ряд существенных недостатков: подверженность изломам, трещинам, коррозии арматуры при просадке или морозном пучении грунтов и пр. [3–5].

Поэтому в отечественной и зарубежной практике продолжается поиск рациональных решений фундаментов для зданий и сооружений различного назначения.

Среди эффективных фундаментов, позволяющих иметь некоторую свою деформацию без разрушения от внешней нагрузки, отдельную нишу занимают фундаменты в виде пологих моно- или полиоболочек нулевой гауссовой кривизны (цилиндрическая оболочка) или положительной (сферическая оболочка) гауссовой кривизны.

Криволинейные формы оболочек издавна применялись при устройстве фундаментов зданий на слабых грунтах. Первые виды фундаментов-оболочек применялись еще до изобретения железобетона и выполнялись из дерева и кирпича, аналогично аркам, куполам и кирпичным сводам.

Для анализа оптимальных решений использования современных фундаментов-оболочек в конкретных условиях строительства необходимо их классифицировать следующим образом.

1. С конструктивной точки зрения:

- столбчатые фундаменты-оболочки из ненапряженного и предварительно напряженного бетона под отдельные опоры;
- оболочки в составе сплошных фундаментов.

2. По геометрической форме образующей:

- складчатые, состоящие из отдельных пластинок;
- криволинейные, образуемые криволинейными поверхностями.

3. По характеру кривизны поверхности:

- оболочки нулевой гауссовой кривизны (конические, цилиндрические), поверхность которых можно развернуть на плоскость;
- оболочки положительной и отрицательной гауссовой кривизны, поверхности которых не разворачиваются на плоскость.

4. По способу образования поверхности:

- оболочки вращения, образующиеся вращением кривой относительно оси симметрии (осесимметричные оболочки);
- трансляционные оболочки, образующиеся поступательным перемещением кривой вдоль направляющей прямой или кривой.

Приведенная классификация фундаментов-оболочек и множество их конструкций необходимы для создания разнообразной, экономически эффективной городской и промышленной инфраструктуры.

Таким образом, для конкретного проекта здания или сооружения будет лучше подходить своя, более оптимальная конструкция эффективных фундаментов-оболочек, которые дешевле и быстрее строятся, относительно стандартных, дорогих плитных и прочих подобных фундаментов для конкретных условий строительства, в том числе и на слабых грунтах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Попов, А. С.** Усовершенствование конструкций фундаментов с применением бинарных конструкций фундаментов / А. С. Попов, А. Н. Марьяшин // Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития: материалы II Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти д-ра техн. наук, проф. Н. В. Бышова: в 2 ч. – Рязань: РГАТУ, 2022. – Ч. 2. – С. 295–299.

2. **Порошин, О. С.** Взаимодействие цилиндрических бинарных фундаментов-оболочек с глинистым грунтом основания: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / О. С. Порошин. – Тюмень, 2011. – 153 л.

3. **Туркин, В. Н.** Планировочные и инженерно-технические решения мясоперерабатывающего предприятия / В. Н. Туркин, А. А. Богданова, Е. С. Горобец // Научные приоритеты развития АПК, лесного хозяйства и сферы гостеприимства. – Рязань: РГАТУ, 2023. – С. 175–179.

4. **Туркин, В. Н.** Создание комфортной городской инфраструктуры на базе старого микрорайона MYLLYPURO (Хельсинки, Финляндия) / В. Н. Туркин, А. С. Попов // Основные принципы развития землеустройства и кадастров: материалы юбилейной Всерос. науч.-практ. конф. – Новочеркасск, 2023. – С. 81–91.

5. **Туркин, В. Н.** Урбанизация и реновация старых панельных домов и инфраструктуры по-фински на примере района «Мельничный ручей» (Хельсинки) / В. Н. Туркин, А. С. Попов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство: материалы 80-й юбилейной Всерос. науч.-техн. конф. – Самара, 2023. – С. 429–440.

УДК 528.4

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С. Р. ЦАБАДЗЕ, А. Н. АГАДЖАНЫН

Научный руководитель Е. Г. ТРЕТЬЯКОВА, канд. арх. наук, доц.
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия

Трудоемкие методы создания пространственных моделей теряют свою актуальность. В настоящее время активно развиваются и внедряются технологии информационного моделирования, позволяющие координировать работу всех специалистов на разных стадиях жизненного цикла здания [1]. В связи с этим все более необходимым становится применение средств наземного лазерного сканирования как в процессе строительства, так и при реконструкции зданий и сооружений.

Во второй половине прошлого века появился первый прибор, который позволял выполнять процедуру сканирования и получать относительно быстрый результат. В 1980-е гг. стали появляться лазерные сканеры.

Принцип работы системы лазерного сканирования заключается в измерении расстояний до определяемых точек с помощью дальномера [2]. При высокой скорости сканирования (может достигать более двух миллионов точек в секунду) точность доходит до 1 мм. После обработки результатов работы сканера получается база данных, объединяющая отсканированные точки в трехмерную модель здания (рис. 1).

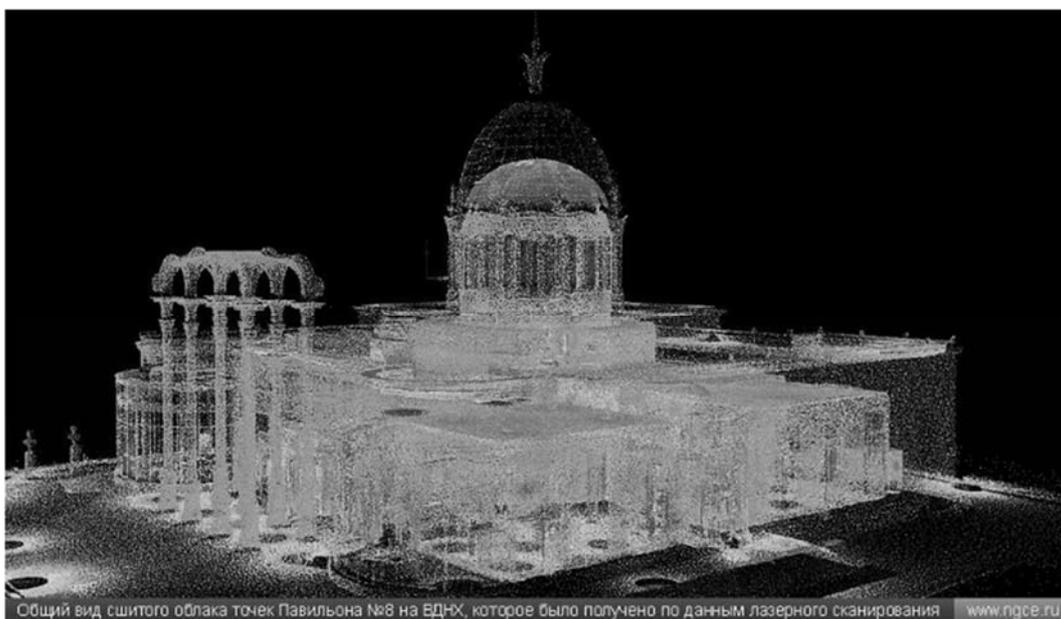


Рис. 1. Трехмерная модель Павильона № 8 на ВДНХ (<https://www.ngce.ru/news-i247.html>)

Поскольку при разработке проектной документации специалистами используются разные файлы для каждого раздела, велики риски возникновения

коллизий. В целях минимизации их количества в процессе строительства выполняется консолидация трехмерной модели, полученной путем лазерного сканирования, с проектной информационной моделью здания. Данное решение сокращает объем ручного труда и снижает влияние человеческого фактора на степень точности выполняемых работ.

Трехмерная модель не является информационной моделью здания. Сканирование позволяет получить лишь виртуальную копию здания, образованную миллионами точек [3].

При реконструкции зданий встречаются элементы, которые недостаточно представить в виде простых геометрических фрагментов. В таких случаях рационально выполнение лазерного сканирования. Трехмерная модель способна ускорить процесс создания подобных элементов, а значит, и реконструкции объекта в целом [4]. Также целесообразно применение данной системы при реконструкции зданий с большим количеством технологического оборудования.

При реставрации собора Парижской Богоматери, Амьенского собора, собора Святого Стефана, собора Санта-Мария дель Фьоре, Парфенона также применялось лазерное сканирование.

Однако лазерное сканирование как метод имеет и ряд недостатков [5]. В связи с принципом работы сканера, сканирование стеклянных конструкций является крайне сложным. В некоторых случаях даже невозможным. Погодные условия могут увеличить сроки выполнения сканирования. Создаваемые сильными ветрами или осадками помехи приводят к помехам в трехмерной модели. Кроме того, необходимо учитывать дороговизну проведения работ и необходимость обучения персонала.

Несмотря на существующие недостатки, лазерное сканирование является перспективным методом получения трехмерной модели здания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алексеев, И. В.** Применение BIM-технологий при проектировании уникальных зданий и сооружений с учетом отечественной и зарубежной практики / И. В. Алексеев, Ж. В. Иванова // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2022. – № 2 (28). – С. 45–50.
2. **Богданов, А. Н.** Наземное лазерное сканирование в строительстве и BIM-технологиях / А. Н. Богданов, И. А. Алешутин // Изв. КГАСУ. Технология и организация строительства. – 2018. – № 4 (46). – С. 326–332.
3. **Гречушкина, Н. В.** Применение 3D-сканирования в строительстве / Н. В. Гречушкина, О. Н. Сорокина, С. В. Семина // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Омск: СибАДИ, 2021. – С. 596–599.
4. **Комиссаров, А. В.** Методика использования BIM-технологий и лазерного сканирования для реконструкции и модернизации объектов / А. В. Комиссаров, А. В. Ремизов // Вестн. СГУГиТ. Дистанционное зондирование Земли, фотограмметрия. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 115–124.
5. **Леонов, А. В.** О необходимости 3D-документирования памятников техники: пример Шуховской башни на Шаболовке / А. В. Леонов, Ю. М. Батулин, И. А. Петропавловская // Вопросы истории естествознания и техники. – 2013. – Т. 34, № 3. – С. 156–170.

УДК 365.46

БЛАГОУСТРОЙСТВО ЖИЛОГО РАЙОНА г. МОГИЛЕВА

Б. О. ЯЛОВСКИЙ, Е. А. ШАРОЙКИНА

Научный руководитель А. М. БРАНОВИЦКИЙ, канд. техн. наук

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Одним из важных аспектов благоустройства является создание зеленых зон. Парки и скверы не только украшают район, но и способствуют улучшению экологии, очищая воздух и создавая уютные места для отдыха. Важно, чтобы такие пространства были доступны для всех категорий граждан: от детей до пожилых людей. Установка скамеек, детских площадок и спортивных зон делает парки более привлекательными. С целью улучшения качества жизни людей на улицах города рассмотрим участок зеленой зоны, который находится на пересечении улиц Березовская, Калужская и Гришина. Данный участок захватывает как старые районы (например, «30 лет Победы»), так и новый строящийся район «Восток», где для населения хотелось бы предложить новый вид досуга.

На рис. 1 представлен план разрабатываемой зоны отдыха.

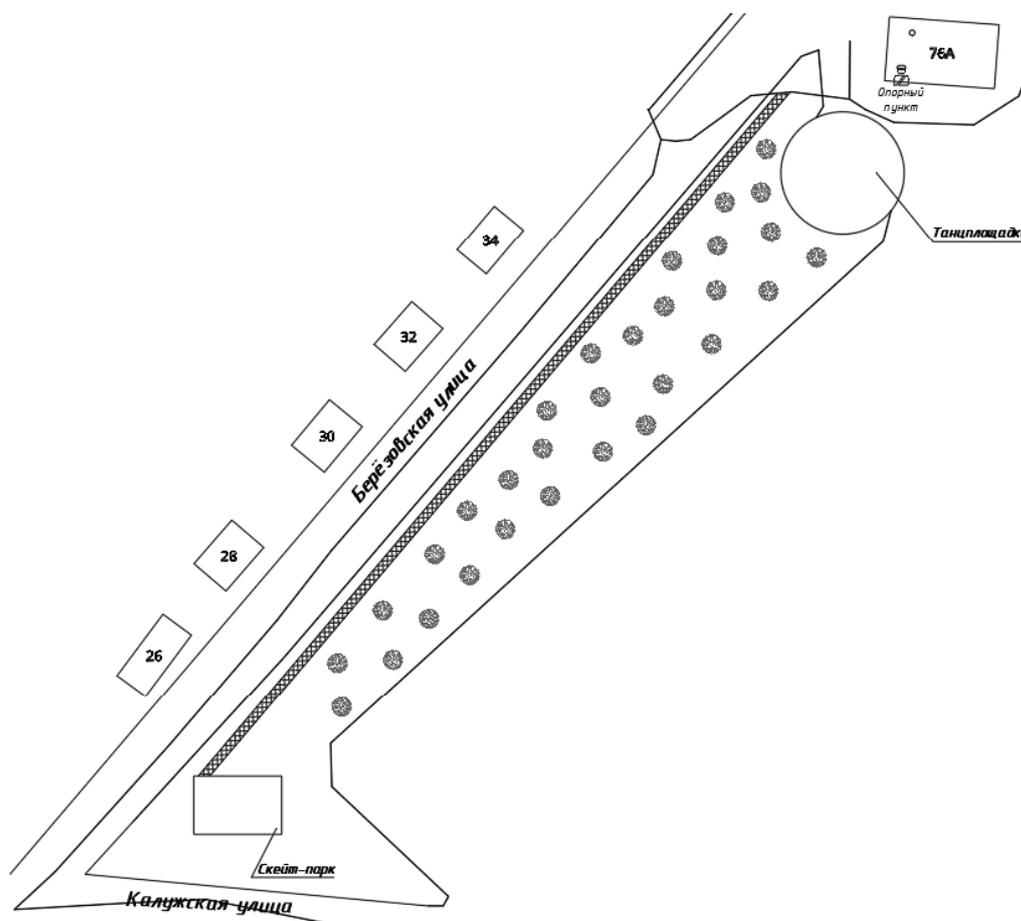


Рис. 1. План участка, подлежащий благоустройству

УДК 621.314

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕТИ RESNET-18

И. Л. ГРОМЫКО, В. Н. ГАЛУШКО, В. А. ПАЦКЕВИЧ

Научный руководитель Д. В. ЕРМОЛЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

Диагностика трансформаторов сегодня довольно долгое и затратное мероприятие. Часто необходимо провести целый ряд непростых испытаний, т. к. современные методы диагностики не всегда однозначно указывают на место и вид дефекта. Надёжность электрической машины в значительной степени определяется надёжностью обмоток, которая, в свою очередь, зависит от состояния изоляции. Изоляция работает в сложных, часто весьма неблагоприятных условиях. В процессе эксплуатации электрических машин, а также во время их хранения и транспортировки, они подвергаются разнообразным внешним воздействиям, приводящим с течением времени к прогрессирующему ухудшению свойств изоляции.

Одним из наиболее распространённых следствий ухудшения свойств изоляции являются межвитковые короткие замыкания (МКЗ). При межвитковом замыкании изоляция обмотки нарушается и происходит её пробой между витками, что впоследствии может привести к выходу из строя трансформатора.

Авторами был предложен и внедрён метод определения МКЗ на основе свёрточных нейронных сетей.

Для обнаружения МКЗ была разработана нейронная сеть на основе свёрточной нейронной сети ResNet-18. Для обучения данной свёрточной нейронной сети использованы осциллограммы тока намагничивания, которые преобразуются в изображения (рис. 1). Также данные изображения использовались для тестирования свёрточной нейронной сети.



Рис. 1. Примеры изображения графиков нормального состояния трансформатора (а) и с МКЗ (б)

Для создания изображений для обучения нейронной сети используется следующий алгоритм.

1. Создаётся массив значений тока, полученных с осциллографа и токоизмерительных клещей.

2. Из каждой позиции массива данных берётся 200 следующих значений, которые отправляются в функцию создания изображения.

3. Функция создания изображения с помощью библиотеки `matplotlib` создаёт

график и сохраняет его в png-файл.

4. Функция обрезки изображения с помощью библиотеки Pil-low обрезает изображение и меняет его размер на приемлемый для нейронной сети.

5. Изображения случайным образом распределяются по папкам train, val и test в соотношении 75 : 24 : 1 соответственно.

В папках train, val и test находятся изображения для обучения, валидации и тестирования нейросети соответственно.

Алгоритм повторяется для трёх файлов с данными (нормальное состояние, межвитковое короткое замыкание первичной обмотки и межвитковое короткое замыкание вторичной обмотки).

Для упрощения разработки взята за основу и дообучена нейронная сеть ResNet-18. Для обучения нейросети и анализа изображений используется python-библиотека torch.

Нейронная сеть принимает на вход чёрно-белые изображения размером 240×175 пикселей и имеет три выхода, означающие нормальное состояние, межвитковое короткое замыкание первичной обмотки и межвитковое короткое замыкание вторичной обмотки соответственно.

Данные преобразуются в тензоры и нормализуются, после чего начинается обучение и сохранение обученной нейронной сети в pth-файл.

Обучение происходит в девять эпох, результаты которых показаны в табл. 1.

Табл. 1. Результаты обучения

Эпоха	Обучение		Валидация	
	Потери	Точность	Потери	Точность
1	0,025	0,997	0,0178	0,9976
2	0,0142	0,9984	0,0123	0,9984
3	0,0098	0,9989	0,0099	0,9989
4	0,08	0,9991	0,0082	0,9987
5	0,0065	0,9991	0,0075	0,9987
6	0,0059	0,9989	0,0064	0,9992
7	0,005	0,999	0,006	0,9992
8	0,0043	0,9994	0,0054	0,9992
9	0,0038	0,9992	0,0051	0,9992

В результате обучения получена нейронная сеть, способная распознавать межвитковые короткие замыкания с вероятностью 99,92 %.

Использование свёрточных нейронных сетей в режиме реального времени позволяет классифицировать различные отклонения, диагностировать виды пред-аварийного и аварийного состояния. Данная система повышает надёжность электроэнергетических систем, т. к. с помощью нейронных сетей можно отследить неисправности трансформатора в момент их возникновения, что позволит предотвратить различные аварийные ситуации, а проведенные исследования позволят разработать нейронную сеть, которая будет распознавать данные неисправности.

УДК 621.3

ТЕПЛОВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

О. А. КАПИТОНОВ, Д. В. ШНИП

Научный руководитель Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Одной из задач тепловой идентификации асинхронного электродвигателя является измерение или расчет температур перегрева отдельных узлов асинхронного электродвигателя. Для решения этой задачи были выбраны наблюдатели состояния температур.

Разработанная тепловая модель использована для предоставления обратных связей по температурам, которые поступают в наблюдатели состояния сопротивлений статора и ротора для корректировки их сопротивлений.

Были разработаны наблюдатели состояния температур таких узлов, основанные на архитектуре наблюдателей MRAS-моделей. В их основе лежит система дифференциальных уравнений, описывающая тепловые процессы, и закон адаптации, восстанавливающий наблюдаемую температуру. Исходными данными являются потери, выделяемые в асинхронном электродвигателе, выходными – температуры обмотки статора, обмотки ротора и лобовых частей.

На втором этапе проведена серия экспериментов при питании от несинусоидального источника питания с использованием классического преобразователя частоты и матричного. При этом в имитационном моделировании были учтены все разработки за текущий этап.

В результате исследований выявлено следующее.

1. Дополнительные потери в узлах статора и ротора от высших гармоник существенно влияют на их температуру и составляют до 70 % основных потерь.

2. С ростом нагрузки двигателя влияние дополнительных потерь существенно.

3. Распределение температуры по длине двигателя несимметрично и наибольшая неравномерность наблюдается для ребренного корпуса.

На основании имитационного моделирования были предложены двух- и трехмассовые тепловые модели, достаточные для контроля температуры на уровне системы управления (прошивки) преобразователя частоты. Для адаптации преобразователя к двигателю на уровне данных тепловых моделей предложены выражения для расчета тепловых проводимостей и оценки потерь мощности.

Полученные математические модели наблюдателей переведены в пространство разностных уравнений и подготовлены для включения в прошивку измерения и прогноза температур отдельных узлов асинхронного электродвигателя (предполагается использование микроконтроллеров семейства STM32 или аналогичных).

УДК 681.53

ВЛИЯНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ПОДДЕРЖАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

М. К. МЕЛИХОВ, Р. Р. САЛАХОВ

Научный руководитель А. М. ЕРМАКОВ, канд. техн. наук, доц.
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева-КАИ
Казань, Россия

Автоматическое поддержание заданной температуры в теплогидравлических системах является особенно актуальной задачей при эксплуатации электромобилей и электробусов, но при их эксплуатации также важную роль играет потребление энергии на вспомогательные системы, в том числе на систему автоматического регулирования температуры.

Для исследования точности поддержания температуры и затрачиваемой на это энергии создана одномерная модель системы охлаждения, имитирующая охлаждение силового электрооборудования электромобиля (рис. 1).

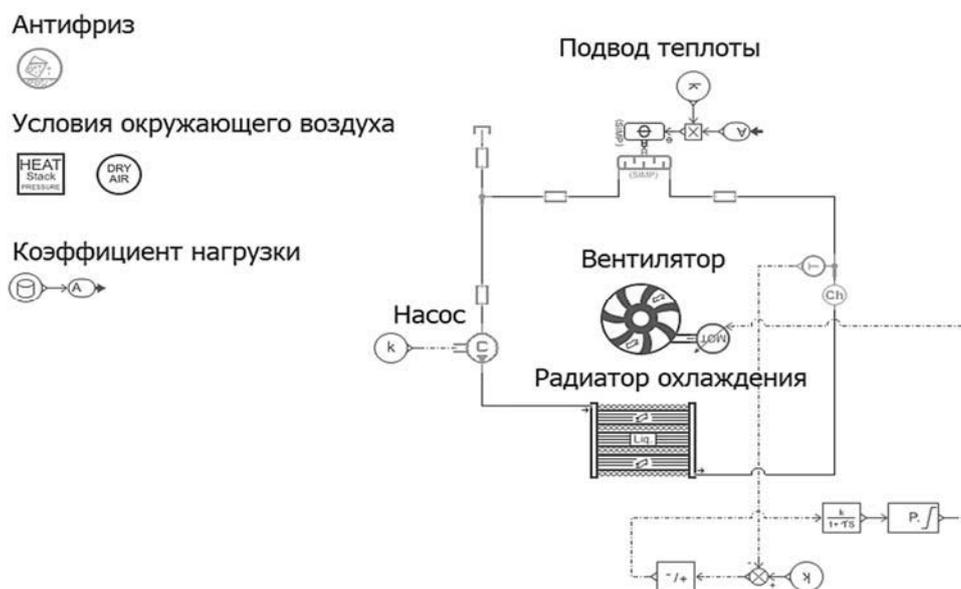


Рис. 1. Одномерная модель автоматического поддержания температуры

Модель состоит из насоса, радиатора охлаждения с вентилятором и теплообменника с подводом теплоты для имитации тепловыделений силового электрооборудования при работе, для оценки динамических характеристик тепловыделения, пропорциональные нагрузке при эксплуатации в European transient cycle. Целевая температура – 22,5 °С, температура окружающего воздуха – 10 °С. Рассмотрены следующие алгоритмы при работе с вентилятором: включение на номинальную скорость и его выключение; ступенчатое изменение оборотов; регулирование оборотов с помощью PID-контроллера с плавным изменением частоты вращения.

Наиболее качественное поддержание заданной температуры в диапазоне $+0,5$ °С реализуется при использовании ПИ- и ПИД-регуляторов (рис. 2), самое большое перерегулирование при использовании П-регулятора – $1,2$ °С.

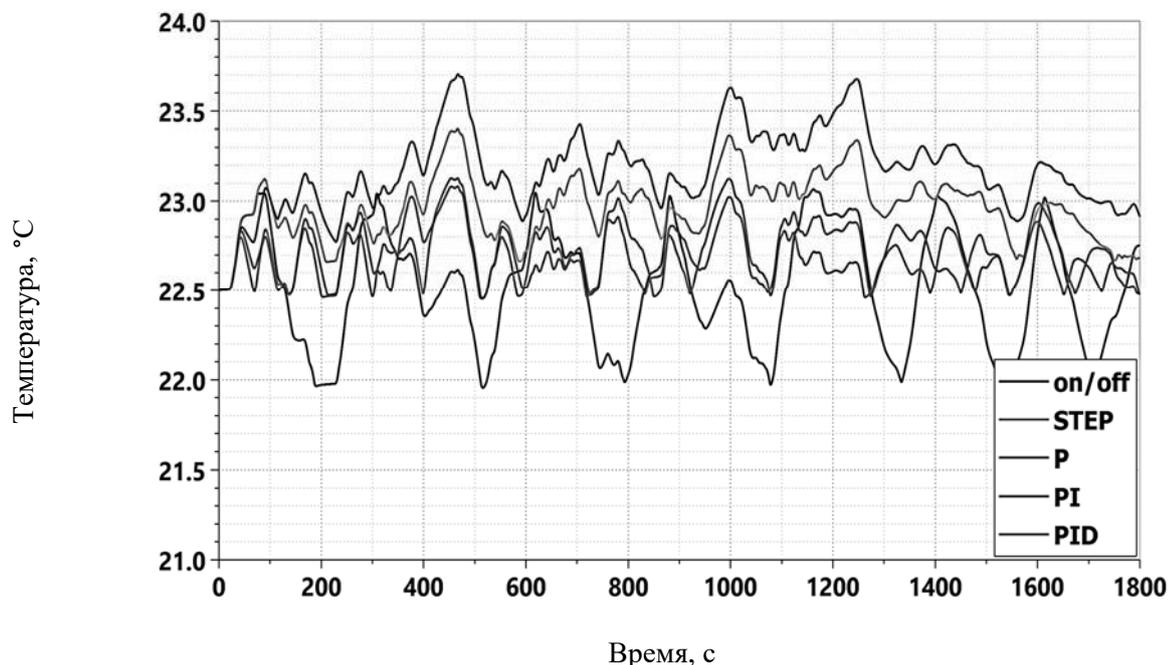


Рис. 2. Температура охлаждающей жидкости при различных алгоритмах управления вентилятором

Постоянная работа на максимальных оборотах приводит к значительному потреблению энергии (табл. 1). В случае работы на частичных нагрузках потребление существенно сокращается.

Табл. 1. Основные характеристики при различных алгоритмах регулирования скоростью вентилятора

Алгоритм управления	Однокоростной (вкл./выкл.)	Ступенчатый алгоритм	Регулятор		
			П	ПИ	ПИД
Средняя мощность на привод вентилятора, Вт	926	68	36	238	384
Экономия потребляемой мощности за цикл, %	–	92,6	96,1	74,3	58,6

Минимальное потребление энергии на привод вентилятора реализуется на базе пропорциональных алгоритмов ступенчатого и П-регулятора. Для снижения энергопотребления при допустимом перерегулировании возможно использовать корректировку целевой температуры до 22 °С для устранения статической ошибки регулирования, что позволяет уменьшить перерегулирование П-регулятора до $0,7$ °С, потребляемая мощность возрастает при этом до $42,3$ Вт.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-0037.

УДК 697.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТАХ

А. Д. ПАНЬКИНА

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

Поволжский государственный технологический университет

Йошкар-Ола, Россия

Частотное регулирование представляет собой метод изменения скорости вращения электродвигателя за счёт изменения частоты питающего напряжения. Этот процесс реализуется через частотные преобразователи (ЧП), которые обеспечивают гибкое и точное управление насосами.

Одним из главных преимуществ частотного регулирования является энергосбережение. Благодаря регулировке скорости вращения двигателя, система работает более эффективно, снижая потребление электроэнергии. Например, при уменьшении скорости на 20 % расход электроэнергии может сократиться до 50 %, что особенно важно в условиях постоянно растущих затрат на энергоресурсы [1].

Следующим значимым преимуществом является уменьшение износа оборудования. ЧП обеспечивают плавный пуск и остановку двигателей, что минимизирует ударные нагрузки на механические компоненты, такие как подшипники и уплотнительные элементы. В результате снижается вероятность поломок и увеличивается срок службы оборудования, что, в свою очередь, приводит к уменьшению эксплуатационных затрат.

Кроме того, частотное регулирование позволяет добиться гибкости управления насосными установками. Это означает, что система может точно адаптировать свою работу под текущие потребности, поддерживая необходимые параметры расхода и давления в сети, что особенно полезно для систем с переменной нагрузкой, где важно оперативно реагировать на изменения в потреблении [2].

Частотные преобразователи можно классифицировать по нескольким основным признакам.

1. По методу управления:

– скалярное управление обеспечивает простую регулировку скорости, изменяя одновременно частоту и напряжение, но без контроля момента, что делает его подходящим для менее сложных систем;

– векторное управление используется для точного регулирования скорости и момента, обеспечивая стабильность при переменных нагрузках;

– прямое управление моментом отличается высокой точностью и быстрым откликом, что важно для динамически изменяющихся систем.

2. По типу двигателя:

- асинхронные двигатели являются наиболее распространёнными и экономичными;

- синхронные двигатели используются там, где требуется высокая стабильность скорости и постоянство частоты вращения.

3. По типу управления контуром:

- открытый контур используется в простых системах, где стабильность нагрузки достаточна для эффективного регулирования;

- замкнутый контур обеспечивает точное управление, что актуально для систем с переменной нагрузкой.

4. По количеству фаз:

- однофазные преобразователи применяются для маломощных установок и бытовых систем;

- трёхфазные преобразователи используются в промышленных и мощных установках.

Для правильного выбора частотного преобразователя важно учитывать мощность насоса, номинальную частоту вращения и диапазон изменения частоты, чтобы обеспечить соответствие параметрам системы [3]. Это необходимо для эффективной работы оборудования и адаптации к колебаниям нагрузки.

Настройка частотного преобразователя включает в себя регулировку скорости вращения насоса для оптимальной работы при различных условиях эксплуатации. Векторное или прямое управление помогает поддерживать точный контроль момента, особенно при изменении тепловой нагрузки. Обратная связь от датчиков давления и расхода позволяет автоматизировать корректировки работы системы, предотвращая перегрузки.

В заключение можно отметить, что частотное регулирование электродвигателей в насосных системах индивидуальных тепловых пунктов является эффективным решением, позволяющим значительно снизить энергозатраты, продлить срок службы оборудования и повысить гибкость управления. Оптимизация рабочих параметров насосов через точную настройку скорости и момента снижает эксплуатационные риски и улучшает общую производительность системы. Перспективы дальнейшего использования частотных преобразователей заключаются в их возможности адаптироваться к разнообразным условиям эксплуатации, что делает их незаменимыми для систем с переменной нагрузкой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Емельянов, С. В.** Энергосбережение и повышение эффективности насосных установок с использованием частотных преобразователей / С. В. Емельянов. – Москва: Энергия, 2017.

2. **Иванов, А. П.** Частотно-регулируемые электроприводы в насосных системах: теория и практика / А. П. Иванов, В. А. Козлов. – Санкт-Петербург: Политехника, 2018.

3. **Мельников, В. Г.** Автоматизация насосных систем теплоснабжения / В. Г. Мельников. – Москва: МЭИ, 2015.

УДК 621.3

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ВЕНТИЛЯЦИИ

А. С. ТРЕТЬЯКОВ, Д. В. ШНИП

Научный руководитель Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Идентификация – это процесс, при котором опытным или расчетным путем определяется искомая величина.

Цель работы – определение параметров тепловой модели, при которых становится возможным прогнозирование температур.

В зависимости от уровня сложности решаемой задачи, а также особенностей технологического процесса, где применяется рассматриваемый асинхронный электродвигатель, выбирается одно-, двух- или многомерная тепловая модель. Исходными данными для расчета являются паспортные данные двигателя, параметры окружающей среды и технологического процесса.

На основании анализа тепловых потоков для каждого типа тепловой модели составляются тепловые схемы замещения, представляющие собой систему однородных тел, связанных между собой тепловыми проводимостями. Далее предложены методики для оценки тепловых проводимостей и потерь мощностей, выделяемых на каждом отдельном узле. Для прогноза температур каждого отдельного узла было сделано следующее.

1. Разработан математический аппарат, представляющий собой систему разностных уравнений.

2. Разработана методика расчета тепловых проводимостей, связывающих тепловые потоки статора и ротора асинхронного электродвигателя. Предложены эмпирические зависимости этих сопротивлений в функции скорости вращения ротора исследуемого асинхронного электродвигателя.

3. Предложена методика создания адаптивной тепловой модели. Для получения потерь мощностей в узлах трехмассовой модели использована уточненная электромагнитная модель.

В ходе выполнения данного этапа рассматривался общепромышленный асинхронный электродвигатель с наружной и отдельно с независимой вентиляцией.

Однако есть тепловые проводимости, которые являются зависимыми от вентиляционной сети асинхронного электродвигателя. Для учета данного эффекта на основании описания вентиляционного тракта протекания в машине охлаждающего воздуха были составлены вентиляционные схемы замещения. Далее предложены методики расчета тепловых сопротивлений, ряд которых учитывали аэродинамические сопротивления. В том числе предложена методика учета параметров вентиляционного потока при прогнозе температур. Был получен единый математический аппарат, описывающий тепловые и вентиляционные процессы.

УДК 681.516.7

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ОБОРУДОВАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Д. В. ШНИП

Научный руководитель Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

На современных молочно-товарных фермах (МТФ) для приготовления жидких кормовых смесей (ЖКС) применяется специализированное оборудование. К данному оборудованию преимущественно относятся следующие пастеризаторы.

1. Мобильные пастеризаторы (молочные такси).
2. Стационарные пастеризаторы.

Состав обобщённой типовой конструкции в максимальной комплектации молочного такси включает в себя следующие типовые узлы и элементы.

1. Аксиальные ёмкости.
2. Микропроцессорная система управления.
3. Автоматизированный электропривод для передвижения молочного такси.
4. Перемешивающее устройство, оснащённое автоматизированным электроприводом.
5. Дозирующее устройство, оснащённое автоматизированным электроприводом.

6. Система автоматического нагрева технологической жидкости.

Состав обобщённой типовой конструкции в максимальной комплектации стационарного пастеризатора включает в себя следующие типовые узлы и элементы.

1. Аксиальные ёмкости.
2. Микропроцессорная система управления.
3. Перемешивающее устройство, оснащённое автоматизированным электроприводом.
4. Система автоматического нагрева технологической жидкости.

Микропроцессорная система управления позволяет:

1) исключить из технологического процесс нагрева ЖКС человеческий фактор путём автоматизации данного технологического процесса;

2) учитывать все флуктуации параметров ЖКС:

– для приготовления ЖКС используется вода системы водоснабжения МТФ, температура воды в пределах от 8 °С до 12 °С при условии забора воды из артезианской скважины, температура воды в пределах от 10 °С до 25 °С при использовании воды из водонапорной башни;

– при использовании в качестве ЖКС цельного охлаждённого молока температурой от 2 °С до 4 °С;

– при использовании в качестве ЖКС свежего молока после фильтрации, температура в пределах от 25 °С до 35 °С;

3) учитывать все флуктуации параметров технологических растворов:

– требуемую скорость v , м³/ч, циркуляции технологической жидкости (воды) по нагревательному контуру для доведения исходной ЖКС до заданной температуры пастеризации;

– требуемую температуру технологической жидкости от 25 °С до 90 °С для доведения исходной ЖКС до заданной температуры пастеризации.

Разработана обобщённая модель пастеризаторов с аксиальными ёмкостями для исследования тепловых процессов и для новых различных алгоритмов управления микропроцессорной системы управления при автоматизации технологических процессов нагрева (рис. 1).

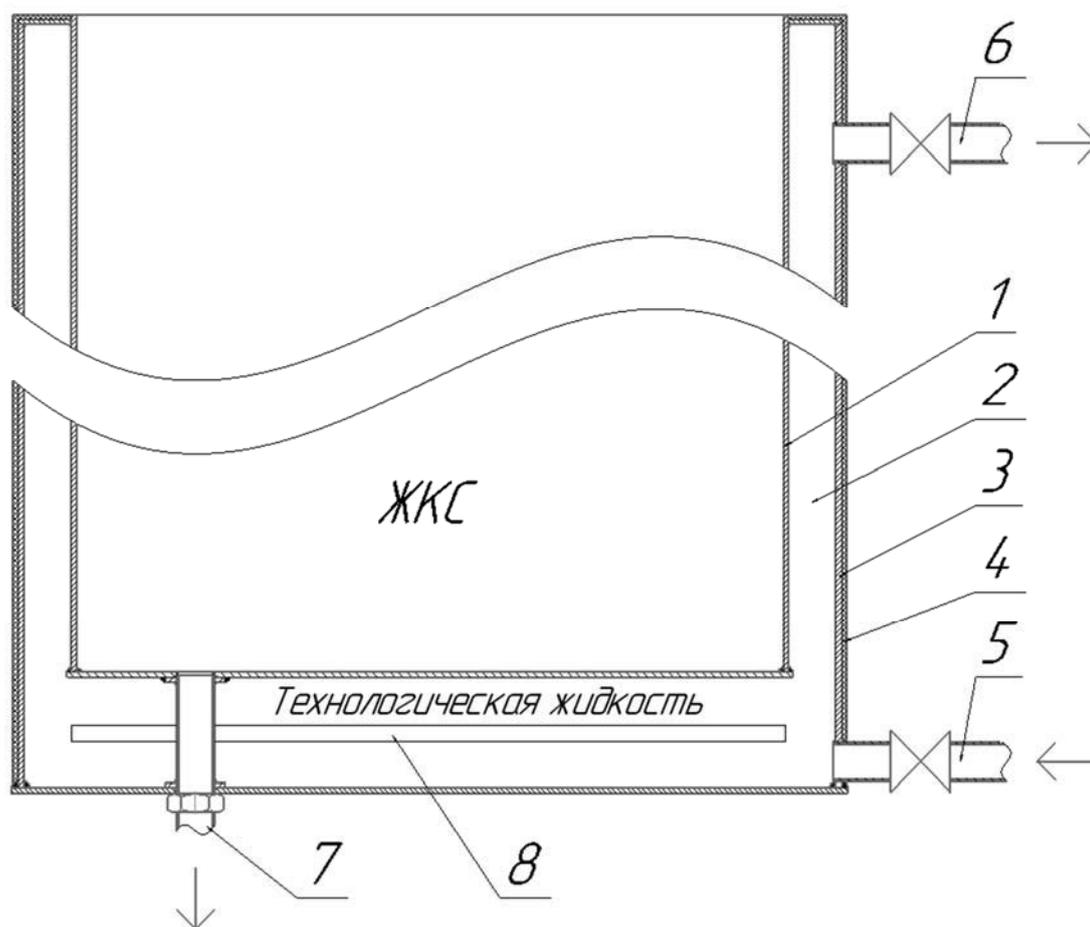


Рис. 1. Обобщённая модель пастеризаторов с аксиальными ёмкостями для исследования тепловых процессов: 1 – внутренняя аксиальная ёмкость; 2 – нагревательный контур; 3 – внешняя аксиальная ёмкость; 4 – теплоизоляция; 5 – подача технологической жидкости; 6 – отвод технологической жидкости; 7 – отвод готовой ЖКС; 8 – элементы системы автоматического нагрева технологической жидкости (изображены упрощенно)

Апробирование новых алгоритмов управления для микропроцессорных систем управления пастеризаторами с аксиальными ёмкостями выполнено на моделях SOLIDWORKS Flow Simulation.

УДК 628.316.12

ВЛИЯНИЕ pH СРЕДЫ НА ПРОЦЕСС ДЕФТОРИРОВАНИЯ
СТОЧНЫХ ВОД

С. В. АЗОПКОВ, Ю. Д. ПЕРЕСУНЬКО

Научный руководитель Е. Н. КУЗИН, канд. техн. наук, доц.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Ежегодно приходится сталкиваться с увеличением нагрузки на агропромышленный комплекс ввиду неуклонного роста населения и, как следствие, постоянного повышения количества образующихся производственных жидких (сточные воды) и твердых отходов.

Одной из серьезных экологических проблем, связанной с расширением перечня производимых минеральных удобрений, различных почвенных добавок, активаторов роста, мелиорантов и других продуктов, направленных на повышение урожайности пахотных земель, является образование значительных объемов сточных вод, содержащих крайне токсичные поллютанты (фторид-, фосфат-, аммоний-, нитрат-ионы и др.) с крайне низкими нормативами сброса. Например, для рыбохозяйственных водоемов предельно допустимые концентрации (ПДК) по фторид-ионам не должны превышать $1,5 \text{ мг/дм}^3$, по фосфатам – не более $0,2 \text{ мг/дм}^3$, для ионов аммония – не более $0,04 \text{ мг/дм}^3$ (СанПиН 1.2.3685–21). Однако наиболее токсичным компонентом сточных вод производства минеральных удобрений являются соединения фтора, вызывающие такое серьезное заболевание у людей, как флюороз.

В связи с этим возникает необходимость в очистке подобных сточных вод в первую очередь от фторид-ионов. Самым распространенным методом дефторирования сточных вод является реагентное осаждение фторид-ионов в виде различных фторидов металлов (CaF_2 , MgF_2 , AlF_3 , FeF_3). В качестве реагентов-осадителей чаще всего используют соединения кальция/магния (CaO , MgO , Ca(OH)_2 , Mg(OH)_2), соли алюминия/железа (сульфат, хлорид) или совместное последовательное применение соединений кальция/магния и алюминия/железа. Однако трудность с реагентном осаждении фторид-ионов заключается в определении эффективного диапазона pH, при котором происходит максимальное снижение фторид-ионов, и который, в свою очередь, зависит от множества факторов (буферная емкость сточной воды, наличие/отсутствие соединений аммония, фосфатов и др.) [1, 2].

Ввиду этого целью работы является определение эффективного pH для обработки фторидсодержащей сточной воды известковым молоком для максимального удаления фторид-ионов.

В исследовании использовали реальную сточную воду следующего состава: содержание фторид-ионов – $114,2 \text{ мг/дм}^3$; pH – 5,63. Эксперименты проводили в полипропиленовых стаканах (с целью снижения агрессивного воздействия фторид-ионов на стеклянную емкость) объемом 250 см^3 с постепенным введением 5-процентного известкового молока до pH, равного 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0;

11,0; 11,5, и временем выдержки не менее 5 мин после достижения заданного рН системы. Эффективность дефторирования сточной воды определяли в надосадочной части после фильтрации образующейся суспензии сточной воды и известкового молока. Содержание фторид-ионов определяли потенциометрическим методом с использованием ион-селективного электрода ЭЛИС-131F.

Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Табл. 1. Эффективность дефторирования сточной воды 5-процентным известковым молоком

рН системы	Расход 5-процентного известкового молока, мл/250 см ³	Остаточное содержание фторид-ионов, мг/дм ³
Исходный 5,63	–	114,2
6,0	0,1	110,10
7,0	0,15	78,80
8,0	0,26	55,17
9,0	0,31	48,30
10,0	0,33	39,51
11,0	0,35	35,10
11,5	0,36	33,40

Из данных, представленных в табл. 1, видно, что наибольшая эффективность дефторирования сточной воды обеспечивается при рН, равном 10...11,5, и при этом остаточные концентрации фторид-ионов незначительно отличаются (от 39,51 до 33,40 мг/дм³), но все еще значительно превышают ПДК. Показано, что исследуемая сточная вода имеет потенциометрический перелом при рН 9,0, после которого расход известкового молока увеличивается незначительно. Вероятнее всего это может быть связано с параллельными процессами дефосфатизации, влияющие на буферность системы и расход известкового молока.

В результате проделанной работы установлено, что эффективный диапазон рН для максимального снижения фторид-ионов находится в пределах 10,0...11,5. При этом исследования, направленные на последующее снижение остаточных количеств фторид-ионов после обработки сточной воды кальцийсодержащим реагентом, будут проведены позже. В качестве реагентов-осадителей для второй стадии очистки планируется использовать различные соли алюминия или железа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ахмедова, Г. Р.** Способы и технологии обезфторивания воды / Г. Р. Ахмедова, К. А. Ногаева, С. С. Нуркеев // Наука и новые технологии. – 2012. – № 2. – С. 110–113.
2. **Тюменцева, М. В.** Очистка воды от фторид-иона / М. В. Тюменцева // E-Scio. – 2023. – № 2 (77). – С. 401–416.

УДК 502/504

ЭКСПРЕСС-ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И СТОЧНЫХ ВОДАХ

Ю. М. ГОНЧАРИК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время для мониторинга технологических и сточных вод на производстве существуют химические лаборатории, различного дорогостоящего стационарного и переносного аналитического оборудования. В организациях и на предприятиях промышленности имеются службы контроля и экологического мониторинга.

В лабораториях такого уровня используемые методы и обученный персонал позволяют получать точный результат, но с условием отбора и дальнейшей доставки проб в лабораторию, что затрудняет получение оперативной информации в режиме реального времени. Но есть предприятия, где лаборатории, службы мониторинга и аналитического контроля вообще не предусмотрены.

Цель проведенных исследований заключалась в выявлении простых способов и средств аналитического контроля при минимальных экономических затратах и удовлетворении требований при контроле различных химических веществ и загрязнителей водной среды, а также выявлении допустимой точности данных измерений.

Химический метод обнаружения загрязняющих веществ (ЗВ) широко распространен при контроле загрязняющих веществ в водной среде [1]. Он дает точный результат, но занимает время. В некоторых экстренных ситуациях (аварии на производстве, техногенные ЧС) необходимо провести срочный оперативный контроль воды на загрязнители. В этом случае для контроля воды на загрязняющие вещества в инженерных установках, отстойниках и технологических резервуарах можно применять различные экспресс-тесты и портативные переносные аналитические приборы.

Экспресс-тесты предназначены для контроля воды на широкий спектр показателей (более 15). Анализ воды прост, доступен и может выполняться прямо на месте отбора проб. Основой экспресс-тестов является химический индикатор, который реагирует на наличие определенного показателя в воде. По цветовой шкале, которая прилагается к тестам, можно определить приблизительное количество или концентрацию загрязняющего вещества [2].

По такому же принципу устроены индикаторные тест-полоски для определения некоторых загрязняющих и отравляющих веществ в воде. Тест-полоску опускают в воду и по полученной окраске и прилагаемой цветовой шкале путем сравнения определяют концентрацию загрязняющего вещества.

В последнее время стали очень популярны уже готовые наборы – мобильные (компактные) лаборатории, в виде чемодана с различными наборами индикаторов, тест-полосок и другого оборудования.

Если необходимо определить уровень концентрации определенного параметра или просто проверить состав образца воды на месте, мобильные лаборатории содержат все реагенты и аксессуары, необходимые для проведения конкретного анализа. Переносной футляр обеспечивает защиту содержимого, а открытую крышку можно легко использовать в качестве лабораторного столика.

Экономичные запасные блоки доступны для любого параметра, входящего в компактные лаборатории. Флаконы с реагентами могут быть сложены в чемодан заранее, сократив затраты на последующие измерения [2].

Существуют также переносные портативные электронные приборы (рН-метры, TDS-метры) для проверки воды на такие показатели, как рН, минерализация и жесткость воды. Они просты в использовании, имеют небольшие габариты, внутренний источник питания и подходят для контроля технологической и сточной воды.

Показатели точности измерений в химических и инструментальных (при помощи приборов) методах намного выше, чем у методов на основе химических индикаторов (табл. 1).

Табл. 1. Показатели точности (погрешности) различных методов обнаружения ЗВ

Переносные приборы	Химический метод	Экспресс-тест	Экспресс-полоски
10 %...20 %	15 %...25 %	25 %...35 %	35 %...45 %

При использовании химических и инструментальных методов обнаружения загрязняющих веществ в воде обычно проводят два-три параллельных измерения [1]. Многократные опыты и наблюдения, полученные в условиях лаборатории, показывают, что если увеличить количество параллельных измерений (до 8) при использовании индикаторов, то можно добиться приемлемого уровня точности (погрешность менее 35 %) и прецизионности полученных результатов.

Исходя из вышеизложенного, все перечисленные способы и методы обнаружения загрязняющих веществ при помощи индикаторов и переносных портативных приборов несомненно представляют большой научный и практический интерес. В особенности данная информация будет иметь несомненную важность для организаций и предприятий, где нет возможности организовать стационарный лабораторный мониторинг технологической и сточной воды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Качество воды: руководство по аналитическому контролю при проведении химических и физико-химических испытаний воды: СТБ 17.13.05-19-2010/ISO/TS 13530:2009. – Введ. 15.03.2009. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2009. – 44 с.

2. Test kits and photometric methods [Electronic resource] // Merck. – Mode of access: <http://www.merckmillipore.com/test-kits>. – Date of access: 09.09.2024.

УДК 628.316.13

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСУЛЬФАТА АММОНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СИНТЕТИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ

А. А. ИВАНОВ

Научный руководитель Е. Н. КУЗИН, канд. техн. наук, доц.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Синтетические красители широко распространены в промышленности. Их активное применение сопряжено со значительным загрязнением окружающей среды, главным образом, сточными водами.

Попадание синтетических красителей приводит к значительным изменениям физико-химических параметров водной среды, снижению концентрации растворенного кислорода и образованию токсичных полупродуктов их разложения [1].

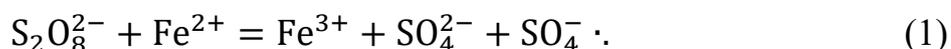
Химическое окисление является одним из традиционных способов очистки сточных вод от устойчивых к биодеструкции органических загрязнителей. К наиболее распространенным окислителям относятся озон, гипохлорит натрия, хлор и пероксид водорода. Однако применение этих реагентов сопряжено со значительными недостатками: высокие эксплуатационные затраты, образование токсичных побочных продуктов и др. [2]. Ограничения традиционного химического окисления привели к активному развитию АОП (Advanced Oxidation Processes).

Наиболее современные разработки в этой области связаны с SR-АОП (Sulfate Radical based АОП), в данных процессах окисление загрязняющих веществ осуществляется с помощью сульфат-радикалов ($SO_4^{\cdot-}$), в результате чего значительно возрастает эффективность проводимой очистки [3].

Цель исследования – изучение окислительной деструкции синтетических красителей с использованием персульфата аммония в качестве источника сульфат-радикалов.

Опыты по окислению проводились с использованием модельных растворов, где в качестве загрязняющего вещества использовался краситель родамин С ($C_{28}H_{31}O_3N_2Cl$). Начальная концентрация загрязнителя составляла 3 мг/дм³. Доза персульфата аммония в каждом эксперименте составляла 10 мг/мг загрязняющего вещества. Эффективность окисления родамина С определялась на основе начальных и конечных концентраций, которые измерялись с использованием фотоэлектроколориметра ЗОМС КФК 3-01. Окисление проводилось при непрерывном перемешивании реакционной смеси в течение 30 мин.

Одним из наиболее простых способов разложения персульфатов с образованием сульфат-радикалов является катализ переходными металлами. В качестве катализатора разложения окислителя использовалось железо (II):



Для определения оптимальной дозы катализатора его добавка варьировалась от 0 до 6,66 мг/мг.

Результаты проведенного эксперимента представлены на рис. 1.

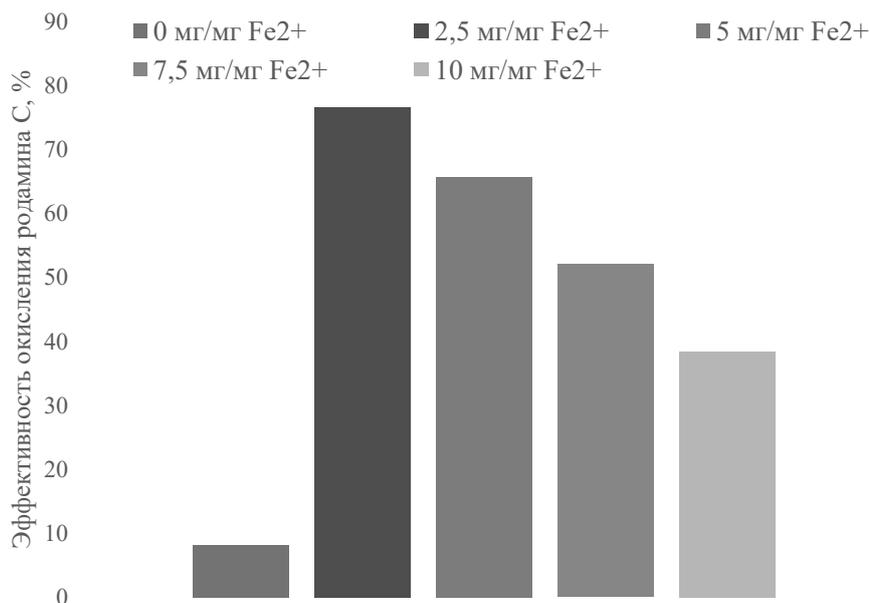


Рис. 1. Эффективность окисления родамина С персульфатом аммония в присутствии Fe²⁺

Из данных рис. 1 видно, что активация разложения персульфата аммония с помощью Fe²⁺ значительно повышает эффективность деструкции родамина С (в 9 раз). Максимальное удаление родамина С (76,67 %) достигается при добавке катализатора разложения 2,5 мг/мг. Снижение эффективности проводимого окисления при дальнейшем увеличении дозы катализатора может быть объяснено протеканием побочных реакций между (NH₄)₂S₂O₈ и Fe²⁺:



Результаты исследования позволяют сделать вывод о перспективности применения персульфата аммония в качестве реагента для очистки сточных вод от синтетических красителей. Дальнейшее исследование методов активации разложения (NH₄)₂S₂O₈ с образованием сульфат-радикалов может позволить увеличить эффективность окислительной деструкции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцева, Е. К. Очистка сточных вод предприятий красильной промышленности отходом растениеводства / Е. К. Мальцева // Образование. Наука. Производство: материалы XIII Междунар. молодеж. форума, Белгород, 8–9 окт. 2021 г. – Белгород: Белгород. гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова, 2021. – С. 1462–1466.
2. Systematic review of toxicity removal by advanced wastewater treatment technologies via ozonation and activated carbon / J. Völker [et al.] // Environmental Science & Technology. – 2019. – Vol. 53, № 13. – P. 7215–7233.
3. A review study on sulfate-radical-based advanced oxidation processes for domestic/industrial wastewater treatment: degradation, efficiency, and mechanism / X. Xia [et al.] // Frontiers in chemistry. – 2020. – Vol. 8. – P. 592056.

УДК 004.925.8:004.946:620.179.152

ЦИФРОВАЯ СИМУЛЯЦИЯ ПРИ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ
ПОДГОТОВКЕ И ОЦЕНКЕ НАВЫКОВ СПЕЦИАЛИСТОВ
ПО РАДИАЦИОННОМУ ВИДУ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

В. С. КУВШИННИКОВ, канд. техн. наук
Научный руководитель Е. Е. КОВШОВ, д-р техн. наук, проф.
АО «НИКИМТ-Атомстрой»
Москва, Россия

Потребность различных отраслей промышленного производства в специалистах по неразрушающему контролю (НК) не только в Российской Федерации и Республике Беларусь, но и в ряде других дружественных государств неуклонно возрастает. Специалисты по различным видам и методам НК обеспечивают качество, надежность и своевременную сдачу продукции в эксплуатацию, в первую очередь, в ресурсодобывающей, перерабатывающей и энергетической отраслях. Это позволяет увеличивать объемы производства в других сферах, нуждающихся как в специалистах НК, так и в сотрудниках смежных специальностей. От оперативности, объемов и уровня качества подготовки специалистов зависит очень многое.

Среди наиболее востребованных методов НК, в числе которых визуальный и измерительный контроль, акустический контроль (ультразвуковой), контроль проникающими веществами (капиллярный) и радиационный (радиографический контроль (РК): рентгено- и гаммаграфирование). Хотя и ультразвуковой и капиллярный контроль сопряжены с угрозами для здоровья персонала, наиболее опасными являются методы контроля проникающим ионизирующим излучением. Это налагает существенные ограничения на условия практической подготовки специалистов. Во-первых, к практическим занятиям не могут быть допущены лица до 18 лет, что ограничивает возможности профильных колледжей, профессиональных технических училищ по подготовке и выпуску аттестованных специалистов с удостоверениями 1-го уровня, затягивает получение квалификаций 2-го и 3-го уровней. Во-вторых, организация практических занятий требует оборудования и аккредитации лаборатории, удовлетворяющей строжайшим требованиям, а также наличия опытного специалиста-инструктора с необходимым уровнем компетенций и аттестации. При этом требуются периодические процедуры по продлению сроков действия аккредитации, ператтестация сотрудников, поверка оборудования и закупка нового дорогостоящего инвентаря с коротким сроком эксплуатации, а также приобретение расходных материалов и утилизация опасных отходов.

Перечисленное выше приводит к снижению «пропускной способности» учебного процесса, сокращению реального времени практики, увеличению

времени отрыва обучаемых от их основной деятельности на срок командирования к месту проведения практических занятий. Таким образом, приведенные выше факторы отрицательным образом влияют на продолжительность, стоимость и качество обучения.

К настоящему времени использование компьютерных средств в задачах обучения получило широкое распространение с применением цифровых образовательных ресурсов различных форм: от цифровизации учебных материалов до интерактивных тренажеров с виртуальной (VR) и дополненной реальностью (AR), включая иммерсионные тренажеры и другие инструменты погружения в образовательный процесс. Используя доступные средства человеко-машинного взаимодействия, можно добиться значительных результатов при развитии личных профессиональных навыков.

Трехмерное моделирование с погружением в VR-среду, применительно к РК, хорошо зарекомендовало себя в качестве эффективного инструментального средства как при подготовке и переподготовке профильных специалистов, так и на различных конкурсах профессионального мастерства. На площадках конкурсов в условиях несовместимых с выполнением полноценного РК действующими радиографическими (РГ) аппаратами требуется оценить уровень продемонстрированного мастерства при настройке множества параметров экспонирования, а также получить наглядный экземпляр результатов контроля, который корректно отражает недостатки и демонстрирует изъяны, возникшие в случае нарушения требований, предъявляемых к процедуре контроля.

Разработанные математические модели и алгоритмы позволяют наглядно отразить на цифровой тени результаты экспонирования. К ним можно отнести связь выбранного соотношения между анодным напряжением и величиной экспозиции с контрастностью изображения, выбранного фокусного расстояния и размера фокусного пятна источника с наблюдаемыми размерами геометрической нерезкости, связь между чувствительностью выбранного детектора и рассчитанными параметрами экспонирования с полученной оптической плотностью (для пленочного детектора) на расчетной толщине, связь выбранной схемы контроля и установленного ракурса с наблюдаемыми границами и геометрией проекции объекта на детекторе, а также результаты влияния другой входной информации в соответствии с особенностями реализации РК.

Симулятор промышленной радиографии позволяет применять цифровые двойники РГ-аппаратов на стационарных и переносных штативах при контроле лабораторных образцов стандартизированных сварных соединений, а также других объектов контроля, формировать двойник РГ-изображения в виде цифровой тени как на плоских, так и на изогнутых детекторах при произвольном расположении источника лучевого воздействия и вспомогательной оснастки, включая индикаторы чувствительности, маркировочные знаки, ограничительные метки и т. д.

УДК 628.349.094.3

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ПЕРОКСОДИСЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Т. Г. ЛЮБУШКИН

Научный руководитель Е. Н. КУЗИН, канд. техн. наук, доц.

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Методы АОР (Advanced Oxidation Processes) для очистки сточных вод сегодня становятся особенно популярными. Их востребованность обусловлена высокой эффективностью, отсутствием образования токсичных продуктов окисления и возможностью применения для очистки систем сложного состава, содержащих органические вещества, устойчивые к биологическому окислению.

В данной области наиболее перспективны SR-AOP (Sulfate-Radical based Advanced Oxidation Processes). По сравнению с традиционными для АОР гидроксил-радикалами, сульфат-радикалы обладают большим временем жизни (30...40 мкс) и большим окислительным потенциалом (2,5...3,1 В) [1]. Обычно в качестве источников сульфат-радикалов применяют пероксодисерную кислоту ($H_2S_2O_8$) или ее соли (персульфаты).

Распад пероксодисерной кислоты с образованием свободных радикалов происходит в результате активации разложения, которая может заключаться в явлении переноса электронов или в использовании избыточной энергии. Предлагаются различные способы активации разложения $H_2S_2O_8$ с образованием сульфат-радикалов (нагревание, ультразвук, микроволновое излучение, катализ переходными металлами и т. д.) [2]. Вследствие успешного применения в других АОР значительный интерес вызывает фотокаталитический метод [3].

Основной целью данного исследования является изучение эффективности разложения пероксодисерной кислоты с помощью УФ-излучения.

Опыты по разложению реагента с образованием сульфат-радикалов проводились в присутствии поглотителя радикалов, в качестве которого был выбран синтетический краситель – метиловый красный.

Начальная концентрация красителя составляла 6 мг/л. Доза $H_2S_2O_8$ – 2,5 мг/мг красителя.

Оценка эффективности активации разложения пероксодисерной кислоты осуществлялась по обесцвечиванию красителя, степень которого определялась фотометрическим методом. УФ-облучение проведено с помощью импульсной лампы на частоте 3 Гц на протяжении 30 мин при постоянном перемешивании реакционной смеси.

В ходе поглощения пероксодисерной кислотой света в УФ-спектре происходит разрушение пероксидной связи, вследствие которого происходит образование сульфат-радикалов:



Для того чтобы исключить возможность обесцвечивания красителя индивидуальным действием элементов системы УФ/ $H_2S_2O_8$ проведены опыты

по обесцвечиванию метилового красного пероксодисерной кислотой без активации разложения и УФ-облучением.

Результаты эксперимента по оценке эффективности обесцвечивания красителя приведены на рис. 1.

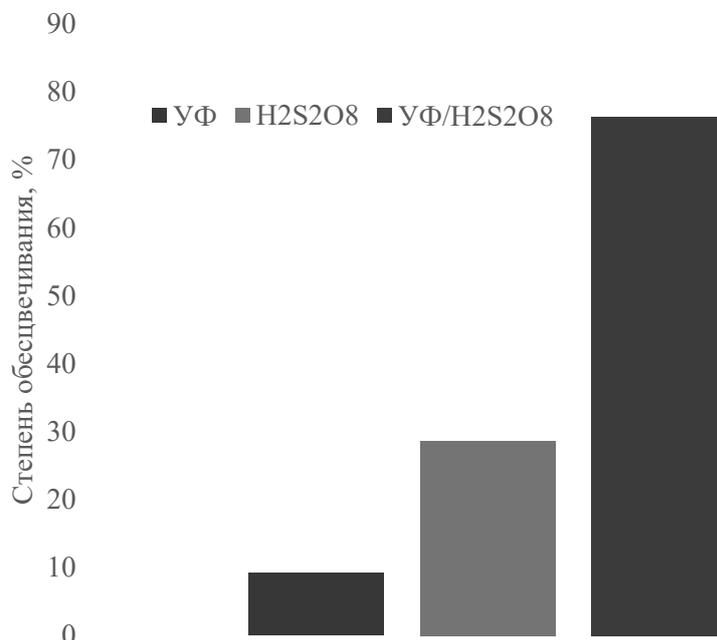


Рис. 1. Эффективность обесцвечивания метилового красного красителя

Данные рис. 1 показывают, что при использовании отдельных компонентов системы УФ/H₂S₂O₈ эффективность обесцвечивания составляет 9 % и 29 % соответственно. При их комбинации происходит значительное увеличение эффективности (76 %). Данное явление объясняется образованием в реакционной смеси сульфат-радикалов (см. уравнение (1)) и их повышенной активностью.

Полученные данные показывают, что фотокаталитически сгенерированные SR-AOP могут быть использованы для очистки сточных вод от синтетических красителей. Высокая степень обесцвечивания (более 75 %) позволяет выдвинуть предположение о перспективности применения пероксодисерной кислоты для очистки стоков лакокрасочных, текстильных, фармацевтических предприятий. Эффективность предлагаемого метода может быть увеличена подбором оптимальных параметров проведения процесса (длина волны света, интенсивность и продолжительность облучения, доза окислителя и т. д.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. A review study on sulfate-radical-based advanced oxidation processes for domestic/industrial wastewater treatment: degradation, efficiency, and mechanism / X. Xia [et al.] // *Frontiers in Chemistry*. – 2020. – Vol. 8. – P. 592056.
2. **Giannakis, S.** A review of the recent advances on the treatment of industrial wastewaters by Sulfate Radical-based Advanced Oxidation Processes (SR-AOPs) / S. Giannakis, K. Y. A. Lin, F. Ghanbari // *Chemical Engineering Journal*. – 2021. – Vol. 406. – P. 127083.
3. **Sarantseva, A. A.** Investigation of the Process of Oxidative Degradation of Phenol by Sodium Ferrate Solutions / A. A. Sarantseva, N. A. Ivantsova, E. N. Kuzin // *Russian Journal of General Chemistry*. – 2023. – Vol. 93, № 13. – P. 1–6.

УДК 628.31

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССА ФЕНТОНА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СИНТЕТИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ

П. Р. МОСТОВЫК

Научный руководитель Е. Н. КУЗИН, канд. техн. наук, доц.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

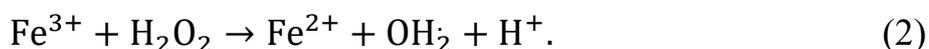
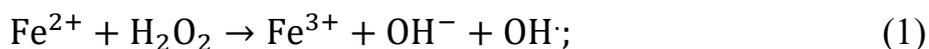
Синтетические красители активно используются в различных областях промышленности, таких как текстильная, фармацевтическая, лакокрасочная и целлюлозно-бумажная. С ростом производства и потребления красителей увеличивается их поступление в окружающую среду и, в частности, гидросферу. Попадание синтетических красителей в водоемы снижает светопропускание воды, что препятствует фотосинтезу водных растений, снижает концентрацию кислорода в водоемах [1].

Ввиду крайне высокой устойчивости красителей к биологическому разложению для их удаления из сточных вод наиболее популярны методы химического окисления. Классическим окислителем для очистки сточных вод является пероксид водорода. Его широкое применение обусловлено выраженными окислительно-восстановительными свойствами и отсутствием вторичного загрязнения сточных вод [2]. Однако в некоторых случаях с помощью H_2O_2 не удается достичь необходимой степени очистки, вследствие чего актуальны разработки, позволяющие повысить эффективность удаления загрязняющих веществ [3]. Одним из наиболее популярных методов повышения эффективности деструкции органических загрязняющих веществ с помощью пероксида водорода является процесс Фентона [4].

Основной целью данного исследования является изучение окислительной деструкции синтетических красителей с помощью процесса Фентона.

Опыты по окислению проводили с использованием модельных растворов красителя – фуксина ($C_{20}H_{19}N_3 \cdot HCl$). Начальная концентрация красителя в пробе – 3 мг/дм³. Доза пероксида водорода (H_2O_2) 10 мг/мг загрязняющего вещества. Измерение концентрации фуксина проводили фотометрическим методом на приборе ЗОМС КФК 3–01 (Россия) спустя 30 мин после введения реагентов в систему.

Для осуществления процесса Фентона в реакционную смесь добавляли раствор железа (II). Дозу Fe^{2+} варьировали от 0,0 до 6,7 мг/мг загрязняющего вещества. Высокая окислительная способность системы Фентона обусловлена образованием гидроксил-радикалов [4]:



Данные об эффективности окислительной деструкции фуксина, полученные

в ходе эксперимента, представлены на рис. 1.

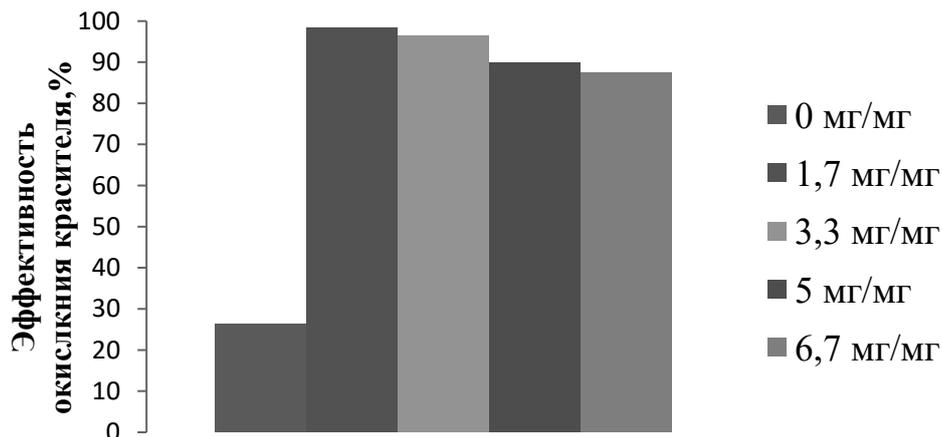


Рис. 1. Эффективность окислительной деструкции фуксина при разных добавках железа

Представленные на рис. 1 данные показывают, что введение соединений железа позволяет интенсифицировать процесс окисления красителя, при этом избыток ионов Fe^{2+} приводит к ингибированию процессов разложения пероксида водорода (за счет накопления в системе коллоидного гидроксида железа) и снижению эффективности деструкции. Максимальная степень окислительной деструкции фуксина составила 98,2 % при добавке катализатора 1,7 мг/мг красителя.

Полученные в работе данные позволяют сделать вывод о возможности применения процесса Фентона для очистки сточных вод, содержащих синтетические красители [5].

Образование мелкодисперсного осадка значительно усложняет внедрение метода в существующие очистные сооружения. Данная проблема может быть решена с помощью организации Фентон-подобных процессов с использованием окислителей, содержащих пероксидную связь, например, пероксодисерной кислоты ($H_2S_2O_8$), что может стать потенциальным развитием тематики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные экологические проблемы текстильной технологии / А. А. Трегубова [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – № 10. – С. 92–93.
2. Гетерогенные катализаторы Фентона для очистки сточных вод от органических красителей / Т. В. Конькова [и др.] // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2012. – № 11. – С. 85–89.
3. **Sarantseva, A. A.** Investigation of the Process of Oxidative Degradation of Phenol by Sodium Ferrate Solutions / A. A. Sarantseva, N. A. Ivantsova, E. N. Kuzin // Russian Journal of General Chemistry. – 2023. – Vol. 93, № 13. – P. 3454–3459.
4. Photodegradation of tetracycline in presence of H_2O_2 and metal oxide based catalysts / V. Emzhina [et al.] // Journal of Water Process Engineering. – 2021. – Vol. 39. – P. 101696.
5. **Иванцова, Н. А.** Фотокаталитическая очистка воды от фенола и формальдегида / Н. А. Иванцова, Е. Н. Кузин, А. А. Чурина // Изв. Саратов. ун-та. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 275–281.

УДК 628.349.094.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМУМА СВЕТОПОГЛОЩЕНИЯ РАСТВОРА ПЕРОКСОДИСЕРНОЙ КИСЛОТЫ

П. Р. МОСТОВЫК, А. А. ИВАНОВ

Научный руководитель Е. Н. КУЗИН, канд. техн. наук, доц.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Очистка сточных вод от органических веществ, устойчивых к биологическому окислению, представляет собой серьезную проблему.

Альтернативой биологической очистке сточных вод от трудноокисляемых органических соединений выступают сорбционные и окислительные методы. Однако оба эти направления обладают значительными недостатками. Основной сложностью сорбционной очистки является правильный выбор реагента-поглотителя, а также необходимость его последующей регенерации или обезвреживания. Использование окислителей может привести к образованию полупродуктов, токсичность которых выше, чем у изначальных загрязняющих веществ [1]. Данное явление наиболее характерно для различных окислителей на основе соединений хлора.

В связи с ограничениями традиционных методов особый интерес представляют методы усовершенствованного окисления АОП (Advanced Oxidation Process) [2, 3]. Их основное отличие от традиционного окисления состоит в образовании свободных радикалов, эффективность применения которых значительно выше, чем у обычно используемых реагентов (O_3 , H_2O_2 , $NaClO$ и др.). Благодаря наиболее высокой эффективности очистки, особый интерес вызывают SR-АОП (Sulfate Radical based AOP).

В качестве источников сульфат-радикалов в большинстве случаев используются пероксодисерная кислота ($H_2S_2O_8$) и ее соли. Для разложения реагентов с образованием сульфат-радикалов используют различные способы активации (катализ переходными металлами, ультразвук, электрический ток и др.) [4]. Также одним из наиболее распространённых «спутников» АОП является УФ-обработка воды [5].

Основная цель работы – исследование параметров светопропускания растворов пероксодисерной кислоты.

Материалы и методы исследования. Для исследования была использована пероксодисерная кислота, полученная методом электрохимического окисления серной кислоты в РХТУ имени Д. И. Менделеева.

Для оценки поглощения света раствором пероксодисерной кислоты (50 г/дм^3) был проведен спектральный анализ в диапазоне длин волн 200...900 нм на приборе СФ-2000 (Россия).

Результаты и их обсуждение. Результаты спектрального анализа представлены на рис. 1.

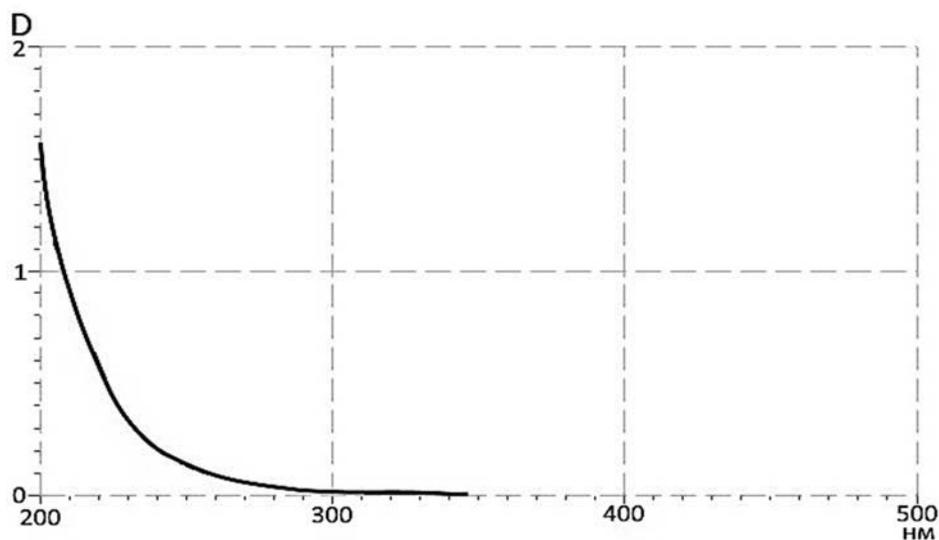


Рис. 1. Спектральный анализ образца пероксодисерной кислоты

Из графика видно, что наибольшее поглощение света пероксодисерной кислотой происходит в диапазоне длин волн 200...210 нм, что объясняется наличием в молекуле $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ пероксидного моста [6]. При дальнейшем увеличении длины волны показатель оптической плотности снижается и достигает нуля при 340 нм, после чего не возрастает.

Выводы. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности активации разложения пероксодисерной кислоты с образованием сульфат-радикалов с помощью ультрафиолета.

Дальнейшее изучение разложения пероксодисерной кислоты с помощью ультрафиолета может позволить применять этот реагент для высокоэффективной очистки от устойчивых к биологическому окислению соединений, а также в процессах синтеза пероксида водорода под действием УФ-излучения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Crini, G. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment / G. Crini, E. Lichtfouse // Environmental chemistry letters. – 2019. – Vol. 17. – P. 145–155.
2. Саранцева, А. А. Исследование процесса окислительной деструкции фенола растворами феррата натрия / А. А. Саранцева, Н. А. Иванцова, Е. Н. Кузин // Экологическая химия. – 2023. – Т. 32, № 5. – С. 273–279.
3. Photodegradation of tetracycline in presence of H_2O_2 and metal oxide based catalysts / V. Emzhina [et al.] // Journal of Water Process Engineering. – 2021. – Vol. 39. – P. 101696.
4. Sulfate Radical Advanced Oxidation Processes: Activation Methods and Application to Industrial Wastewater Treatment / N. Jorge [et al.] // Engineering Proceedings. – 2023. – Vol. 56, № 1. – P. 162.
5. Comparison of the new $\text{Cl}_2/\text{O}_3/\text{UV}$ process with different ozone-and UV-based AOPs for wastewater treatment at pilot scale: Removal of pharmaceuticals and changes in fluorescing organic matter / M. Sgroi [et al.] // Science of the total environment. – 2021. – Vol. 765. – P. 142720.
6. Ultraviolet molar absorptivities of aqueous hydrogen peroxide and hydroperoxyl ion / M. S. Morgan [et al.] // Analytica chimica acta. – 1988. – Vol. 215. – P. 325–329.

УДК 628.349.094.3

ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМ ФЕНТОНА И РАФФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРОКСОДИСЕРНОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ДЕСТРУКЦИИ КРАСИТЕЛЕЙ

Ю. Д. ПЕРЕСУНЬКО

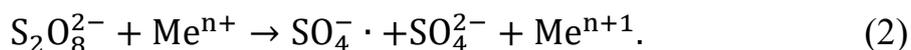
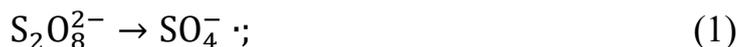
Научный руководитель Е. Н. КУЗИН, канд. техн. наук, доц.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

В настоящее время острой проблемой является образование сточных вод, содержащих устойчивые к биологическому разложению органические вещества. К таким веществам относятся синтетические красители, часто встречающиеся в сточных водах лакокрасочной, текстильной, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности.

Высокая устойчивость синтетических красителей не позволяет проводить достаточно эффективную биологическую очистку. Другие современные технологии очистки окрашенных сточных вод, такие как коагуляция/флокуляция, окисление традиционными реагентами (пероксид водорода, гипохлорит натрия/кальция, озон), мембранные и сорбционные процессы, обладают рядом недостатков (высокая стоимость, недостаточная эффективность, образование токсичных полупродуктов и т. д.). В связи с этим возникает острая необходимость в поиске новых реагентов, которые позволят добиться наибольшей эффективности очистки и снизить экономические затраты.

В настоящее время наибольшей популярностью начинают пользоваться АОР-методы (Advanced Oxidation Processes), основанные на образовании активных радикалов (гидроксил-, супероксид-радикалов или сульфат-радикалов). Сульфат-радикалы вызывают наибольший интерес благодаря большому времени жизни и окислительному потенциалу. В качестве источника сульфат-радикалов потенциально могут использоваться пероксодисерная кислота ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$) и ее соли (персульфаты).

Для активации разложения $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ с образованием сульфат-радикалов используют различные методы (термический, УФ, щелочной и др.) [1]. Вследствие широкого распространения системы Фентона и Раффа в практике АОР [2], в которых при взаимодействии H_2O_2 с Fe^{2+} и Fe^{3+} соответственно происходит образование гидроксил-радикалов, одним из наиболее перспективных способов активации разложения пероксодисерной кислоты является катализ переходными металлами:



Целью исследования является оценка возможности применения систем Фентона и Раффа с использованием пероксодисерной кислоты для очистки сточных вод, загрязненных синтетическими красителями.

Для проведения эксперимента использовали раствор модельного загрязняющего вещества, в качестве которого был выбран синтетический краситель бромкрезоловый зеленый (БКЗ). Начальная концентрация красителя составля-

ла 3 мг/дм³. Доза пероксодисерной кислоты составила 10 мг H₂S₂O₈ / мг загрязняющего вещества. Время контакта реакционной смеси – 30 мин. Остаточное содержание красителя определяли фотометрическим методом. Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Табл. 1. Эффективность обесцвечивания БКЗ пероксодисерной кислотой в присутствии Fe²⁺ и Fe³⁺

Me ⁿ⁺	мг Fe ³⁺ / мг H ₂ S ₂ O ₈	Эффективность, %
Fe ³⁺	0,025	28,92
	0,05	37,05
	0,075	48,49
	0,1	46,69

Продолжение табл. 1

Me ⁿ⁺	мг Fe ²⁺ / мг H ₂ S ₂ O ₈	Эффективность, %
Fe ²⁺	0,025	49,40
	0,05	51,51
	0,075	65,66
	0,1	65,36

Из данных, представленных в табл. 1, видно, что наибольшая эффективность обесцвечивания достигается при использовании в качестве катализатора соединений железа (II) в соотношении мг Fe²⁺/мг H₂S₂O₈, равном 0,075, и составляет 65,66 %. Дальнейшее повышение дозы катализатора нецелесообразно ввиду незначительного изменения эффективности очистки, что, в свою очередь, может быть обусловлено ограничением каталитического действия ионов железа (II), которые находятся в избытке.

Аналогичные результаты получены в ходе исследования окисления красителя системой Раффа. Наибольшая эффективность достигается при соотношении мг Fe³⁺/мг H₂S₂O₈, равном 0,075, и составляет 48,49 %. Дальнейшее повышение дозы приводит к снижению эффективности, что, вероятно, обусловлено смещением равновесия реакции первичного взаимодействия ионов Fe³⁺ с H₂S₂O₈ в сторону исходных веществ и, как следствие, ингибированием процесса генерирования радикалов.

Полученные данные показывают, что Фентон-подобные системы более перспективны при использовании пероксодисерной кислоты в качестве источника свободных радикалов. Эффективность процесса может быть повышена с помощью определения оптимальных параметров (рН, температура, время контакта) и комбинацией с другими методами активации разложения H₂S₂O₈.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang, J. Activation of persulfate (PS) and peroxymonosulfate (PMS) and application for the degradation of emerging contaminants / J. Wang, S. Wang // Chemical Engineering Journal. – 2018. – Vol. 334. – P. 1502–1517.
2. Photodegradation of tetracycline in presence of H₂O₂ and metal oxide based catalysts / V. Emzhina [et al.] // Journal of Water Process Engineering. – 2021. – Vol. 39. – P. 101696.

УДК 66.067.8.09

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ pH СРЕДЫ НА ПРОЦЕСС ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ
ДЕСТРУКЦИИ ФЕНОЛА ПЕРОКСОДИСЕРНОЙ КИСЛОТОЙ

А. А. ПИСАРЕВА

Научный руководитель Е. Н. КУЗИН, канд. техн. наук, доц.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Развитие различных сфер промышленности сопровождается негативным воздействием на состояние окружающей среды, при этом наиболее интенсивно растет антропогенная нагрузка на водные объекты.

Опасными компонентами промышленных сточных вод, обладающих высокой токсичностью, являются фенол и его производные. Фенолы содержатся в сточных водах нефтехимических и нефтеперерабатывающих заводов, производств строительных материалов, фенолформальдегидных смол, целлюлозно-бумажных комбинатов.

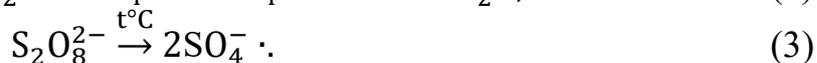
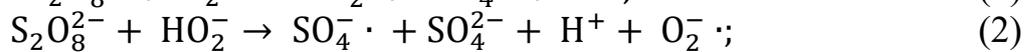
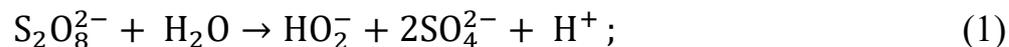
На основании вышесказанного актуальной представляется разработка эффективного способа деструкции фенола в процессе очистки сточных вод. Распространенными окислителями фенола являются пероксид водорода, гипохлорит натрия и озон, однако высокая стоимость представленных реактивов, образование токсичных продуктов неполного окисления, а также высокие расходы энергии в процессе озонирования, обуславливают необходимость поиска более экономичных и безопасных альтернатив.

Благодаря простоте производства и ярко выраженным окислительным свойствам, перспективной заменой традиционных окислителей является пероксодисерная кислота ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$).

Существенное влияние на протекание процессов деструкции фенола оказывает pH. Условия определяют механизм распада $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ с образованием свободных радикалов. Основной целью данного исследования является определение оптимального значения pH для проведения окислительной деструкции фенола пероксодисерной кислотой.

Для проведения эксперимента были использованы модельные растворы фенола с концентрацией 6 мг/дм³. Доза окислителя в каждом опыте составляла 10 мг/мг фенола. Конечную концентрацию фенола определяли спустя 30 мин фотометрическим методом. Корректировку pH проводили 1-процентным раствором гидроксида натрия, при этом pH после добавления $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ составлял 2,5.

Известно, что нагревание ускоряет гидролиз пероксодисерной кислоты, а разрушение пероксидных связей O–O сопровождается образованием свободных радикалов:



Для интенсификации окисления процесс проводили при температуре реакционной смеси 60 °С.

Результаты экспериментов по окислению фенола пероксодисерной кислотой представлены на рис. 1.

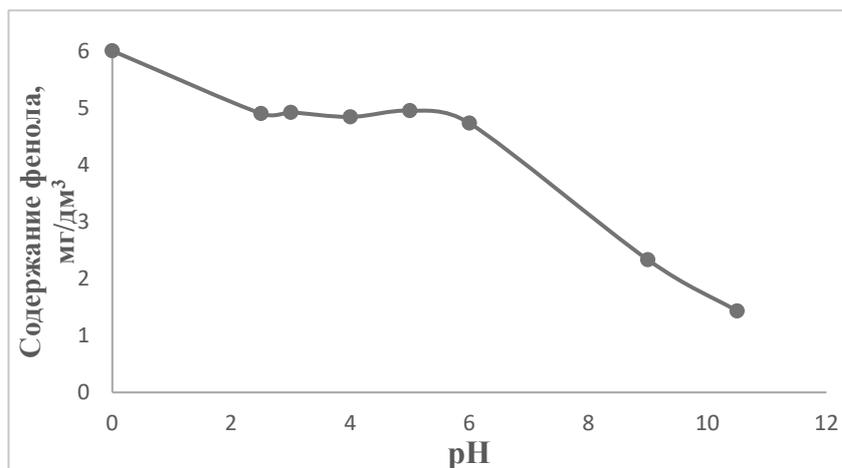


Рис. 1. Влияние pH на окисление фенола пероксодисерной кислотой

Из данных, представленных на рис. 1, видно, что эффективность окисления фенола значительно увеличивается в щелочной среде. Наибольшее удаление фенола (76 %) достигается при значении pH 10,5. Согласно литературным данным, в кислотных условиях преимущественно образуются сульфат-радикалы ($\text{SO}_4^- \cdot$), а в щелочных – гидроксил- ($\text{OH} \cdot$) и супероксид-радикалы ($\text{O}_2^- \cdot$) [1]. Дальнейшее увеличение pH среды приводит к дополнительному превращению сульфат-радикалов в гидроксильные радикалы, способствующих процессу окислительной деструкции фенола:



Результаты исследования позволяют сделать вывод, что гидроксил- и супероксид-радикалы более эффективные окислители фенола, чем сульфат-радикалы.

Необходимо отметить, что изменение pH в диапазоне 2,5...6 не оказывает существенного влияния на процесс удаления фенола. Необходимость изменения условий среды от сильноокислых (pH < 1) на щелочные (pH > 10) является серьезным недостатком, в связи с чем перспективным направлением продолжения исследований является изучение каталитического разложения $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ металлами (Fe^{2+} , Ti^{3+} и др.) и УФ-облучением [2]. Наибольший интерес представляет использование титана (III), благодаря успешным результатам исследований в области коагуляционной очистки сточных вод [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang, J. Activation of persulfate (PS) and peroxymonosulfate (PMS) and application for the degradation of emerging contaminants / J. Wang, S. Wang // Chemical Engineering Journal. – 2018. – Vol. 334. – P. 1502–1517.
2. Photodegradation of tetracycline in presence of H_2O_2 and metal oxidebased catalysts / V. Emzhina [et al.] // Journal of Water Process Engineering. – 2021. – Vol. 39. – P. 101696.
3. Titanium-containing coagulants in wastewater treatment processes in the alcohol industry / E. Kuzin [et al.] // Processes. – 2022. – Vol. 10, № 3. – P. 440.

УДК 620.193.41

ИЗУЧЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПЕРОКСОДИСЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Е. А. ПОНОМАРЕВА

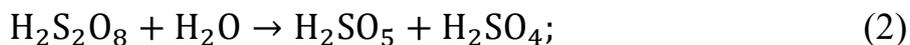
Научный руководитель Е. Н. КУЗИН, канд. техн. наук, доц.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

Окислители различной природы широко применяются в различных областях промышленности: в органическом и нефтехимическом синтезе, в гидрометаллургии, химической промышленности, в очистке и дезинфекции хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод и пр. [1–3]. Вследствие их высокой коррозионной активности и низкой стабильности особо строгие требования предъявляются к условиям их хранения и, в частности, к материалам и покрытиям емкостей.

Вследствие высокого окислительного потенциала, простоты получения и дешевизны реагента значительный интерес представляет пероксодисерная кислота ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$). Низкая энергия пероксидной связи ($-\text{O}-\text{O}-$) обуславливает предрасположенность $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ к гомолизу:



Пероксодисерная кислота ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$) имеет в своем составе два акцепторных заместителя и быстро распадается с образованием активного сульфат-радикала под действием внешних факторов, главным образом света и температуры [4, 5]. Также в водных растворах пероксодисерной кислоты протекает гидролиз с образованием серной кислоты и пероксида водорода:



что дополнительно усложняет хранение реагента.

Для хранения пероксосоединений в промышленных условиях традиционно применяют резервуары с покрытием на основе алюминия высокой чистоты, что позволяет сказать о пригодности этого материала для хранения пероксодисерной кислоты.

Цель исследования – изучение коррозионной активности пероксодисерной кислоты по отношению к алюминию.

Для оценки коррозионной активности пероксодисерной кислоты гранулы алюминия марки ОСЧ были помещены в растворы $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ объемом 100 мл с концентрацией 10 г/дм³. Растворы хранили при комнатной температуре 25 °С без доступа света на протяжении 6 недель. Оценку коррозионной активности

проводили по потере массы алюминиевых гранул (гравиметрия) и снижению концентрации пероксодисерной кислоты (йодометрия). Результаты проведенного эксперимента представлены на рис. 1.

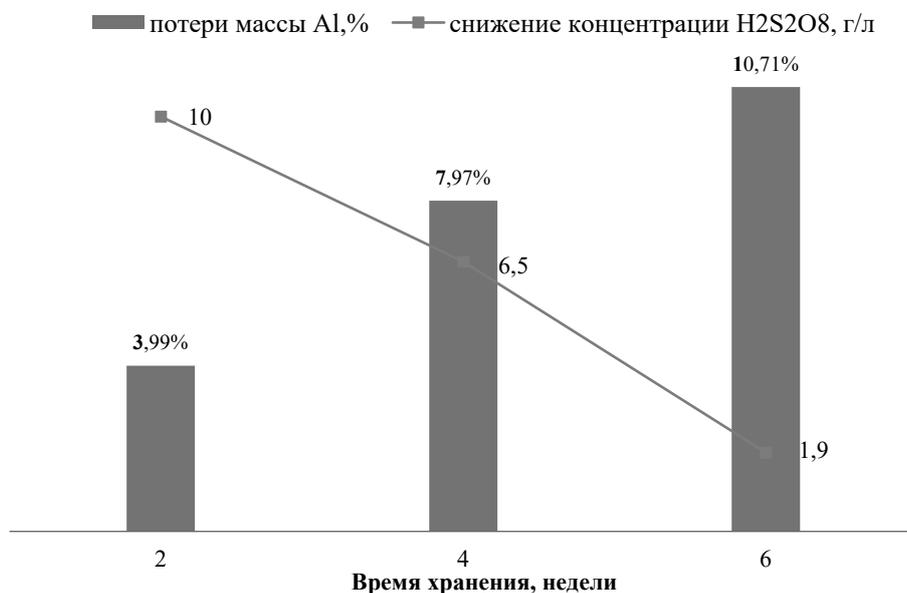


Рис. 1. Динамика коррозии алюминия и снижения концентрации H₂S₂O₈

Как видно из приведенных данных, при комнатной температуре максимальная потеря массы алюминиевых гранул в растворе с остаточной концентрацией окислителя 1,9 г/л составляет 10,7 %. Активное взаимодействие реагента с ОСЧ алюминием может быть объяснено образованием смеси пероксида водорода и серной кислоты, обладающих крайне высокой коррозионной активностью.

Стабильность хранения H₂S₂O₈ может быть повышена с помощью определения оптимальных условий (концентрации, температуры, значения pH). Снижение коррозионной активности также возможно путем введения ингибиторов коррозии и радикальных процессов (пирофосфат, станнат натрия, нитрат аммония).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рахимов, Р. Х.** Инновационные подходы в гидрометаллургических технологиях переработки минерального сырья / Р. Х. Рахимов, Х. К. Рашидов, Ж. Х. Рашидов // Computational nanotechnology. – 2017. – № 2. – С. 89–93.
2. **Sarantseva, A. A.** Investigation of the Process of Oxidative Degradation of Phenol by Sodium Ferrate Solutions / A. A. Sarantseva, N. A. Ivantsova, E. N. Kuzin // Russian Journal of General Chemistry. – 2023. – Vol. 93, № 13. – P. 3454–3459.
3. **Deng, Y.** Advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment / Y. Deng, R. Zhao // Current Pollution Reports. – 2015. – Vol. 1. – P. 167–176.
4. **Wang, J.** Activation of persulfate (PS) and peroxymonosulfate (PMS) and application for the degradation of emerging contaminants / J. Wang, S. Wang // Chemical Engineering Journal. – 2018. – Vol. 334. – P. 1502–1517.
5. Recent advances in photo-activated sulfate radical-advanced oxidation process (SR-AOP) for refractory organic pollutants removal in water / Q. Yang [et al.] // Chemical Engineering Journal. – 2019. – Vol. 378. – P. 122149.

УДК 621.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А. О. САФОНОВА

Научный руководитель А. П. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ, д-р техн. наук, проф.
Воронежский институт высоких технологий
Воронеж, Россия

При реализации аддитивного производства необходимо стремиться к тому, чтобы уменьшить большое число разных требований, которые могут противоречить друг другу. Например, стремятся к низкой себестоимости, требованиям потребителя, быстрому внедрению и др. В связи с этим в аддитивное производство требуется внедрять различные инновации, модернизировать его [1, 2].

За счет моделирования можно избежать реальных экспериментов. Во многих случаях они требуют затрат большого количества разных ресурсов. Когда проводятся процедуры моделирования, мы предлагаем опираться на модели двух видов.

Первая включает в себя экспериментальные данные. Они связаны с тем, что неконтролируемые параметры влияют на фактические. Это «фактическая» модель.

Во второй модели есть известная погрешность по параметрам. В модели идет подстройка, это «пользовательская модель».

По выходным и входным данным, а также погрешностям, в аддитивном производстве возможные значения характеризуются ограниченным диапазоном. В связи с этим можно применять уравнения линейного вида для задач, связанных с управлением технологическими процессами.

То есть линейное уравнение соответствует реальному технологическому процессу:

$$Y_i = K_i + BU_i.$$

Управляющие переменные характеризуются вектором $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, выходные переменные объекта аддитивного производства характеризуются вектором $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$.

Если учесть погрешности, то

$$Y_i^* = K_i + BU_i + \xi_i;$$

$$\xi = \xi(t).$$

В последнем слагаемом есть две составляющие:

$$\xi_i = \xi_i^* \pm \Delta_i,$$

первая ξ_i^* является регулярной, вторая Δ_i соответствует случайным погрешностям.

С тем чтобы по ошибкам измерения и неконтролируемым переменным учесть их влияние, важно знать управляющие переменные U , погрешности, значения интересующего параметра Y и Y^* , момент времени, для которого проводится наблюдение.

При этом Y является функцией оптимизации в алгоритме, связанном с управлением. В нем главным критерием качества является G :

$$Y = Y(G);$$

$$G = G(Y_1, Y_2, \dots, Y_n).$$

Проводится вычисление значений модели. По обобщенному критерию качества проводится расчет и нормировка по всем весовым критериям качества:

$$N = \frac{Y_{\text{идеальн}}}{Y^*}.$$

Для того чтобы осуществлять исследование образцов на растяжение применялась установка INSTRON 5982. В качестве выходной переменной анализировался процент прочности параметров. Использовалась температура экструдера для печати 255 °С. В качестве управляющих параметров рассматривались: скорость печати – 77 мм/с; коэффициент подачи пластика – 0,93.

Всего было создано 14 партий аддитивных объектов. Когда анализировалось влияние на критерии качества, осуществлялось рассмотрение лишь одного параметра (числа нитей). В ходе проведенного рассмотрения установлено, что с учетом особенностей настроек аддитивного оборудования по партиям 4–6, с точки зрения используемой математической модели в технологическом процессе, требуется провести коррекцию числа нитей от 8 (для партии 4) и от 7 (для партий 5 и 6) к 9.

Реализовывался процесс компенсации относительно неконтролируемых параметров вследствие того, что проводилась подстройка модели. Если проводить прогнозирование с точки зрения формирования более качественных объектов в аддитивном производстве на базе «метода трех сигм» [3], при учете того, что технологическое оборудование является неидеальным, есть возможности для обеспечения повышения предела прочности при изгибе образца на 4 %...5 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы аналитического контроля в литейном и аддитивном производстве / Д. Н. Козлова [и др.] // Вестн. Воронеж. ин-та высоких технологий. – 2022. – № 3 (42). – С. 21–23.
2. **Балашов, А. В.** Исследование структуры и свойств изделий, полученных 3D-печатью / А. В. Балашов, М. И. Маркова // Инж. вестн. Дона. – 2019. – № 1 (52). – С. 66–80.
3. **Фаюстов, А. А.** Еще раз о критериях отсеивания грубых погрешностей / А. А. Фаюстов // Законодательная и прикладная метрология. – 2016. – № 5. – С. 25–30.

УДК 004.9:621.74

МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ДЕФЕКТОВ ОТЛИВОК

И. И. ШАЙХУТДИНОВА

Научный руководитель Е. С. ГАЙНЦЕВА, канд. техн. наук, доц.
Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

С каждым годом технология литья становится все более востребованной в различных отраслях промышленности. Литые заготовки применяются в автомобилестроении, авиастроении, машиностроении и других отраслях, где требуется изготовление сложных деталей. Однако в процессе производства отливок могут возникать различные проблемы (например, дефекты отливки: поры, трещины, незалив и т. д.), которые могут повлиять на качество и прочность деталей. В машиностроении существует острая необходимость в повышении качества и надежности деталей.

В последние годы искусственный интеллект и машинное обучение стали широко использоваться для выявления дефектов при литье [1].

Цель работы – рассмотреть различные методы искусственного интеллекта, используемые для выявления дефектов.

Методы искусственного интеллекта при выявлении дефектов отливок.

Анализ изображений, обработка данных и моделирование машинного обучения – наиболее распространенные методы искусственного интеллекта (ИИ). Одним из наиболее широко используемых методов является сверточная нейронная сеть (CNN).

Сверточная нейронная сеть анализирует изображения и выявляет ошибки, которые они содержат. Для этого изображения отливок поступают в нейронную сеть, которая обучена распознавать многие типы дефектов, такие как трещины, включения, поры и т. д. CNN позволяет автоматизировать процесс выявления дефектов и обеспечивать высокую точность и надежность результатов.

Помимо CNN, алгоритмы обучают различные машинные алгоритмы, такие как случайный лес, глубокие нейронные сети и другие генетические алгоритмы. Методы позволяют обрабатывать большие объемы данных и производить анализ на основе множества параметров, что улучшает точность выявления дефектов.

Нейронная сеть – одна из самых перспективных технологий будущего в области литейного производства [2]. С помощью нейронных сетей можно прогнозировать прогиб лопаток ГТД, подбирать подходящую технологию изготовления отливки на основе чертежа детали и отслеживать даже мельчайшие дефекты на поверхности отливок. На контроль качества не влияет человеческий фактор, тем самым он становится более эффективным и точным.

Наравне с нейронными сетями наибольшее распространение получили алгоритмы машинного обучения. Они позволяют выявлять дефекты, связанные с неправильными параметрами сплава, а также прогнозировать возможные проблемы на этапе разработки технологии изготовления отливки.

Наиболее востребованными методами искусственного интеллекта в области выявления дефектов отливок и контроля качества деталей в последнее время являются обучающие машины и нейронные сети [3]. Искусственный интеллект позволяет автоматизировать следующие этапы.

1. Обнаружение дефектов.

Использование алгоритмов машинного обучения позволяет классифицировать различные виды дефектов на поверхности отливок, такие как трещины, поры, включения и др.

2. Прогнозирование качества.

ИИ позволяет анализировать данные о производственных процессах и параметрах, связанных с отливками, для прогнозирования возможных дефектов и обеспечения более эффективного управления качеством [4].

3. Оптимизация процессов контроля.

Автоматизация процессов контроля качества отливок с помощью ИИ уменьшает вероятность человеческой ошибки и повышает скорость выявления дефекта, что позволяет сократить временные и финансовые затраты на контроль качества.

С развитием технологий машинного обучения, глубокого обучения и нейронных сетей ожидается дальнейшее улучшение методов контроля качества отливок. Новые алгоритмы и модели ИИ будут способствовать повышению точности обнаружения дефектов и оптимизации процессов контроля.

Заключение. Использование методов искусственного интеллекта при выявлении дефектов отливок имеет большой потенциал для улучшения качества готовых отливок. CNN и другие алгоритмы машинного обучения позволяют автоматизировать процесс выявления дефектов, ускорить его и повысить точность результатов. Дальнейшие исследования в этой области могут способствовать развитию новых методов и улучшению эффективности выявления дефектов отливок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Горюхин, А. С.** Выбор способа литья с использованием нечетких алгоритмов / А. С. Горюхин, Е. С. Гайнцева, И. И. Шайхутдинова // Вестн. УГАТУ. – 2018. – Т. 22, № 1 (79). – С. 3.
2. **Горюхин, А. С.** Автоматизация технологической подготовки литейного производства / А. С. Горюхин, И. И. Шайхутдинова // Молодеж. вестн. УГАТУ. – 2019. – № 2 (21). – С. 138–141.
3. **Шайхутдинова, И. И.** Применение информационных технологий в литейном производстве / И. И. Шайхутдинова, Е. С. Гайнцева // Литейное производство. – 2024. – № 1. – С. 31–36.
4. **Шайхутдинова, И. И.** Интеллектуальные системы в литейном производстве / И. И. Шайхутдинова // Эпистемологические основания современного образования: актуальные вопросы продвижения фундаментального знания в учебный процесс: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Москва: Перо, 2021. – С. 703–707.

УДК 658.56

ПРИМЕНЕНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО И ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МОНТАЖА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

А. Н. ШТЕМПЕЛЬ

Научный руководитель Е. А. КИРИЛЛОВА, д-р экон. наук, доц.
Филиал «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Ввиду роста производства отечественной электроники обострились проблемы контроля качества поставляемых электронных компонентов и их монтажа на печатную плату. Для их решения одними из относительно доступных сегодня подходов могут быть методы неразрушающего контроля. Среди них инструменты для их реализации: визуальный (с помощью цифрового микроскопа) и оптический (системы автоматической оптической инспекции – АОИ). Комплексное использование данных методов на практике позволяет производителям радиоэлектронной аппаратуры выявлять следующие виды дефектов, которые представлены в табл. 1.

Табл.1. Внешние виды дефектов, выявляемых при контроле

Визуальный контроль (микроскоп)	АОИ
Дефекты маркировки, упаковки компонента в соответствии с datasheet. Реболлинг (наиболее часто встречаемый дефект в дорожках ВГА-микросхемах). Следы флюса, царапины, замытие выводов и другие механические дефекты	Отсутствие, смещение, поворот, полярность компонента на печатной плате. Дефект «надгробного камня». Короткие замыкания на плате, трещины, сколы, пятна и др. Контроль галтели паяного соединения

Несмотря на то, что применение цифровых микроскопов за счет их низкой стоимости существенно шире распространено на малых предприятиях в качестве единственного средства детектирования основных дефектов микросхем и точек пайки, имеется серьезный недостаток, связанный с человеческим фактором и временными затратами. Продолжительная зрительная нагрузка приводит к утомлению, что снижает эффективность оператора. Поэтому предпочтительно использовать визуальный контроль для входного осмотра поставляемой продукции и затем АОИ для отдельных участков плат, требующих тщательного осмотра, поскольку АОИ позволяет в пассивном режиме получать изображение печатной платы высокого разрешения и автоматически сравнивать его с загруженным эталоном. Но для его применения требуется более дорогостоящее оборудование, время на настройку и достаточно высокая квалификация оператора. Это приводит к тому, что на прототипах и малых партиях изделий малозаметна эффективность такого подхода.

Таким образом, комплексное применение описанных инструментов для реализации двухэтапного контроля позволяет существенно минимизировать риски использования контрафактной продукции, поставляемой неофициальными дистрибьютерами электронных компонентов, а также снизить затраты на устранение брака на начальных этапах его обнаружения, и тем самым повысить общий уровень качества выпускаемой электронной продукции.

УДК 004.9

ВЫБОР ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПЛАТФОРМЫ ОНЛАЙН-ОБУЧЕНИЯ

А. А. АРХИПЧУК, Е. А. ЗАЙЧЕНКО

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

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Каждый день в мире появляется всё больше онлайн-платформ, которым нужны высокая производительность и гибкость с возможностью масштабирования. Один из ключевых аспектов успешного проекта – это выбор языка программирования. На сегодняшний день Go (Golang) становится все более популярным благодаря своей скорости, простоте в использовании и способности эффективно справляться с большими нагрузками.

Рассмотрим основные преимущества языка Go для высоконагруженных платформ.

1. Высокая производительность. Go отличается высокой производительностью за счет компиляции в машинный код, что уменьшает задержки и увеличивает скорость работы.

2. Поддержка параллелизма. Имеются встроенные механизмы для работы с параллелизмом, так называемые горутины (goroutine), благодаря которым можно одновременно обрабатывать запросы от клиента и проводить синхронизацию данных с внешними сервисами без значительных временных затрат.

3. Простота разработки. Одной из ключевых особенностей Go является его простой и лаконичный синтаксис, который упрощает создание и адаптацию микросервисов, включая интеграцию с внешними API. Кроме того, программы на Go компилируются в самостоятельные бинарные файлы, что упрощает развертывание и снижает риски, связанные с зависимостями.

4. Управление зависимостями и безопасность. Инструмент `go mod` обеспечивает надежное управление зависимостями, предотвращая конфликты версий библиотек и упрощая развертывание системы. Кроме того, Go автоматически управляет памятью, что снижает вероятность утечек и повышает стабильность работы системы.

В свете перечисленных свойств можно сделать вывод, что язык программирования Go является оптимальным средством при разработке высоконагруженной платформы для онлайн-обучения. В этой системе каждая функция, будь то управление курсами, авторизация или обработка выполненных заданий, может быть реализована в виде отдельного микросервиса. Такой подход сделает платформу гибкой и легко масштабируемой. Использование горутин позволит быстро обрабатывать запросы пользователей и взаимодействовать с внешними API без задержек.

УДК 004

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА 2-ОРТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
О КОММИВОЯЖЕРЕ

Д. А. ДЕНИСЕВИЧ, Е. И. САВИЦКИЙ, И. В. ХАРЛАМОВ
Научный руководитель А. И. ЯКИМОВ, д-р техн. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Задача о коммивояжере (Traveling Salesman Problem, TSP) – классическая задача комбинаторной оптимизации, которая имеет широкое применение в различных областях, включая логистику, производство, исследование транспортных маршрутов. Она заключается в поиске кратчайшего замкнутого пути, проходящего через заданный набор точек и возвращающегося в исходную точку. Генетический и алгоритм 2-орт – методы оптимизации для решения этой задачи.

Принцип работы алгоритма 2-орт основан на улучшении существующего маршрута удалением двух ребер и их заменой другой парой ребер, чтобы уменьшить общую длину маршрута. Принцип работы алгоритма 2-орт можно описать следующим образом.

1. Начальный маршрут: начнем с какого-либо начального маршрута, соединяющего все точки, которые нужно посетить. Этот маршрут может быть случайным или сгенерированным другим способом, и он не обязательно должен быть оптимальным.

2. Выбор двух ребер: алгоритм 2-орт начинает работу, выбирая два ребра в существующем маршруте. Эти два ребра не должны быть смежными.

3. Удаление ребер: выбранные два ребра удаляются из маршрута, и точки, которые они соединяли, становятся недоступными друг для друга.

4. Поиск лучшей пары ребер: алгоритм 2-орт ищет лучшую пару ребер для замены удаленных ребер так, чтобы общая длина маршрута уменьшилась. Это может потребовать сравнения различных возможных пар ребер.

5. Замена ребер: лучшая пара ребер заменяет удаленные ребра в маршруте, и точки, которые они соединяют, становятся доступными друг для друга.

6. Повторение: шаги 2–5 повторяются до тех пор, пока есть возможность улучшить маршрут. Алгоритм завершается, когда больше не удастся найти пару ребер, которые улучшили бы маршрут.

7. Оценка результата: оценить длину маршрута после завершения алгоритма. Если новый маршрут короче, чем исходный, то алгоритм 2-орт был успешен.

Алгоритм 2-орт является эффективным способом улучшения маршрутов, но он не гарантирует нахождения оптимального решения для TSP. Тем не менее он обычно способен существенно улучшить качество маршрута, особенно если начальный маршрут был далек от оптимального.

Число итераций в алгоритме 2-орт оказывает влияние на качество оптимизации маршрута. Чем больше итераций выполняется, тем больше времени и вычислительных ресурсов требуется, но увеличивается вероятность

нахождения лучшего (более оптимального) маршрута. Важно понимать, что число итераций не всегда гарантирует нахождение оптимального решения, поскольку 2-opt может застрять в локальных минимумах.

В рамках исследования были проведены три эксперимента, в которых алгоритм 2-opt применялся к одной и той же выборке точек, изменяя только количество итераций (k) (рис. 1).

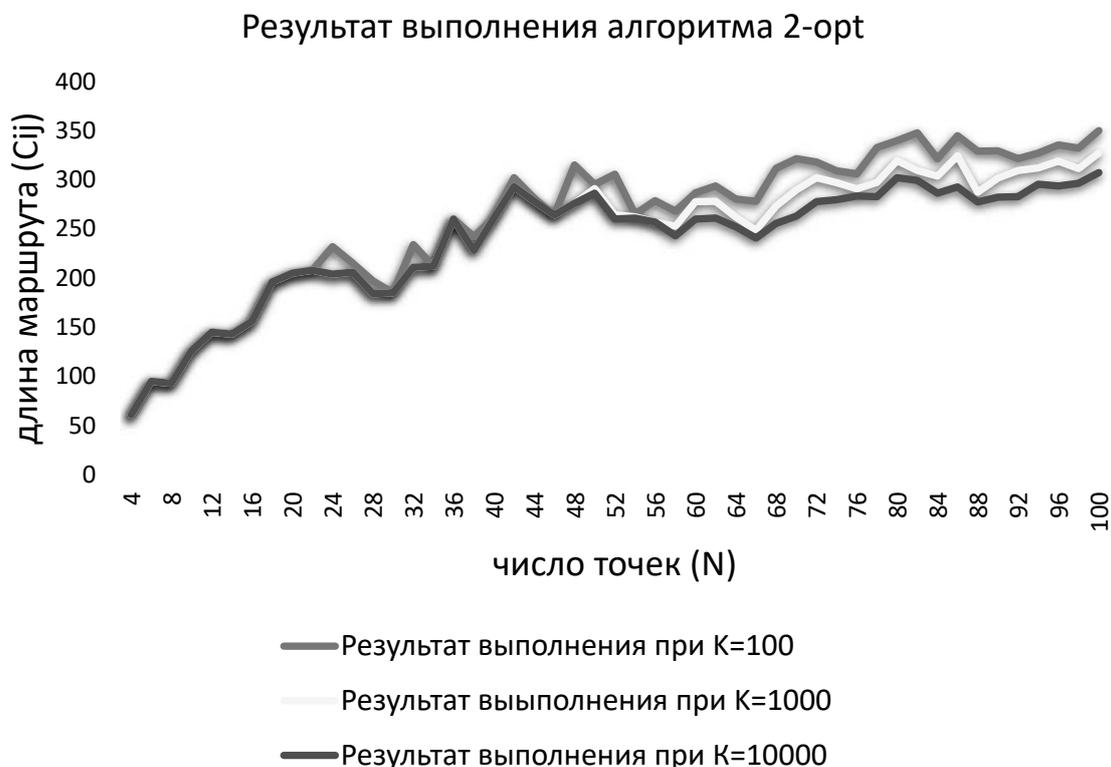


Рис. 1. Экспериментальное исследование алгоритма 2-opt

Влияние числа итераций в алгоритме 2-opt можно охарактеризовать следующим образом.

1. Увеличение точности: при увеличении числа итераций алгоритма 2-opt можно добиться более точной оптимизации маршрута. Это особенно важно, когда начальный маршрут далек от оптимального, и несколько итераций могут значительно улучшить результат.

2. Время выполнения: увеличение числа итераций также увеличивает время выполнения алгоритма. В реальных приложениях может потребоваться найти баланс между точностью и временем выполнения. В некоторых случаях можно установить лимит времени или ограничение на число итераций, чтобы найти компромисс между качеством решения и быстродействием.

3. Поиск оптимума: алгоритм 2-opt может застрять в локальных минимумах, и большее число итераций может помочь попытаться выйти из таких ситуаций. Однако для гарантированного нахождения оптимального решения требуются более сложные методы оптимизации или методы, которые проводят более обширное исследование пространства решений.

УДК 004

СОЗДАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ГРАФИЧЕСКОГО СИМУЛЯТОРА СЕТИ

А. А. ЗАЙЦЕВ, Д. С. ЗАЙЦЕВ, В. Т. САДОВСКИЙ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В Белорусско-Российском университете учебный процесс и контроль знаний организованы с использованием платформы дистанционного обучения Moodle. Однако платформа не способна удовлетворить потребности для изучения более сложных дисциплин, в которых необходимо использовать стороннее программное обеспечение.

На кафедре «Автоматизированные системы управления» преподаются дисциплины со своей спецификой, позволяющие изучить аппаратное и программное обеспечение, а также топологии компьютерных сетей.

Созданное веб-приложение способствует автоматизации дистанционного обучения сетевым технологиям и оптимизирует работу преподавательского состава. Одна из главных целей разработки – возможность будущей интеграции различных виртуальных лабораторий, разрабатываемых студентами и преподавателями.

Веб-приложение обеспечивает: хранение и предоставление данных по изучаемым технологиям, включая файлы и документы методических материалов по лабораторным работам и лекционные материалы; возможность выполнения лабораторных работ с применением графического симулятора сети GNS3; генерирование отчетности по итогам тестирования; управление контентом информационной системы, включая возможности редактирования, добавления и удаления учебных материалов и тестов; регистрацию студентов и преподавателей в соответствии с учебными планами с привязкой к конкретным предметам; поддержку дальнейшей интеграции различных виртуальных лабораторий, разрабатываемых студентами и преподавателями.

Для достижения поставленных целей использовался язык программирования Python, в частности фреймворк Django Rest Framework, который был выбран благодаря своему главному преимуществу – высокой скорости разработки, что в дальнейшем позволит достаточно быстро интегрировать новые виртуальные лаборатории. Фреймворк FastApi обеспечивает асинхронный интерфейс программирования приложения, который обеспечивает контроль графического симулятора сети с большой производительностью. Также был использован написанный на Python графический симулятор сети GNS3.

При разработке графического интерфейса были использованы язык программирования JavaScript, в частности фреймворк Vue.js, а также язык разметки Html и каскадные таблицы стилей CSS.

УДК 004.8: 620.179.1: 621.791

ПОИСК ДЕФЕКТОВ В СВАРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

В. Д. КОРЧАГИН

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

В современном мире искусственные нейронные сети (ИНС) и информационные технологии являются ключевыми компонентами, способствующими интенсивному развитию различных сфер человеческой деятельности и оптимизации внутренних бизнес-процессов организаций.

ИНС основаны на математических моделях, имитирующих функционирование человеческого мозга, обладающих способностью к обобщению как структурированной, так и неструктурированной информации в больших объемах. В частности, ИНС используются для создания рекомендательных систем, видеонаблюдения и обнаружения на основе методов компьютерного зрения (КЗ), предсказания погодных условий, генерации изображений и множества других задач.

В последние годы КЗ находит все более широкое применение в различных отраслях промышленности, включая обнаружение дефектов в сварных соединениях, что имеет критическое значение для обеспечения безопасности и надежности металлических изделий. Одним из вариантов применения данных технологий стала ее имплементация в задачах обработки изображений как результата неразрушающего радиационного контроля (НРК).

Для интеграции технологий КЗ в производственные НРК-процессы было проведено комплексное исследование, направленное на изучение зависимости скорости на инференсе и точности моделей машинного обучения от доступных вычислительных ресурсов и глубины исследуемых архитектур данных.

Учитывая, что на промышленных предприятиях преимущественно используются персональные компьютеры с ограниченной вычислительной мощностью, в процессе исследований было необходимо проанализировать внутреннюю структуру наиболее успешных решений уровня State-of-the-Art (SOTA) для задач классификации и детекции объектов, а также рассмотреть примеры реализации моделей для выявления дефектов в исследуемой или смежных предметных областях с целью разработки эффективной модели ИНС, сочетающей высокую релевантность и скорость обработки изображений. Также требовалось изучить наиболее эффективные методы оптимизации вычислений, построения распределенных локальных вычислительных систем, а также способы хранения, обработки и передачи неструктурированной текстовой информации и полихроматических растровых изображений.

В ходе выполнения научной работы проведено эмпирическое исследование лучших архитектур ИНС для классификации и детекции дефектов металла, преимущественно в сварных соединениях, на открытых наборах данных, а также

проведена оценка эффективности полученных результатов. Было замечено, что при использовании глубоких сверточных моделей наблюдается явный эффект переобучения. При оценке эффективности было выявлено, что современные модели с малым, но достаточным числом параметров демонстрируют большую стабильность к переобучению.

На основе выполненных вычислительных экспериментов разработан прототип архитектуры DICONDE-YOLO, которая объединяет лучшие архитектурные решения и методы оптимизации вычислительных мощностей, такие как Efficient Convolution Attention, Atrous Spatial Pyramid Pooling и (Max) Depthwise Convolution. В качестве базовой архитектуры использовалась YOLOv8. При этом основная цель разработки заключалась в решении проблемы слабой обобщающей способности модели в отношении слабоконтрастных объектов малой размерности, выявленной в ходе эмпирического исследования. Решение проблемы достигается за счет использования подходов, ранее продемонстрировавших положительные результаты при модификации базовой архитектуры ИНС. Для оценки качества обучения применялись базовые метрики YOLOv8: CIoU и DFL.

Сформирован прототип программно-аппаратной архитектуры распределённой локальной системы с компьютерным зрением, основанный на микросервисном подходе. Для создания эффективного решения предлагается использование следующих технологий: Redis, MongoDB, Elasticsearch, NGINX, RabbitMQ, Prometheus, Grafana, gRPC и protobuf.

Разработано прикладное программное обеспечение (ПО) с графическим интерфейсом для разметки данных в формате DICONDE, предназначенное для формирования выборки для обучения, тестирования и оценки эффективности разработанной архитектуры ИНС. Для создания макета использовались среда разработки Qt Designer, язык программирования Python и библиотека PySide6. Функционал разработанного ПО включает возможность работы с файлами, имеющими расширение **.jpg/*.jpeg* и **.dcm*, графическое выделение прямоугольных областей и произвольных контуров с заданием метки дефекта, а также экспорт результатов в форматах JSON, XML.

В качестве хранилища данных разметки используется локальная версия NoSQL базы данных MongoDB, взаимодействие с которой осуществляется с помощью библиотеки pymongo. Тестовые испытания разработанного ПО показали его полное соответствие требованиям для осуществления разметки данных для формирования обучающей выборки.

Проведено исследование нейросетевых моделей для задачи обработки данных радиационного неразрушающего контроля в контексте обнаружения дефектов сварных соединений. На основе выполненных экспериментов разработаны прототип архитектуры DICONDE-YOLO и прикладное ПО. Полученные результаты обладают практической значимостью, в том числе для решения задачи комплексирования алгоритмов поиска дефектов на изображениях по результатам радиационного контроля в промышленном производстве и энергетике.

УДК 004

СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ»

И. Ю. КУЦАЕВА, Д. В. МИКАЛУЦКИЙ, И. Г. ПЛИСКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В процессе обучения у студентов возникают трудности с усвоением материала по той или иной дисциплине. Это может быть связано с пропусками занятий, с недостаточным знанием языка (в случае иностранных студентов), с нежеланием глубоко вникать в предмет во время занятий, с небольшим числом аудиторных занятий в случае студентов заочной формы обучения. У преподавателя, в свою очередь, ограничено время на дополнительные занятия, консультации. Поэтому появилась необходимость создания приложения по дисциплине «Системный анализ и исследование операций», с помощью которого студенты смогут более досконально изучить предмет, устранить пробелы в своих знаниях.

Приложение представляет собой программу, предназначенную как для студентов, занимающихся изучением данной дисциплины, так и для преподавателей, которым необходимо контролировать процесс обучения.

Данное приложение возможно использовать дистанционно, при этом важным его достоинством является то, что исходные данные генерируются при каждом новом запуске, т. е. бессмысленно проходить тестирование и сохранять результаты для передачи другим студентам.

Указанный программный продукт может быть использован в следующих целях:

– ознакомление с примерами решения: приложение предлагает примеры решения задач различных видов. Это позволяет пользователям ознакомиться или детально разобраться с применением того или иного метода. Кроме того, доступна теория изучаемого метода в качестве дополнения к примерам;

– решение задач: у пользователя есть возможность ввести необходимые данные самостоятельно или случайным образом и получить полное решение задачи (это полезно при невозможности проконсультироваться с преподавателем, например, при решении задачи вне аудитории). Это помогает проверить свои навыки применения методов. Теоретическая информация также доступна;

– самостоятельное решение: для проверки своих знаний студент получает исходные данные без возможности доступа к теоретической информации.

Описываемый программный продукт значительно облегчает изучение сложного материала, а также позволяет устранить пробелы в знаниях студентов и помогает преподавателям: они могут использовать приложение для тестирования знаний студентов.

УДК 535.317.2

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ПУЧКОВ БЕССЕЛЕВА ТИПА ДЛЯ СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОЙ СВЯЗИ В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

А. П. МАКАРЕВИЧ, А. М. ВАРАНЕЦКИЙ

Научный руководитель П. И. РОПОТ, канд. физ.-мат. наук, доц.

Институт физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Передача информации и энергии на большие расстояния в свободном пространстве с помощью лазерных пучков находит широкое применение. Одной из важнейших задач является достижение максимальной интенсивности поля в плоскости фотоприемника. Однако не всегда гауссов профиль пучка является оптимальным. Одним из способов повышения эффективности таких лазерных систем является использование световых пучков бесселева типа (БСП) [1]. Применение непосредственно для этих целей БСП затруднено из-за необходимости генерировать пучки с предельно малым углом конуса.

Предлагаемое решение этой проблемы состоит в переходе к разработке генератора Фурье-спектра БСП, т. е. генератора кольцевого поля (КП), которое, соответственно, в дальней зоне трансформируется в БСП вследствие дифракции в свободном пространстве [2]. Кроме того, при больших апертурах применение зеркальных телескопов предпочтительнее линзовых из-за отсутствия у них хроматических аберраций, малого веса и низкой стоимости. Не менее важным является и то, что применение КП, в отличие от гауссова пучка, устраняет потери световой мощности на вторичном зеркале и позволяет пространственно мультиплексировать большое число каналов передачи информации.

Было разработано устройство формирования КП (рис. 1) для системы лазерной связи в свободном пространстве, генерирующее интенсивность поля на оси, вдвое превышающую таковую для гауссова пучка.

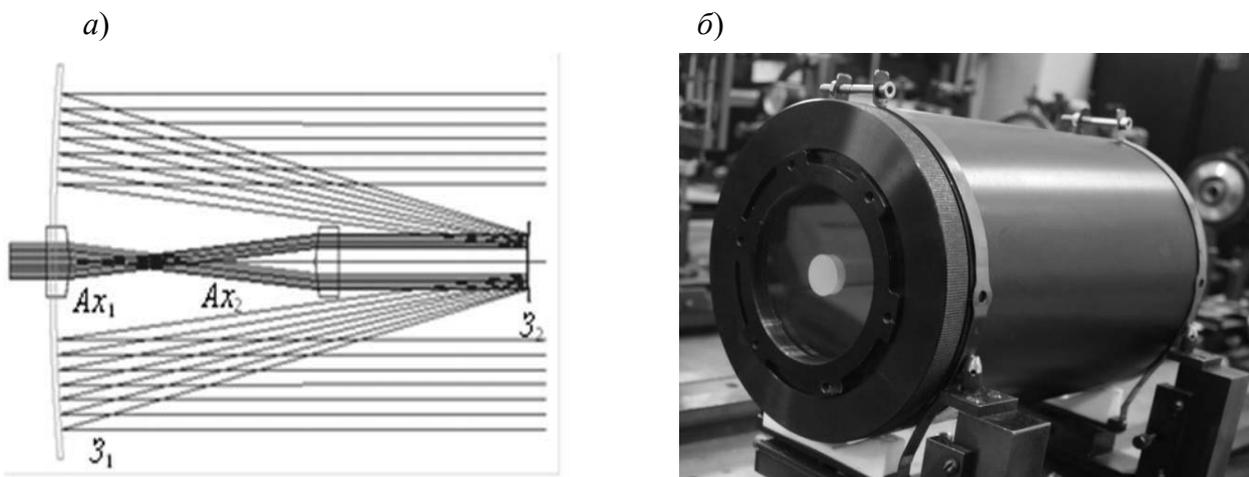


Рис. 1. Оптическая схема на основе конического телескопа, вложенного в зеркальный телескоп Кассегрена (а), и разработанное устройство на ее основе (б)

Исходя из заданных технических характеристик (габариты – не более 220 мм; вес – не более 8 кг; источник света – твердотельный импульсный лазер с параметрами: длина излучения – 1064 нм, диаметр пучка – 5 мм, качество пучка $M^2 \approx 6$; заданное поперечное распределение профиля интенсивности лазерного пучка с осевой интенсивностью вдвое выше, чем для ГП на расстояниях от 10 до 100 км), предложена оптимальная схема формирователя управляемого лазерного пучка на большие расстояния. Схема базируется на использовании в ближнем поле генератора КП, объединенного с акустооптическим модулятором и зеркальным телескопом. Габаритный расчет оптической схемы проводился методом лучевой оптики. Он позволил провести оценку размеров светового пучка в ближней зоне, т. к. на небольших расстояниях дифракцией можно пренебречь. Далее результаты уточнялись дополнительными расчетами и сравнением с гауссовыми и лаггерр-гауссовыми пучками на основе дифракционных интегралов.

Устройство состоит из конического телескопа на основе двух аксиконов A_{x1} и A_{x2} (диаметр – $\frac{1}{2}$ " , угол при основании – 10°). Расстояние между аксиконом регулируется в пределах 65...70 мм. Конический телескоп вложен в зеркальный телескоп Кассегрена с главным параболическим зеркалом Z_1 (радиус кривизны $R_1 = 488$ мм, фокусное расстояние $f_1 = 244$ мм, диаметр $D_1 = 85$ мм, диаметр отверстия $d_1 = 18$ мм) и малым гиперболическим зеркалом Z_2 (радиус кривизны $R_2 = 118$ мм, фокусное расстояние $f_2 = 59$ мм, диаметр $D_2 = 18$ мм). Корпус устройства и все металлические элементы были изготовлены из сплава с малым тепловым расширением. По технологии три оптических элемента (главное зеркало, малое зеркало и второй аксикон) крепятся к металлической оправе клеевым составом марки К-300-61. Крепление главного зеркала к корпусу осуществляется вклеиванием через лепестковую систему развязки с введением упорных шайб. В качестве юстировочного узла для главного зеркала применен сферический шарнир. Длина устройства определялась размером четырех направляющих стержней из стали 36 Н и была равна 215 мм.

На данное устройство был разработан комплект конструкторской документации (КД) и приведены лабораторные испытания с применением методики Фурье-процессора, имитирующей распространение пучка в свободной атмосфере. Испытания подтвердили относительную устойчивость профиля формируемых пучков БСП к дефокусировке зеркального телескопа. При различных значениях дефокусировки интенсивность осевого максимума сохраняется высокой. В зависимости от дистанции распространения пучка при сохранении характеристик его периферии она в 1,5–2 раза выше, чем для гауссова пучка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Long-distance Bessel beam propagation through Kolmogorov turbulence / P. Birch [et al.] // Journal Opt. Soc. Am. A 32. – 2015. – P. 2066–2073.
2. Forming of Bessel beams from annular fields on large distances / N. A. Khilo [et al.] // Optics Communication. – 2022. – Vol. 508. – P. 127779.

УДК 004.89

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ
В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТРАВМ ПОЗВОНОЧНИКА

И. И. МИЩЕНКО

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

Системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) становятся неотъемлемой частью современной медицины, помогая улучшить диагностику и лечение пациентов. Эти системы позволяют автоматизировать процесс анализа медицинских данных, снижая нагрузку на врача и повышая точность диагностики. Особенно значима их роль в травматологии, где требуется оперативная и точная диагностика повреждений, таких как травмы позвоночника.

Целью данного исследования является разработка СППВР, специализирующейся на диагностике травм позвоночника. Для достижения этой цели было проведено сравнительное исследование различных методов компьютерного зрения и алгоритмов, используемых для обработки и анализа медицинских изображений.

Травмы позвоночника требуют точного анализа рентгеновских снимков, что подразумевает распознавание анатомических ориентиров и выделение ключевых структур, таких как позвонки и межпозвоночные диски. Для повышения качества рентгеновских изображений в исследовании проведено сравнение различных методов предварительной обработки, которые включают:

– медианную фильтрацию. Этот метод используется для удаления шумов на изображениях, таких как артефакты или мелкие дефекты. Медианный фильтр позволяет сглаживать изображение, но может привести к потере деталей;

– адаптивную эквализацию гистограммы. Метод разделяет изображение на небольшие участки и применяет локальную коррекцию контрастности. Это позволяет улучшить детализацию на участках с разными уровнями яркости, что особенно полезно при анализе сложных структур позвоночника;

– стандартную эквализацию гистограммы. Данный метод перераспределяет значения пикселей для равномерного распределения их по диапазону яркости. Это улучшает контрастность, позволяя более четко различать ключевые анатомические ориентиры;

– гамма-коррекцию. Регулирование яркости изображения с помощью параметра гамма. Хотя гамма-коррекция эффективно изменяет яркость, она менее полезна для улучшения контрастности, что ограничивает ее применение в задачах диагностики.

После предварительной обработки изображений применяются алгоритмы компьютерного зрения для распознавания ключевых анатомических ориентиров. Эти алгоритмы позволяют автоматически идентифицировать позвонки и межпозвоночные диски, что существенно ускоряет процесс диагностики. В ходе исследования были протестированы следующие алгоритмы:

– алгоритм Shi-Tomasi. Данный алгоритм зарекомендовал себя как один из наиболее точных методов для идентификации анатомических ориентиров и показал наилучшие результаты при распознавании анатомических ориентиров, обеспечивая точность до 95 %. Он находит угловые точки на изображении, что особенно важно для анализа структуры позвоночника;

– детектор Harris и метод SIFT также применяются для обнаружения ключевых точек на изображениях, однако их эффективность зависит от качества предварительной обработки изображения. В некоторых случаях точность распознавания этими методами была ниже.

В рамках исследования было установлено, что методы стандартной и адаптивной эквализации гистограммы продемонстрировали наилучшие результаты для обработки рентгеновских снимков. Они позволили улучшить визуализацию и повысить точность распознавания анатомических ориентиров. Гамма-коррекция оказалась менее эффективной, поскольку улучшала яркость изображения, но ухудшала его контрастность, что снижало точность распознавания. Медианный фильтр был полезен для удаления шумов, однако приводил к смазыванию важных деталей.

В итоге разработанная система поддержки принятия врачебных решений для диагностики травм позвоночника, основанная на сравнительном анализе методов компьютерного зрения и алгоритмов, показала значительное улучшение точности диагностики. Применение методов адаптивной и стандартной эквализации гистограммы в комбинации с алгоритмом Shi-Tomasi позволило повысить точность распознавания анатомических ориентиров до 95 %. В результате СППВР продемонстрировала прирост производительности на 35 %, облегчая процесс диагностики и снижая нагрузку на врачей.

Таким образом, предложенная система поддержки принятия врачебных решений может значительно улучшить качество диагностики и оптимизировать рабочий процесс в травматологии, особенно при диагностике и анализе травм позвоночника.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мищенко, И. И.** Развитие алгоритмов поиска дефектов на рентгеновских снимках с использованием компьютерного зрения / И. И. Мищенко // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: тез. Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2023. – С. 161.

УДК 004.942

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКИХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО БРАКА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

С. А. ПРОКОПЕНКО¹

Научный руководитель А. В. БОБРЯКОВ², д-р техн. наук, доц.

¹Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

²Национальный исследовательский университет МЭИ

Москва, Россия

Производство сложных технических объектов (СТО) является неотъемлемой частью современной экономики. Небольшие производственно-сборочные предприятия (ПСП), не обладая значительными мощностями, способны производить большой ассортимент СТО [1]. Одной из основных проблем ПСП является производство сложных технических объектов, несоответствующих установленным стандартам качества. Производственный брак приводит к дополнительным временным и ресурсным затратам, снижению репутации компании.

Выявление производственного брака происходит на самом производстве при проведении контрольных мероприятий (визуальный контроль, диагностика и т. д.) или непосредственно у конечного пользователя. Проведение контрольных мероприятий после проведения всех технологических операций в условиях небольших ПСП является невозможным, т. к. это приводит к дополнительным расходам, увеличению времени производства СТО.

Одним из подходов определения производственного брака является оценка возможности его возникновения перед проведением технологической операции, используя информацию об используемых ресурсах, квалификации персонала и т. д. Для реализации данного подхода необходимо использование классифицирующих нейро-нечетких компонентов.

Нечеткий нейрон Квана и Кэи впервые был представлен в 1994 г. Он успешно применяется в задачах классификации. Нечеткий нейрон Квана – Кэи состоит из четырех слоев, каждый из которых представляет собой блок различных нечетких нейронов. Первый слой представляет входные данные и состоит из нечетких входов, каждый из которых представляет вектор параметров характеристик. Задача второго слоя – это выполнение фазсификации входных векторов с помощью весовой функции. Третий слой можно рассматривать как нечеткий слой вывода. Четвертый и последний слой являются выходными слоями сети и состоят из конкурирующих нейронов, по одному на каждый из выходных классов. Структура нечеткого нейрона представлена на рис. 1.

Для обучения компонента используется информация о функционировании производства за последние два года (605 рабочих дней). Выборка содержит информацию о выпуске 99 129 ед. продукции, 5 486 233 проведенных операциях, информацию о функционировании 120 ед. оборудования, 70 сотрудниках.

На производство также поступает информация от конечных потребителей о качестве продукции. В случае поломки проводится исследование по выяснению причин возникновения поломки (8 766 актов). Это позволяет постоянно обновлять информацию о выпуске продукции и функционировании технологических операций.

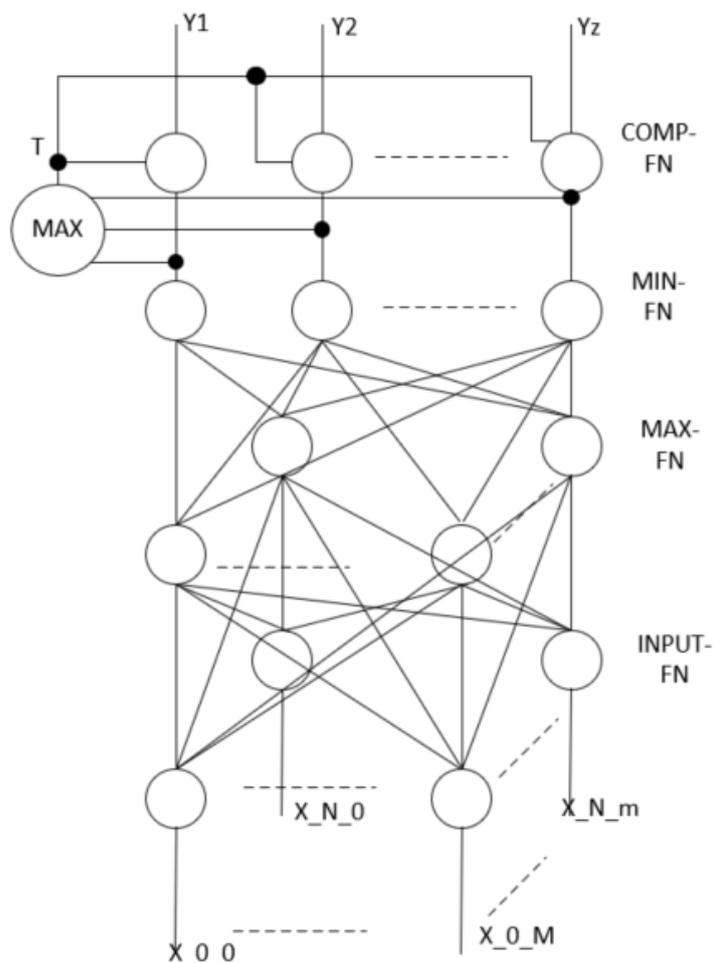


Рис. 1. Структура нечеткого нейрона Квана и Кэи

Применение нейро-нечетких компонентов Квана и Кэи при определении производственного брака позволяет:

- уменьшить количество технологических операций, приводящих к браку;
- увеличить эффективность использования ресурсов;
- уменьшить время обучения компонентов по сравнению с классическими подходами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Modeling of Industrial and Technological Processes in Complex Systems Based on NeuroFuzzy Petri Nets / A. V. Bobryakov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Automatics and Energy (ICAЕ 2021), 7–8 Oct. 2021. – Vladivostok, 2021. – Vol. 2096.

УДК 004

МЕТОД АНАЛИЗА ПРИНАДЛЕЖНОСТИ АККАУНТОВ ОДНОМУ ВЛАДЕЛЬЦУ В БЛОКЧЕЙН-СЕТЯХ

И. З. САФИНА

Научный руководитель А. Н. КАБИРОВА, канд. техн. наук, доц.
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева-КАИ
Казань, Россия

В современном мире блокчейн-технологии развиваются очень быстрыми темпами. Это, в свою очередь, приводит к развитию мошеннических действий в данной области. В связи с этим для обеспечения безопасности и конфиденциальности информации представляется актуальной задача разработки метода анализа принадлежности аккаунтов одному владельцу в блокчейн-сетях.

В основу разработанного метода легли элементы уже известных методик: эвристического, графового анализа и метода анализа временных интервалов. Для разработки метода были применены 14 метрик (правил). Данные метрики используются для вычисления вероятности связи между указанными аккаунтами. При этом метрика имеет свою степень важности, и за срабатывание метрики присваивается фиксированный балл (табл. 1). Максимальная сумма баллов равняется 20.

Табл. 1. Метрики выявления связей

Метрика	Количество баллов	Степень важности
Первый адрес взаимодействия после первого пополнения	1	Средняя
Множества общих транзакций, выполненных подряд после первого пополнения	6	Очень высокая
Транзакции в один и тот же час после первого пополнения	1	Средняя
Прямые транзакции между кошельками	1	Ключевая
Сходство текущего баланса	1	Средняя
Сходство количества транзакций	1	Средняя
Первое пополнение с одного источника (центральной биржи)	1	Средняя
Первое пополнение с одного источника	1	Ключевая
Первое пополнение на схожую сумму	1	Средняя
Сходство суммы первой транзакции	1	Средняя
Первая транзакция в один и тот же день	1	Средняя
Первая транзакция в один и тот же час	1	Средняя
Взаимодействие с одними и теми же адресами	2	Высокая
Сходство суммы всех переводов	1	Средняя

Как видно из табл. 1, метрики «Прямые транзакции между кошельками» и «Первое пополнение с одного источника» являются ключевыми и напрямую

вливают на результат расчета вероятности. Метод расчета вероятности принадлежности аккаунтов одному владельцу заключается в следующем: проверить, работало ли хотя бы одно из ключевых правил.

1. Ключевое правило не работало. Тогда берется сумма баллов работавших правил и делится на 22.

2. Ключевое правило работало. Тогда считается общая сумма баллов для всех работавших правил, умножается на соответствующий множитель (табл. 2) и делится на 22.

Табл. 2. Взаимосвязь количества баллов и множителя

Количество баллов	Множитель						
1	17,6	6	3,3	11	1,92	16	1,35
2	8,8	7	2,9	12	1,78	17	1,29
3	6,23	8	2,55	13	1,64	18	1,22
4	4,67	9	2,32	14	1,52	19	1,157
5	3,96	10	2,11	15	1,44	20	1,1

Таким образом, методика расчета вероятности позволяет учитывать вес каждого правила с учетом их значимости. Ключевые правила существенно увеличивают вероятность связи между адресами, в то время как остальные правила медленно увеличивают вероятность, подтверждая принадлежность адресов одному владельцу.

Необходимо отметить, что все использованные цифры в расчетах, а также перечень требуемых метрик были определены с помощью экспертов, работающих в этой сфере.

После определения всех правил разработанный метод был реализован в виде веб-приложения на языках TypeScript и HTML.

На начальном экране веб-приложения пользователь видит заголовок «Анализ кошельков» и инструкцию по вводу адресов кошельков. Адреса должны начинаться с префикса '0x' и быть записаны в шестнадцатеричной системе счисления, содержащей 40 символов. На этом этапе пользователи могут добавить или удалить поля для ввода адресов. Минимальное количество полей – 2, а максимальное – 100, при этом в поле ввода можно вставить заранее скопированные адреса. При вводе адресов система автоматически проверяет их корректность. После нажатия на кнопку «Отправить» приложение начинает процесс получения и анализа транзакций, о чем свидетельствует появление соответствующей надписи на экране.

Окно с результатами анализа введенных адресов содержит все пары адресов, вероятность принадлежности этих пар адресов одному владельцу в процентах, а также список работавших правил для данных пар адресов.

УДК 004

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УЧЕТА ПОСЕЩАЕМОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ НА АУДИТОРНЫХ ЗАНЯТИЯХ

М. С. СМИРНОВ

Научный руководитель А. Н. КАБИРОВА, канд. техн. наук, доц.
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева-КАИ
Казань, Россия

Развитие информационных технологий влечет за собой автоматизацию повседневных задач в различных областях. Сфера образования не является исключением. При проведении аудиторных занятий в высших учебных заведениях преподавателям требуется выделить немало времени на учет посещаемости обучающихся. Задача усложняется при проведении потоковых лекций. С целью решения данной задачи была разработана система, позволяющая автоматизировать этот процесс.

Система представляет собой совокупность веб-приложения, в котором определены три роли: администратор, преподаватель, студент, и мобильного приложения, посредством которого студент может отметить на занятии. Рассмотрим каждую часть системы более подробно.

При авторизации в системе в роли администратора пользователю становятся доступными такие действия, как добавление зданий, аудиторий, институтов, групп, преподавателей, обучающихся, дисциплин и т. д.

Задача добавления аудитории в систему решена применением географических координат – широты и долготы, при этом каждая координата представляет собой один из углов добавляемой аудитории. Каждая добавляемая точка по порядку соединяется с предыдущей, а последняя и первая замыкаются, образуя законченную фигуру – полигон. Минимально допустимое количество точек равняется трем. Это связано с тем, что нельзя расположить аудиторию в одной или двух точках. Максимальное количество точек для аудитории не регламентируется. Чем больше точек, тем точнее будет построен полигон. При практической реализации данной подзадачи возникла проблема неправильного построения полигона (рис. 1), которая была решена применением основ теории «выпуклые оболочки» (рис. 2).

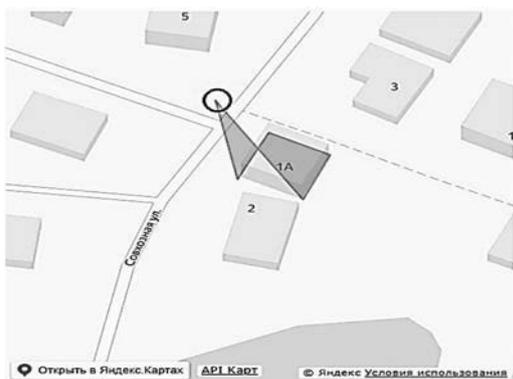


Рис. 1

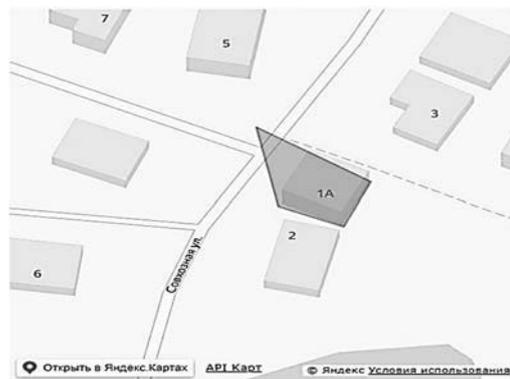


Рис. 2

При авторизации в системе в роли преподавателя пользователю доступны такие действия, как просмотр расписания (рис. 3), отмечание обучающегося, доступ к статистике посещения студента (рис. 4) и группе в целом.

Расписание

Понедельник

Время	Дисциплина	Преподаватель	Вид занятия	Аудитория	
8:00 - 9:30	Вычислительная математика	Айгуль Кабирова	Лекция	адрес: Большая Красная 55, этаж: 4, аудитории: 404	ПОКАЗАТЬ ГРУППУ
9:40 - 11:10	Вычислительная математика	Айгуль Кабирова	Лекция	адрес: Зеленая Та, этаж: 1, аудитории: 1	ПОКАЗАТЬ ГРУППУ
11:20 - 12:50	Программирование на Tplaxast SQL	Айгуль Кабирова	Лекция	адрес: Большая Красная 55, этаж: 4, аудитории: 404	ПОКАЗАТЬ ГРУППУ
13:30 - 15:00					
15:10 - 16:40	Программирование на Tplaxast SQL	Айгуль Кабирова	Лекция	адрес: Зеленая Та, этаж: 1, аудитории: 1	ПОКАЗАТЬ ГРУППУ
16:50 - 18:20	Вычислительная математика	Айгуль Кабирова	Лекция	адрес: Большая Красная 55, этаж: 4, аудитории: 404	ПОКАЗАТЬ ГРУППУ
18:25 - 19:55					

Рис. 3

<p>пнд, 1 апреля, 2024</p> <p>Начало Концов</p> <p>08:00 - 09:30</p> <p>Преподаватель Вид занятия</p> <p>Айгуль Кабирова Лекция</p> <p>УБРАТЬ</p>	<p>пнд, 8 апреля, 2024</p> <p>Начало Концов</p> <p>08:00 - 09:30</p> <p>Преподаватель Вид занятия</p> <p>Айгуль Кабирова Лекция</p> <p>УБРАТЬ</p>	<p>пнд, 15 апреля, 2024</p> <p>Начало Концов</p> <p>08:00 - 09:30</p> <p>Преподаватель Вид занятия</p> <p>Айгуль Кабирова Лекция</p> <p>ОТМЕТИТЬ</p>	<p>пнд, 22 апреля, 2024</p> <p>Начало Концов</p> <p>08:00 - 09:30</p> <p>Преподаватель Вид занятия</p> <p>Айгуль Кабирова Лекция</p> <p>УБРАТЬ</p>
<p>пнд, 29 апреля, 2024</p> <p>Начало Концов</p> <p>08:00 - 09:30</p> <p>Преподаватель Вид занятия</p> <p>Айгуль Кабирова Лекция</p> <p>УБРАТЬ</p>	<p>пнд, 6 мая, 2024</p> <p>Начало Концов</p> <p>08:00 - 09:30</p> <p>Преподаватель Вид занятия</p> <p>Айгуль Кабирова Лекция</p> <p>УБРАТЬ</p>	<p>пнд, 13 мая, 2024</p> <p>Начало Концов</p> <p>08:00 - 09:30</p> <p>Преподаватель Вид занятия</p> <p>Айгуль Кабирова Лекция</p> <p>УБРАТЬ</p>	<p>пнд, 20 мая, 2024</p> <p>Начало Концов</p> <p>08:00 - 09:30</p> <p>Преподаватель Вид занятия</p> <p>Айгуль Кабирова Лекция</p> <p>ОТМЕТИТЬ</p>
<p>пнд, 27 мая, 2024</p> <p>Начало Концов</p> <p>08:00 - 09:30</p> <p>Преподаватель Вид занятия</p> <p>Айгуль Кабирова Лекция</p> <p>ОТМЕТИТЬ</p>	<p>пнд, 3 июня, 2024</p> <p>Начало Концов</p> <p>08:00 - 09:30</p> <p>Преподаватель Вид занятия</p> <p>Айгуль Кабирова Лекция</p> <p>ОТМЕТИТЬ</p>	<p>пнд, 10 июня, 2024</p> <p>Начало Концов</p> <p>08:00 - 09:30</p> <p>Преподаватель Вид занятия</p> <p>Айгуль Кабирова Лекция</p> <p>ОТМЕТИТЬ</p>	<p>пнд, 17 июня, 2024</p> <p>Начало Концов</p> <p>08:00 - 09:30</p> <p>Преподаватель Вид занятия</p> <p>Айгуль Кабирова Лекция</p> <p>ОТМЕТИТЬ</p>
<p>пнд, 24 июня, 2024</p>			

Рис. 4

При авторизации в системе в роли обучающегося пользователю доступны такие действия, как посмотреть свое расписание, личную статистику посещений, а также статистику группы.

Также обучающийся может отметить на занятии через личное мобильное устройство. После входа в приложение он попадает в главное меню своего аккаунта. На нем отображаются данные, которые введены администратором при добавлении этого пользователя в систему. Если обучающийся вошел в свой профиль во время занятия, то у него есть возможность отметить на данном событии, нажав на кнопку «Отметиться». При этом идет проверка нахождения устройства обучающегося в пределах полигона (аудитории), который был задан администратором ранее. Если условия выполнены, то обучающийся видит сообщение «Вы отмечены на данном событии», иначе – «Вы не в аудитории». В случае если обучающийся открывает приложение, когда по расписанию занятий нет, то выводится сообщение «Нет актуальных событий».

УДК 004

ИНТЕГРАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Д. А. СОЛОНОВИЧ

Научный руководитель А. И. ЯКИМОВ, д-р техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Современные производственно-экономические системы требуют эффективных инструментов для анализа и оптимизации процессов. В этом им помогают интеллектуальные имитационные модели для принятия обоснованных управленческих решений.

В цифровизации производства одним из первостепенных направлений становится интеграция имитационной модели в автоматизированную систему управления промышленным предприятием. Интеграция может быть реализована различными способами. При выборе типа интеграции в первую очередь необходимо исходить из типа решаемой задачи, конкретной ситуации на предприятии, требований по стоимости, надежности, скорости работы и масштабируемости.

Структура интегрированной среды имитационного моделирования может быть представлена двумя основными подсистемами (рис. 1).

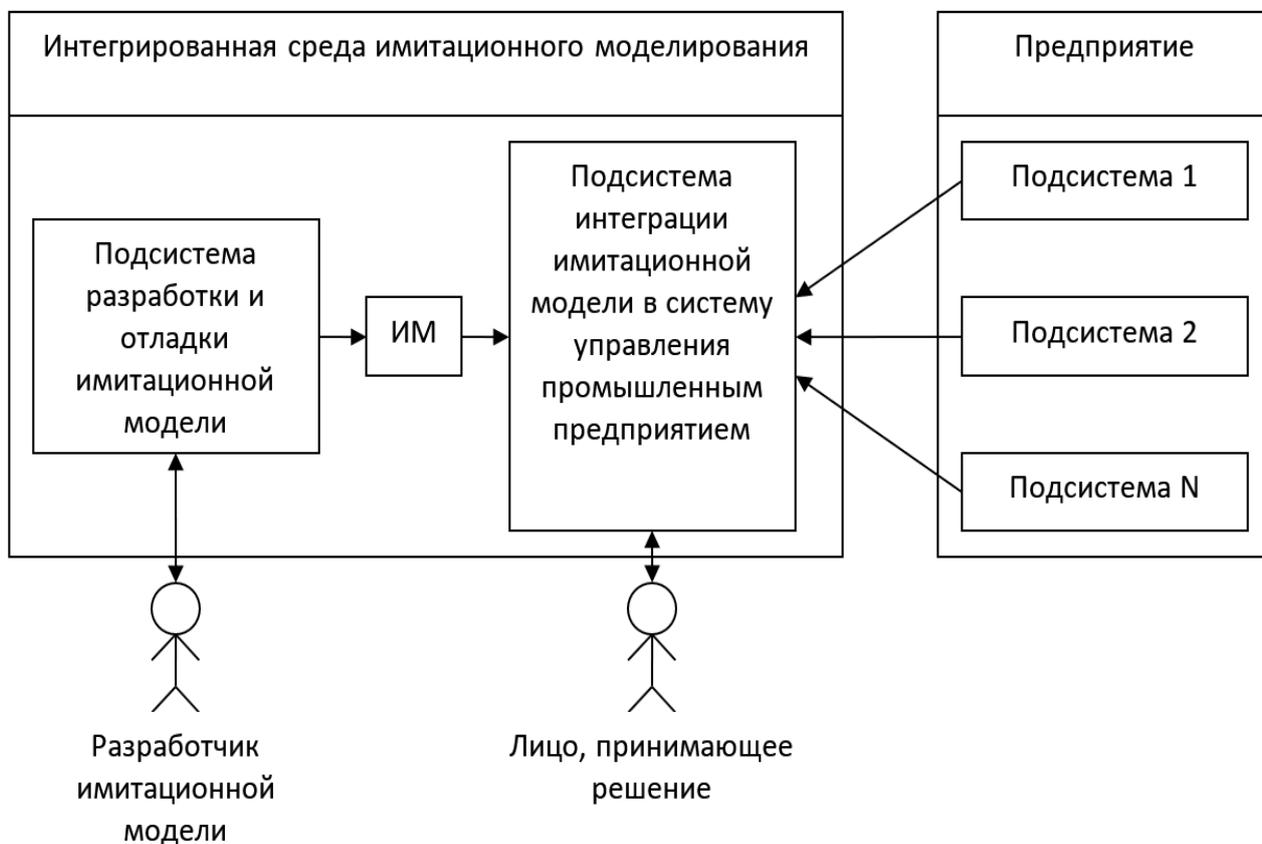


Рис. 1. Подсистемы интегрированной среды имитационного моделирования

Подсистема разработки и отладки имитационной модели предназначена для создания готового модуля имитационной модели, его тестирования, проверки адекватности, верификации и исследования при решении задач, требующих одномоментного использования имитационной модели.

Подсистема интеграции имитационной модели в систему управления промышленным предприятием необходима при решении задач, требующих использования имитационной модели на постоянной основе. Моделирование происходит периодически по расписанию или по запросу пользователя.

Существуют готовые программные продукты, предназначенные для интеграции различных программных и аппаратных систем, включающие библиотеки компонентов, визуальные средства разработки, отладки, настройки и позволяющие обрабатывать большие потоки данных. Универсальность и ориентированность на автоматизированные системы является основной проблемой таких продуктов. Эта проблема проявляется в сложности настройки, высоких требованиях к обслуживающим специалистам, необходимости разработки компонентов по взаимодействию имитационной модели и автоматизированной системы управления промышленным предприятием с подсистемой интеграции, отсутствии встроенных специализированных средств по анализу и статистической обработке данных. Пользовательский интерфейс должен разрабатываться отдельно. Если на предприятии не установлено такой системы, то ее покупка и обучение специалистов для интеграции имитационной модели могут оказаться экономически необоснованными, т. к. большая часть предлагаемых функций не будет востребована.

Таким образом, для эффективного применения имитационного моделирования на промышленном предприятии система имитационного моделирования должна не только позволять разрабатывать и исследовать имитационную модель, но и предоставлять возможности по созданию пользовательского интерфейса и интеграции модели в автоматизированную систему управления.

Исходя из решаемых практических задач, можно сформулировать следующие основные требования к подсистеме эксплуатации имитационных моделей: чтение и запись данных из различных источников; предварительная обработка и анализ исходных данных; планирование, проведение, обработка и анализ результатов имитационных экспериментов; построение отчетов и графиков; запуск как на локальном компьютере, так и распараллеливание нагрузки за счет компьютеров в локальной сети.

Предложенная реализация подсистемы эксплуатации предоставляет широкие возможности при интеграции имитационной модели в систему управления промышленным предприятием и позволяет упростить этапы тестирования и исследования путем использования шаблонов сценариев и автоматизированного их выполнения.

УДК 004.89

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ КОМПЛЕКС ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ОРГАНАХ МЕСТНОГО САМОУПРАВЛЕНИЯ

П. С. ХАРЛАМОВ

Смоленский филиал Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации
Смоленск, Россия

В настоящее время активно развивается концепция электронного правительства, прежде всего интегрированная на федеральном и региональном уровне. Данная модель основана на автоматизации и цифровизации различных процессов в рамках предоставления государственных и муниципальных услуг, а также межведомственного документооборота. Особую эффективность концепция электронного правительства имеет в рамках защищенного взаимодействия с организациями, входящими в курируемые органами государственной власти территориальные или распределенные научно-промышленные кластеры. Вместе с тем муниципальный уровень зачастую автоматизируется в последнюю очередь без выделения акцентных процессов для автоматизации. На рис. 1 представлен предлагаемый перспективный комплекс информационных систем в органах местного самоуправления. Следует отметить, что в перспективную инфраструктуру включены инновационные информационные технологии, например нечеткая логика и нейронные модели. Данный комплекс является расширяемым и гибким, что особенно важно для понимания субъекта Российской Федерации, за которым будет закреплен программный комплекс.



Рис. 1. Перспективный комплекс информационных систем в органах местного управления с интеграцией информационных систем анализа паттернов развития

УДК 004.056

МЕТОД МНОГОФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ КАК ЭЛЕМЕНТ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

О. Е. ХАРЛАМОВА

Смоленский филиал Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации
Смоленск, Россия

Сложные экономические системы, такие как территориальные научно-промышленные кластеры [1], уделяют огромное внимание обеспечению информационной безопасности процессов передачи данных, содержащих коммерческую тайну. Предлагается метод, представленный на рис. 1, опирающийся на многофакторную аутентификацию и инновационные ИТ.

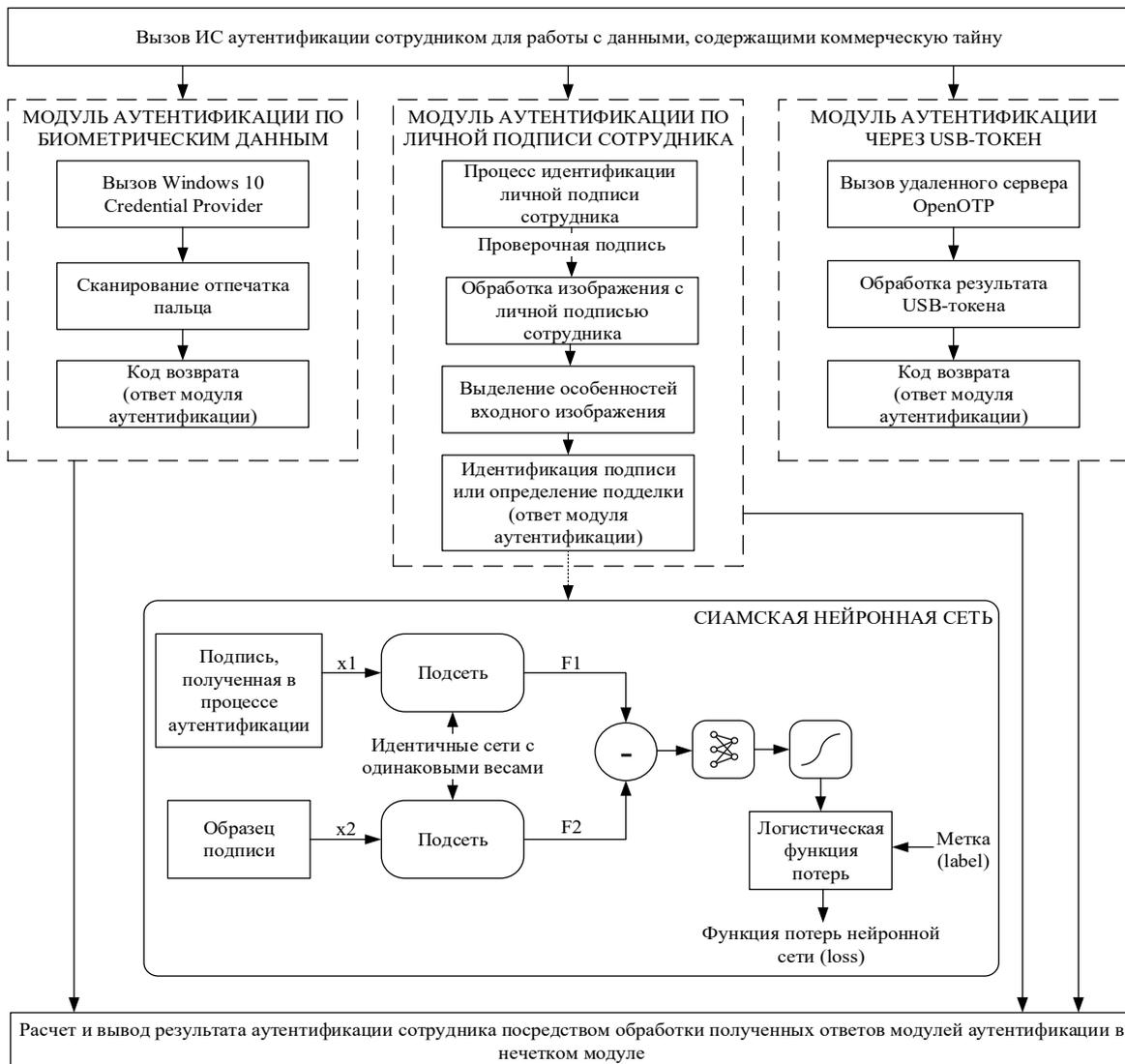


Рис. 1. Метод многофакторной аутентификации для обеспечения информационной безопасности процессов передачи данных

Описываемый на рис. 1 метод многофакторной аутентификации содержит в качестве канала аутентификации пользователя модуль аутентификации личной подписи сотрудника, основанный на интеграции сиамских нейронных сетей [2, 3], для ее верификации. Актуальность данного метода основывается на большей степени защищенности данных, содержащих коммерческую тайну и опирающихся на список лиц, допущенных к этим данным. Более того, ряд указанных документов обязательны к подписанию, что свидетельствует о формировании образца подписи сотрудника, допущенного к указанным данным. На рис. 2 представлен реализованный пример работы модуля аутентификации по личной подписи сотрудника. Следует отметить, что модуль рассчитывает показатель вероятности совпадения с образцом, что позволяет перенести решение о допуске к данным на экспертный уровень специалистов по информационной безопасности.

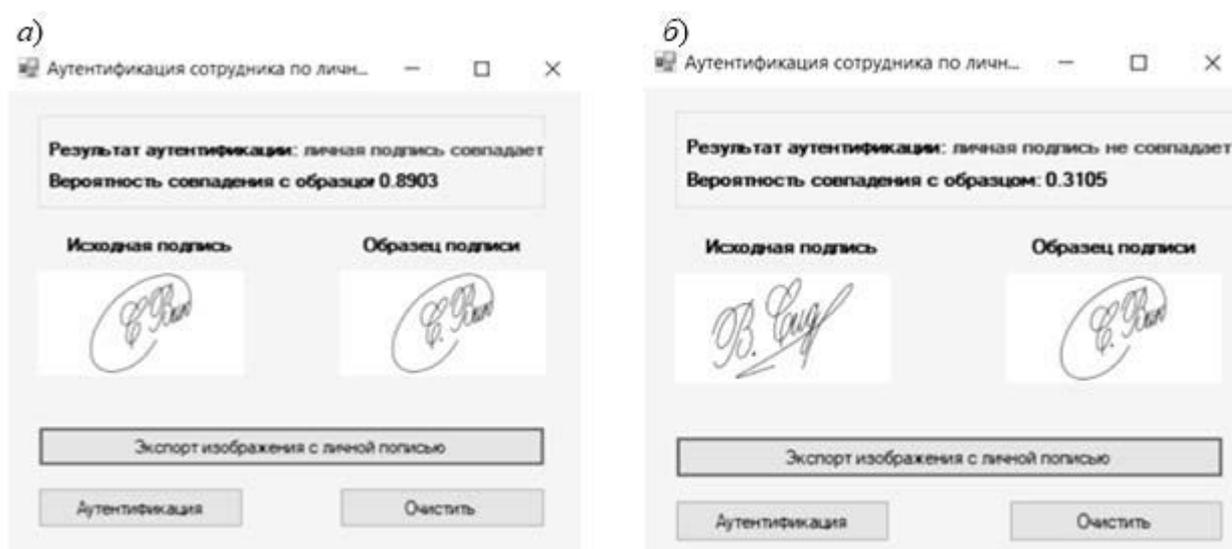


Рис. 2. Работа модуля аутентификации по личной подписи на основе сиамских нейронных сетей: *а* – успешной аутентификации подписи; *б* – неуспешной аутентификации подписи

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ существующих методов обеспечения информационной безопасности при передаче данных в инновационных системах / А. А. Тютюнник [и др.] // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 9 (135). – С. 24–27.
2. Virtualization of information object vulnerability testing container based on DeX technology and deep learning neural networks / В. V. Okunev [et al.] // Journal of Applied Informatics. – 2021. – Vol. 16, № 4 (94). – P. 96–109.
3. **Харламов, П. С.** Идентификация пользователя на основе сиамских нейронных сетей как модуль многофакторной аутентификации для сложных экономических систем / П. С. Харламов, О. Е. Харламова, Е. В. Лаврова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естественные и технические науки. – 2024. – № 5. – С. 166–172.

УДК 510.644.4

ПРОГНОЗНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТОРАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ ИЗБИРАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ СВЕРТКИ

О. Е. ХАРЛАМОВА

Смоленский филиал Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации
Смоленск, Россия

С политико-правовой точки зрения выборы являются каналом легитимизации власти и основой конституционного строя в большинстве государств, существующих на сегодняшний день. При участии избирателей в голосовании проявляется социально-психологическая обособленность электорального поведения в сфере общественной проблематики политического поведения. Указанное обуславливается различными детерминантами голосования и электоральной активности граждан, отдельно взятого избирателя. В связи с этим их исследование и последующая оценка оказываемого влияния на результаты выборов является важным информационно-аналитическим ресурсом [1] как для кандидатов, избирательных объединений и других заинтересованных политических сил с целью расширения возможностей в борьбе за голоса граждан, так и для органов государственной власти, органов местного самоуправления в качестве реакции населения на проводимую политику.

Предлагаемая оценочная модель влияния индивидуально-личностных факторов, включая подмодуль оценки влияния ситуационно-поведенческих факторов, на электоральное поведение избирателя может быть представлена в виде нечеткой свертки (рис. 1), где $D^{(i)}$ – обобщенное влияние группы индивидуально-личностных детерминант; $D_n^{(i)}$ – влияние подгруппы детерминант на i -м уровне декомпозиции обобщенного влияния группы индивидуально-личностных детерминант; I – количество уровней декомпозиции обобщенного влияния группы индивидуально-личностных детерминант; N – количество подгрупп детерминант или детерминант на i -м уровне декомпозиции обобщенного влияния группы индивидуально-личностных детерминант; $d_{n,1}^{(i)}$ – экспертное значение (по шкале от 0 до 1 с шагом 0,01) детерминанты; $w_{n,j}^{(i)}$ – экспертный вес (по шкале от 0 до 100 с шагом 1) детерминанта $d_{n,j}^{(i)}$ на i -м уровне декомпозиции обобщенного влияния группы индивидуально-личностных детерминант; $\tilde{D}_n^{(i)}$ – нечеткое отношение совместимости между детерминантами или подгруппами детерминант подгруппы $D_n^{(i)}$; $c_{n,q}^{(i)}$ – степень совместимости детерминант или подгрупп детерминант $d_{n,q}^{(i)}$ и $d_{n,1}^{(i)}$ на i -м уровне декомпозиции обобщенного влияния группы индивидуально-личностных детерминант.

Предлагаемая модель позволит уменьшить отрицательное влияние детерминант ситуационно-поведенческого блока, характеризующихся высокой

степенью неопределенности, что приведет к повышению уровня осознанности и самостоятельности принимаемых избирателем в ходе голосования решений.

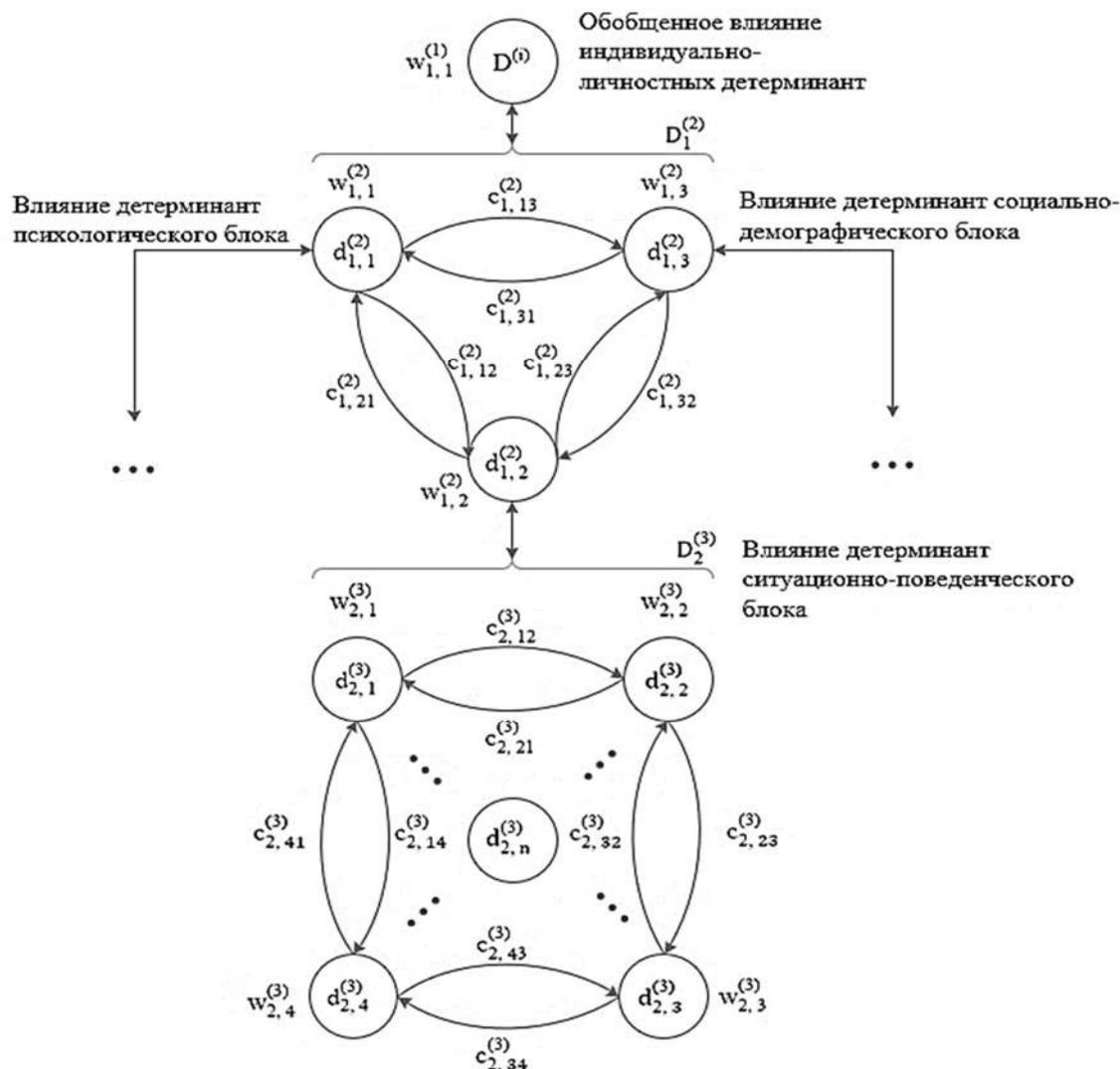


Рис. 1. Оценочная модель влияния индивидуально-личностных факторов на электоральное поведение избирателя

Реализация программного решения по автоматизации расчетов в рамках оценочной модели влияния индивидуально-личностных факторов на электоральное поведение избирателя основана на использовании нейронечетких моделей и ориентирована на язык высокого уровня Python [2] в связи с его высокой универсальностью и скоростью обработки массивов данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нечеткий классификатор выявления иррационального поведения на основе интеллектуального анализа: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023685721 РФ / И. Ю. Тимофеева, Е. В. Лаврова, П. С. Харламов. – Оpubл. 29.11.2023.
2. Okunev, B. V. Virtualization of information object vulnerability testing container based on DeX technology and deep learning neural networks / B. V. Okunev, A. I. Lazarev, P. S. Kharlamov // Journal of Applied Informatics. – 2021. – Vol. 16, № 4 (94). – P. 96–109.

УДК 004.89

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ СБОРА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В РАМКАХ МАРКЕТИНГОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ ДЛЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Е. А. ЧЕРНОВА

Научный руководитель П. С. ХАРЛАМОВ

Смоленский филиал Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации
Смоленск, Россия

Сбор обратной связи от пользователей веб-приложений коммерческих и некоммерческих организаций имеет решающее значение для улучшения веб-приложений, обеспечения их соответствия потребностям пользователей и извлечения дополнительного дохода от функционирования веб-приложения. Следует отметить, что традиционные методы сбора обратной связи, такие как формы и опросы, могут быть эффективными, но они часто ограничены и не обеспечивают глубокого понимания пользовательского опыта. В связи с этим в настоящее время сформировались новые методы, опирающиеся в том числе на искусственный интеллект, в частности метод анализа записи сеансов и карты тепловых точек. Интеллектуальный анализ обратной связи происходит обычно в неявной для пользователя форме. На рис. 1 представлен предлагаемый метод комплексного анализа обратной связи на основе синергетического слияния традиционного и инновационного методов анализа.



Рис. 1. Комплексный анализ прямой и косвенной обратной связи в рамках функционирования веб-приложений

УДК 004.89

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АНАЛИЗ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Е. А. ЧЕРНОВА

Научный руководитель О. Е. ХАРЛАМОВА

Смоленский филиал Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации
Смоленск, Россия

В настоящее время современное веб-приложение в большинстве случаев имеет функционал получения обратной связи от пользователей. Прежде всего, актуальность имплементации данного функционала обосновывается для коммерческих организаций и маркетплейсов. В частности, благодаря обратной связи разработчик может улучшить интерфейс веб-приложения, его наполнение и функционал. Вместе с тем с ростом количества пользователей веб-приложения формируется большое количество разнотипизированных данных, которые можно представить в форме Big Data. Соответственно, в настоящее время веб-приложения интегрируют в свой инструментарий информационные технологии, основанные на искусственном интеллекте. В частности, особую популярность имеют ИТ-инструменты Qualtrics и Medallia, позволяющие после внедрения в веб-приложение автоматизировать анализ обратной связи в режиме реального времени при протекании сеанса пользователя. На рис. 1 представлена предлагаемая перспективная модель интеграции технологии искусственного интеллекта в веб-приложение коммерческой организации.



Рис. 1. Модель интеграции технологии искусственного интеллекта в веб-приложение коммерческой организации

УДК 320.322

НАПРАВЛЕНИЯ УКРЕПЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОГО КЛИМАТА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В. О. БОКЛАШОВА

Научный руководитель Т. В. БУХОВЕЦ, канд. экон. наук, доц.
Академия управления при Президенте Республики Беларусь
Минск, Беларусь

В настоящее время одним из важнейших направлений обеспечения устойчивого развития экономики страны является повышение инвестиционной привлекательности с целью активизации притока внешних и внутренних инвестиций.

Проведем анализ динамики и тенденций развития инвестиционной деятельности Республики Беларусь за 2019–2023 гг. (рис. 1) [1].

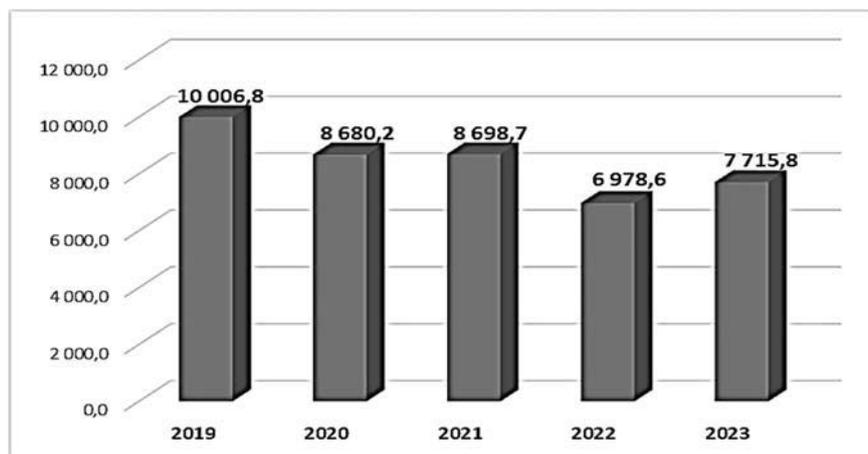


Рис. 1. Объем иностранных инвестиций, поступивших в реальный сектор экономики Республики Беларусь, млн долл. США

На основании представленных на диаграмме данных можно сделать вывод о том, что в период 2019–2021 гг. наблюдается сокращение поступления иностранных инвестиций, что обусловлено влиянием пандемии. В 2022 г. сокращение объема инвестиций объясняется воздействием политических факторов. На момент 2023 г. прослеживается положительная динамика (рис. 2).



Рис. 2. ТОП-5 стран-инвесторов Республики Беларусь 2023 г., млн долл. США

По данным Министерства экономики Республики Беларусь и Национального банка Республики Беларусь, в 2023 г. преобладающую долю иностранных инвестиций составляют Российская Федерация и Кипр, что свидетельствует о низкой диверсификации потоков принимаемых инвестиций и, в свою очередь, повышает риски для экономики Республики Беларусь, значительно усиливает зависимость экономики страны, снижая ее экономическую безопасность. Такая ситуация негативно влияет на инвестиционный климат Республики Беларусь. Одним из факторов, влияющих на инвестиционный климат страны, являются оценки рейтинговых агентств и позиции страны в международных рейтингах (табл. 1) [2].

Табл. 1. Оценка кредитного рейтинга Беларуси самыми крупными рейтинговыми агентствами

Рейтинговое агенство	Рейтинг	Прогноз	Дата последней оценки
Standard & Poor's	–	Отозван	01.10.2023
Moody's	C	Стабильный	01.07.2023
Fitch Raiting	–	Отозван	01.11.2023

На сегодняшний день невысокая инвестиционная активность Республики Беларусь связана с ресурсоемкостью и неопределенностью оценки инвестиционного климата, поэтому инвесторы руководствуются информацией, предоставляемой международными рейтинговыми агентствами, оценки которых не могут быть приведены к единому результату, а также достаточно часто либо не учитывают все важные для инвестора показатели, либо и вовсе не имеют прозрачную методологию.

В целях повышения инвестиционной привлекательности Республики Беларусь необходимо: адаптировать национальное законодательство в соответствии с законодательством наиболее привлекательных в инвестиционном отношении стран, в том числе в части имплементации в законодательство Республики Беларусь механизмов, привычных иностранным инвесторам; перейти к международным стандартам финансовой отчетности; провести анализ существующих требований к субъектам хозяйственной деятельности при ведении бизнеса в Республике Беларусь и упразднить излишние требования, устаревшие в связи с развитием новых и высоких технологий. Реализация предлагаемых мер положительно скажется на объеме привлеченных инвестиций и на экономическом развитии Республики Беларусь в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_95662/. – Дата доступа: 02.09.2024.
2. Министерство экономики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/>. – Дата доступа: 02.09.2024.

УДК 332.12

РЕВИТАЛИЗАЦИЯ КАК ВОЗМОЖНОСТЬ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА

Е. А. ВАСИЛЕГО

Научный руководитель Т. А. ЕРШОВА, канд. филол. наук
Национальный исследовательский Московский государственный университет
Москва, Россия

Каждый город стремится совершенствоваться и развиваться во всех направлениях. У каждого региона есть своя сильная сторона: где-то промышленность, где-то туризм и историко-культурные объекты, а где-то все и сразу. Практически каждый город, разрабатывая свой план развития, сталкивался с проблемой нехватки нужных территорий или же со сложностью концепций, которые смогли бы привлечь туристов для развития экономической составляющей. В работе рассматривается возможность развития туристической привлекательности и гуманитарного образования в регионе за счет возрождения заброшенных территорий, наполнения их новым смыслом и возможности развития качественной городской среды – ревитализации [5].

Во многих городах мира есть заброшенные промышленные территории, которые имеют определенную историческую ценность, но доживают свой век и саморазрушаются, создавая опасность для окружающих, занимая при этом экономически выгодную территорию. Нередко вкладчики отказываются работать и развивать данные зоны, ведь чаще всего у них несколько владельцев, а состояние некоторых конструкций ненадежно. Поэтому инвесторы прибегают к крайним мерам: снос и постройка нового здания или же комплекса.

Такого рода редевелопмент часто осуществляется top-down (сверху-вниз), что требует значительных инвестиций, в том числе и из государственного бюджета. Данный вариант развития имеет свой потенциал, однако зачастую не приводит к ожидаемым эффектам и оказывается малоприбыльным или же убыточным.

Город – это постоянно движущийся механизм, который хочет совершенствоваться и привлекать все больше гостей и инвестиций. Часто жители задаются вопросом: может ли этот город развиваться без необходимости разрушать ранее созданные объекты? Из-за большой нехватки специалистов, идей и финансов варианты ревитализации рассматриваются с большим скептицизмом, нежели редевелопмент. Однако возрождение заброшенных территорий имеет гораздо больше плюсов, чем минусов [2].

1. Повышение ценности территории и здания. Чем больше историй и эпох включает в себя местность, тем выше ее туристическая привлекательность, что позволяет монетизировать зону и повысить интерес к ней. Ревитализация – не самый популярный способ развития территории в средних и малых городах, поэтому имеет больше шансов на успех, чем бездействие и редевелопмент.

2. Развитие историко-культурных ценностей. Развитие старых зон заставляет людей интересоваться историко-культурной ценностью данной местности, что повышает уровень образования и осведомленности граждан и гостей.

Помимо всего прочего, ревитализация, при определенной концепции (например, общественная арт-галерея), дает возможность развивать и реализовывать таланты и просвещаться, как это было сделано в Гейдельбергском проекте в Детройте.

3. Развитие экономической составляющей. Ревитализация промышленных зон не исключает возможность создания торгово-развлекательных центров.

4. Развитие концепции города. Ревитализация не имеет ограничений по предполагаемому использованию старых зон, таким образом, она может продолжать и поддерживать тематику города (экогород, исторический квартал и т. д.).

5. Повышение доверия к региону и восстановление его репутации. Туристы часто обращают внимание на отношение города к своим объектам. Чем лучше состояние местностей, тем больше впечатлений получают гости, тем выше шансы на их возвращение и дальнейшее инвестирование в регион.

6. Рост качества жизни горожан. Ревитализация дает возможность объекту стать местом притяжения единомышленников, что стимулирует развитие креативных кластеров.

В качестве примера можно привести такие объекты, как Понарт (г. Калининград) [6], мельница Гердауэна (пос. Железнодорожный), бывшая мануфактурная фабрика И. Понаньского (г. Лодзь, Польша) [3], Севкабель Порт (г. Санкт-Петербург) [1] и др. Все здания ранее являлись заброшенными объектами, однако теперь они являются центрами привлечения туристов и инвесторов, готовых развивать данные проекты для реализации идеи и развития качества жизни и экономики региона.

Ревитализация – важный аспект в развитии экономики региона. Возрождение старых территорий позволяет городу продолжать жить и совершенствоваться, что привлекает туристов и инвесторов [4]. Помимо потенциала увеличения прибыли, ревитализация позволяет развивать историко-культурную часть городской среды, которая повышает уровень туристической привлекательности региона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проект «Севкабель Порт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://prorus.ru/projects/proekt-razvitiya-pribrezhnoj-territorii-zavoda-siemens-halske-sevkabel-port/>. – Дата доступа: 16.09.2024.

2. Ревитализация промышленных зон: казнить нельзя помиловать? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravonagorod.ru/revitalizatsiya-promyshlennyh-zon-kaznit-nelzya-pomilovat/>. – Дата доступа: 16.09.2024.

3. Poland Travel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.poland.travel/en/>. – Дата доступа: 16.09.2024.

4. Зарубежные и отечественные практики ревитализации заброшенных промышленных зон города [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://riorpub.com/ru/nauka/article/70962/view>. – Дата доступа: 16.09.2024.

5. Ревитализация территорий промышленных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://minjkh_old.donland.ru/Data/Sites/5/media/docs/gorsreda/metod/revitalizatsiya-territoriy-promyshlennyh-obekto.pdf. – Дата доступа: 16.09.2024.

6. Понарт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ponarth.com>. – Дата доступа: 16.09.2024.

УДК 372.881.111.1

THE 8 TYPES OF FUN AS MOTIVATIONAL FACTORS IN A TRADITIONAL ENGLISH AS A FOREIGN LANGUAGE CLASSROOM AT A UNIVERSITY

J. V. VASILENKO
Belarusian-Russian University
Mogilev, Belarus

In the ever-evolving framework of education, one constant challenge faced by educators worldwide is the issue of maintaining and enhancing student motivation. In today's fast-paced and technology-driven world, students' levels of engagement and enthusiasm for learning can often fall short of what is desired by teachers. This lack of intrinsic motivation poses a significant obstacle to effective education, as students must be actively involved and invested in their learning process to derive maximum benefits from their academic endeavors.

The impact of learners' enjoyment has been touched upon in an endless number of research papers and practitioner-based reports. The COVID-19 pandemic created the need to investigate the variables that make online learning appealing and pleasant [1] to keep students engaged into learning activities with no one overseeing them directly. It has already been established that the design of fun and engaging teaching activities is a significant factor enhancing students' learning outcomes and sparking their interest [2], and the role of edutainment as a new teaching paradigm cannot be underestimated, as it has been experimentally proved that the 25 % and 50 % forms of edutainment provide the most efficient learning eliciting positive students' response without any decrease of objective educational efficiency [3].

What makes a game “fun”? How do we know a specific type of fun when we see it? Talking about games and play is hard because the vocabulary we use is relatively limited. In describing the aesthetics of a game, we want to move away from words like “fun” and “gameplay” towards a more directed vocabulary [4]. Eight basic types of fun were first presented in “MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research”, by R. Hunicke, M. LeBlanc, and R. Zubec, in 2004. Those types are:

- Sensation – the type of fun focused on engaging the players' target senses directly;
- Fantasy – the type of fun providing a make-believe fantasy world, immersing the player into the gameplay;
- Narrative – the type of fun involving stories that engage the players in the gameplay;
- Challenge – the type of fun derived from the thrill of competition that the players are engaged in;

- Fellowship – the type of fun dependent on the social component of the game, allowing the player to enjoy it through interactions with others;
- Discovery – the type of fun relying on the players' interest and sense of wonder, need to explore;
- Expression – the type of fun focused on the possibility of letting the player to express themselves through the game;
- Submission – the type of fun allowing for the players to build game interaction as an ongoing hobby, rather than an isolated one-time event.

The concept of the 8 types of fun can also be applied to the realm of education to enhance teaching and learning experiences. Each type of fun represents a different motivational factor that can engage students and promote deeper learning. By using these types of fun in non-gamified contexts, such as teaching English as a foreign language, and incorporating them into educational practices, educators can create engaging and effective learning environments that cater to diverse learning styles and interests, ultimately enhancing student motivation, engagement, and knowledge retention.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Exploring the factors making online learning attractive and enjoyable [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/356428912_Exploring_the_factors_making_online_learning_attractive_and_enjoyable. – Date of access: 09.09.2024.
2. **Li, L.** Designing Fun Teaching Activities in Guzheng Education / L. Li // *International Journal of Education and Humanities*. – 2023. – № 9. – P. 1–4.
3. **Sokolova, A.** Edutainment as a New Educational Technology: A Comparative Analysis / A. Sokolova, K. Deviatnikova // *The World of Games: Technologies for Experimenting, Thinking, Learning*. – 2023. – № 830. – P. 302–318.
4. MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/228884866_MDA_A_Formal_Approach_to_Game_Design_and_Game_Research#full-text. – Date of access: 09.09.2024.

УДК 338.24

УПРАВЛЕНЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СБЫТОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В. О. ДЕМИДЕНКО

Научный руководитель Л. В. НАРКЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В аналитических блоках информационно-аналитической системы ППР в управлении сбытовой деятельности ОАО «Лента» по критериям эффективности выявлены диспропорции и резервы роста количественных и качественных параметров сбыта:

– снижение рентабельности реализованной продукции и рентабельности продаж в результате диспропорции между темпами изменения выпуска продукции и затрат на производство продукции, что определило увеличение затратноемкости (в частности, материалоемкости) производимой продукции; между темпами изменения выручки от реализации и себестоимости реализованной продукции, результатом явилось снижение параметров рентабельности продукции и рентабельности продаж; между темпами изменения выручки от реализации и запасов готовой продукции (дебиторской задолженности), что определило негативную тенденцию замедления оборачиваемости запасов готовой продукции и роста сроков инкассации дебиторской задолженности. Данные факты указывают на снижение эффективности сбытовой деятельности предприятия;

– диспропорции, проявившиеся в структурных сдвигах по ассортименту ленточных изделий (наиболее значимая товарная группа сбыта ОАО «Лента»; удельный вес в отгрузках 2022 г. составил 34,4 %), отрицательно повлияли на динамику реализованной продукции. Особенностью сбытовой деятельности выступает многономенклатурность поставок, широкий и глубокий ассортимент изделий: ленточные изделия, плетельные изделия, медицинские перевязочные изделия, гардинные изделия, текстильная застежка «Контакт», погоны, комплекты швейных изделий, прочие изделия. Данный блок требует оптимизации ассортимента производимой и реализуемой продукции и гибкости рыночного реагирования на потребности потенциальных производителей;

– диспропорции по динамике поставок продукции в географических сегментах рынка текстильно-галантерейных изделий. Наиболее крупными рынками сбыта ОАО «Лента» выступают внутренний рынок республики (44,4 % в объемах отгрузки 2022 г.) и рынки России (51,8 %), Украины (2,3 %), Казахстана (0,5 %), Латвии (0,6 %). В 2022 г. отмечено снижение объема сбыта на белорусский рынок, рынок Украины и до этого быстро растущий рынок Казахстана; значительно вырос объем сбыта на российский рынок и динамично растущий рынок Латвии. Продажи по странам имеют значительное разграничение по ассортименту, что определяет структуру каналов распределения на внутреннем рынке и за рубежом. Основными каналами сбыта на внутреннем рынке являются продажи напрямую, через каналы электронной торговли и через фирменную

торговую сеть, доли сбыта которых увеличиваются.

В результате проведенного анализа взаимосвязи выбранных результативных показателей и переменных (факторов) в блоке оценки предпосылок и результатов эффективности управления сбытовой деятельностью в рамках ретроспективного анализа сделаны следующие выводы. На снижение объема отгрузки ленточных изделий за 2021–2022 гг. наибольшее влияние оказало снижение объема реализации в натуральном выражении (размер влияния фактора составил –3684,2 тыс. р.), что было частично компенсировано ростом отпускных цен (размер влияния фактора составил 1 635,0 тыс. р.). Отрицательное влияние также оказало смещение структуры реализации в сторону более дешевых изделий (размер влияния фактора составил –355,4 тыс. р.). Апробация разработанной модели функциональной зависимости динамики рентабельности продаж по факторам материалоемкости, трудоемкости производимой продукции с выходом на цену, объемы реализации, выручку от реализации, прибыль от реализации продукции произведена по группе ленточных изделий на примере лент эластичных с использованием исходных данных оборотно-сальдовых ведомостей по видам прямых затрат, накопленной прибыли, учетным ценам. Снижение рентабельности продаж лент эластичных определено отрицательным влиянием снижения объема реализации в натуральном выражении и повышения затратно-емкости производства продукции; положительное влияние просматривается по фактору роста уровня цен реализации, снижения постоянных расходов, управленческих расходов и расходов на реализацию лент эластичных. Наибольшее отрицательное влияние на снижение рентабельности продаж лент эластичных установлено по факторам: значительного уменьшения натуральных объемов отгрузки (размер влияния фактора составил 19,3 %, что частично компенсировано по кластеру себестоимости и снижению переменных затрат +11,2 %); роста удельных переменных затрат (–12,3 %), в том числе за счет расхода материалов на единицу продукции (–6,2 %), цен на материалы (–2,9 %), удельных затрат на оплату труда (–1,4 %), прочих удельных переменных затрат (–1,8 %). В результате проведенного регрессионного анализа установлена положительная зависимость объема сбыта продукции предприятия с уровнем цифровизации сбыта и отрицательная – с продолжительностью оборота дебиторской задолженности покупателей и уровнем удовлетворенности населения в текстильных изделиях. Увеличение уровня удовлетворенности населения в текстильных изделиях на 1 р./чел. способствует снижению объема сбыта предприятия на 0,8692 р.; продолжительности оборота дебиторской задолженности на 1 день – снижению на 25,8968 р.; уровня цифровизации сбыта на 1 % – увеличению на 524,1061 р. Новизной исследования выступает авторский подход к управленческому анализу сбыта продукции по методике ретроспективного анализа спроектированных моделей взаимосвязи «себестоимость – цена – выручка – прибыль», обеспечивающий целевой вектор роста эффективности сбытовой деятельности в системе устойчивого развития предприятия.

УДК 330.342.23

РОЛЬ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В СТИМУЛИРОВАНИИ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ

А. И. ДУДНИК

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Москва, Россия

Инновационная экономика представляет собой ключевой элемент современного мирового развития, который обеспечивает устойчивый экономический рост, конкурентоспособность и социальное благополучие. В условиях глобализации и цифровизации инновации становятся основным двигателем прогресса, создавая новые рабочие места, способствуя повышению производительности и улучшению качества жизни. Однако инновации требуют значительных ресурсов, институциональной поддержки и эффективных механизмов реализации, что делает участие международных организаций критически важным. Они играют значительную роль в создании условий для развития инновационной экономики, предоставляя финансовую поддержку, разрабатывая регуляторные рамки, способствующие защите интеллектуальной собственности, и содействуя международному сотрудничеству в сфере науки и технологий.

Обращаясь к теоретическим основам, инновационная экономика основана на создании и распространении новых знаний и технологий, которые ведут к структурным изменениям в обществе и экономике. В основе инновационной экономики лежит концепция технологического прогресса, который является движущей силой экономического роста. Исследователи, такие как Йозеф Шумпетер, подчеркивали важность инноваций в формировании новой экономики, где основными факторами производства становятся знания и информация, а не традиционные ресурсы, такие как труд или капитал [4].

ООН и ее специализированные агентства, такие как ЮНИДО и ЮНКТАД, активно участвуют в поддержке инноваций в развивающихся странах. Программы, такие как «Технология и инновации для устойчивого развития», направлены на улучшение доступности технологий и развитие инновационного потенциала стран с низким уровнем дохода. В частности, ЮНКТАД занимается продвижением цифровых технологий и электронного бизнеса, что способствует созданию благоприятной среды для инноваций в развивающихся странах [5].

Всемирный банк и МВФ оказывают финансовую поддержку инновационным проектам в развивающихся странах. Всемирный банк, в частности, финансирует программы, направленные на развитие науки и технологий, а также поддерживает стартапы и малые предприятия, занимающиеся инновационной деятельностью. Одним из таких примеров является программа Innovative Startup Projects, направленная на создание благоприятных условий для развития стартапов в странах с переходной экономикой. Примером успешного инновационного проекта, поддержанного международной организацией, является программа Всемирного банка Tech Startups in Africa. Эта программа направлена на поддержку технологических стартапов в Африке, предоставляя им

финансирование, доступ к менторству и международным рынкам. В результате реализации программы было создано множество успешных стартапов, которые способствовали развитию цифровой экономики в регионе [6].

Европейский союз активно поддерживает развитие инноваций через программы Horizon 2020 и Horizon Europe. Эти программы финансируют научные исследования и разработки, направленные на решение глобальных вызовов (изменение климата, здоровье и цифровизация). В рамках этих программ ЕС также способствует развитию инновационной инфраструктуры и стимулирует сотрудничество между научными учреждениями и бизнесом [3].

АТЭС продвигает инновации через программы, направленные на улучшение бизнес-среды и развитие цифровой экономики в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Одним из ключевых направлений деятельности АТЭС является поддержка МСП в области инноваций, что способствует созданию рабочих мест и экономическому росту в регионе [2].

Африканский союз активно поддерживает развитие науки, технологий и инноваций в Африке. В рамках программы Agenda 2063 Африканский союз стремится создать условия для ускоренного развития инноваций, что должно привести к экономическому процветанию континента. Важным элементом этой программы является поддержка научных исследований и развитие инновационных экосистем в африканских странах [1].

Для усиления роли международных организаций в стимулировании инновационной экономики необходимо улучшить координацию между различными международными институтами и национальными правительствами. Также важно расширять доступ к финансированию и улучшать регуляторные условия для инновационных предприятий. Развитие цифровой инфраструктуры и поддержка образования в области науки и технологий являются ключевыми факторами успеха. Международные организации также должны уделять больше внимания развитию устойчивых инноваций, которые учитывают социальные и экологические аспекты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Africa sustainable development goals progress report. – Addis Araba: UN, 2021. – 102 p.
2. APEC Regional trends and analysis. APEC at 30: a region in constant change. – Singapore: APEC, 2019. – 32 p.
3. Horizon 2020: Final Report. – European Commission, 2020. – 50 p.
4. **Fagerberg, J.** The Future of Innovation Policy: Directionality, Complexity and the Role of State / J. Fagerberg, G. Hutschenreiter // Research Policy. – 2021. – № 50 (9). – P. 10–29.
5. Technology and Innovation Report 2021. – Geneva: UNCTAD, 2021. – 26 p.
6. World Bank Support to Innovation and Entrepreneurship: An Independent Evaluation. – Washington: IEG, 2019. – 200 p.

УДК 339.5

ДЕКЛАРИРОВАНИЕ ТАМОЖЕННОЙ СТОИМОСТИ ВВОЗИМЫХ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОБОРУДОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИЮ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

М. В. ЖАБЕНКО

Научный руководитель И. В. ЦЫКУНОВ, канд. экон. наук, доц.
Белорусский государственный экономический университет
Минск, Беларусь

В современном мире технологическое и инновационное оборудование, а также различные материалы играют ключевую роль в различных секторах промышленности. Необходимость модернизации производства на основе новых технологий и оборудования остро ощущается в каждой из стран ЕАЭС. Например, уровень износа активной части основных фондов в Республике Беларусь находится на отметке 40 %...60 %, в то время как коэффициент обновления основных средств и коэффициент ввода новых средств составляют в 2024 г. 4,6 % и 3,6 % соответственно. В Российской Федерации в разрезе видов экономической деятельности уровень износа машин и оборудования в 2022 г. находился на уровне 63,9 %, а по всем объектам основных фондов – 40,5 % [1, 2].

В составе современного технологического оборудования особое место занимает уникальное новейшее оборудование, воплощающее в своем составе защищенные объекты интеллектуальной собственности в виде патентов, лицензий, торговых марок и пр. Именно такое оборудование в наибольшей степени способно поддерживать международную конкурентоспособность производства и именно оно является мечтой любого растущего бизнеса, в том числе ориентированного на завоевание внешних рынков и рост экспорта.

Декларация таможенной стоимости является неотъемлемой частью декларации на товары. Таможенная стоимость товаров является базой для исчисления адвалорных составляющих таможенных платежей (ввозной таможенной пошлины, налога на добавленную стоимость).

В ЕАЭС применяется шесть методов определения таможенной стоимости ввозимых товаров: по стоимости сделки с ввозимыми товарами (метод 1); по стоимости сделки с идентичными товарами (метод 2); по стоимости сделки с однородными товарами (метод 3); методом вычитания (метод 4); методом сложения (метод 5); резервным методом (метод 6).

Все методы применяются последовательно, если не подходит предыдущий. Однако в большинстве случаев применяются первый и шестой методы определения таможенной стоимости.

Для определения таможенной стоимости ввозимого инновационного оборудования и материалов по стоимости сделки с ввозимыми товарами применяют метод 1. Но для этого нужно соблюсти условия, предусмотренные статьями 39 и 40 главы 5 Таможенного кодекса ЕАЭС [3].

Согласно существующему законодательству, при ввозе новейшего оборудования его таможенная стоимость должна быть увеличена на стоимость лицензии и/или лицензионных платежей, которые в большинстве случаев не всегда известны заранее (например, если они зависят от будущих объемов производства и/или продаж).

Все это требует предварительной работы при определении таможенной стоимости для оплаты ввозной пошлины с последующей тщательной проверкой таможенными органами ее обоснованности. Подобные меры обусловлены тем, что операции с неопределенной начальной таможенной стоимостью отнесены таможенными органами к группам риска, т. е. к тому типу сделок, которые могут приводить к недоплате и/или неуплате таможенных платежей, чем и объясняется повышенное внимание налоговых и таможенных органов к таким ввозимым товарам.

На данный момент нормативно-правовая база предусматривает льготы по уплате ввозных таможенных пошлин (с учетом международных обязательств Республики Беларусь) и налога на добавленную стоимость, взимаемых таможенными органами, при ввозе на территорию Республики Беларусь технологического оборудования, комплектующих и запасных частей к нему для исключительного использования на территории Республики Беларусь в целях реализации инвестиционного проекта [4].

Таким образом, декларирование таможенной стоимости ввозимых товаров, в том числе различных инновационных материалов и оборудования, имеет важное значение для экономики государства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Промышленность Республики Беларусь, 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.belstat.gov.by / ofitsialnaya-statistika / realny-sector-ekonomik i / promyshlennost / publikatsii_13/index_101057/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomik-i-promyshlennost/publikatsii_13/index_101057/). – Дата доступа: 07.09.2024.

2. Основные фонды и другие нефинансовые активы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rosstat.gov.ru/folder/14304/>. – Дата доступа: 07.09.2024.

3. Таможенный кодекс Евразийского экономического союза (Приложение № 1 к Договору о Таможенном кодексе Евразийского экономического союза) [Электронный ресурс]: вступил в силу 1 янв. 2018 г.: в ред. от 29.05.2019 г. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: [https://pravo.by / document / ?guid=3871&p0=F01700314](https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=F01700314). – Дата доступа: 07.09.2024.

4. Комментарий к Закону Республики Беларусь от 12 июля 2013 г. № 53-З «Об инвестициях» (в ред. Закона Республики Беларусь от 8 янв. 2024 г. № 350-З «Об изменении Закона Республики Беларусь «Об инвестициях») [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nalog.gov.by/clarifications/comments/23862/>. – Дата доступа: 07.09.2024.

УДК 338.242

ПРОЕКТНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

Т. А. ЖАРЕЙКО

Научный руководитель Л. В. НАРКЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В рамках выполненного исследования произведен подробный анализ инновационно-инвестиционного проекта ОАО «Могилевхимволокно» по производству кордной ткани. В ходе аналитического проектирования установлено, что перспективным направлением для инновационного развития ассортиментной линейки ОАО «Могилевхимволокно» является техническая нить.

В шинной промышленности Республики Беларусь имеет место дефицит кордной ткани, которая импортируется в основном из Российской Федерации. Одновременно в ОАО «Могилевхимволокно» отмечен низкий уровень загрузки на производственном участке технической нити, которая является основным сырьем производства корда. Рекомендован инновационно-инвестиционный проект производства текстильного корда в рамках перехода к Индустрии 4.0 с требованиями высокого уровня цифровых трансформаций на условиях частно-государственного партнерства правительственных программ импортозамещения.

Для запуска производства кордной ткани необходимо приобрести каландровую линию для текстильного корда; инвестиционные расходы на покупку, демонтаж, установку и пусконаладочные работы оценены в размере 660 тыс. р.

Экономическая эффективность инновационно-инвестиционного проекта производства текстильного корда определена по направлениям:

– проект имеет статус импортозамещения в рамках государственных программ и претендует на государственную поддержку в финансировании производства кордной ткани внутри страны (снижение затрат единовременных и текущих);

– повышение загрузки производственной мощности в сегменте производства технической нити;

– оптимизация запасов готовой продукции на складах, что повлечет за собой ускорение оборачиваемости запасов готовой продукции и увеличение прибыли;

– расширение ассортимента продукции, рост объемов отгрузки и прибыли предприятия;

– внедрение новых технологий и процессов способствует инновационному развитию предприятия;

– цифровое производство обеспечит создание многоуровневой интегрированной ИТ-инфраструктуры, преобразование множества горизонтальных и вертикальных бизнес-процессов, оптимизацию операционной деятельности, изменение устоявшихся моделей и форматов взаимодействия между участниками цепочки создания добавленной стоимости предприятия.

Ожидается, что в течение пяти лет среднегодовой темп роста рынка шинных кордных тканей составит более 5 %. Основным фактором развития исследуемого рынка является растущий спрос на кордные ткани для шин в автомобилестроении.

Прогнозируется, что растущий спрос на экологически чистые шины со стороны автомобильной промышленности откроет различные возможности для роста рынка в течение пяти лет. За основу сравнения основных показателей была взята кордная ткань марки 123 КНТС трех производителей (ОАО «Могилевхимволокно», ПАО «КуйбышевАзот», АО «ТЕКСКОР»). Результаты сравнения основных характеристик кордной ткани показали значительные конкурентные преимущества ОАО «Могилевхимволокно» по параметрам разрывной нагрузки (Н, кгс), удлинения при разрыве (%), термостойкости (%), жесткости (гс), цене. Основными конкурентами в рамках проекта рассмотрены зарубежные компании: производители Российской Федерации (ПАО «КуйбышевАзот», АО «ТЕКСКОР»); Kolon Industries (Сеул, Южная Корея); Kordsa Global (Турция); Hyosung Corporation (Мапхогу, Сеул, Южная Корея); Корпорация Бекарт (Липецкая область, Грязинский район); Firestone Fibers & Textile Company (США); Cordenka GmbH & Co. KG (Германия); Kordarna Plus AS (Словакия); Teijin Ltd (Тиёда, Токио, Япония); Tokusen USA (США); Milliken & Co (США).

Расчет прогнозных показателей основывается на следующих допущениях: дата начала реализации инвестиционного проекта – 2025 г.; горизонт прогнозирования принят равным пяти годам; шаг отображения информации в расчетах принят равным одному году. Исходным пунктом разработана программа производства и реализации продукции в натуральном выражении, в соответствии с которой нормативным методом спроектированы затраты на производство и реализацию продукции; выполнен перспективный анализ динамики прибыли по проекту.

Результаты проектирования прибыли по проекту представлены на рис. 1.

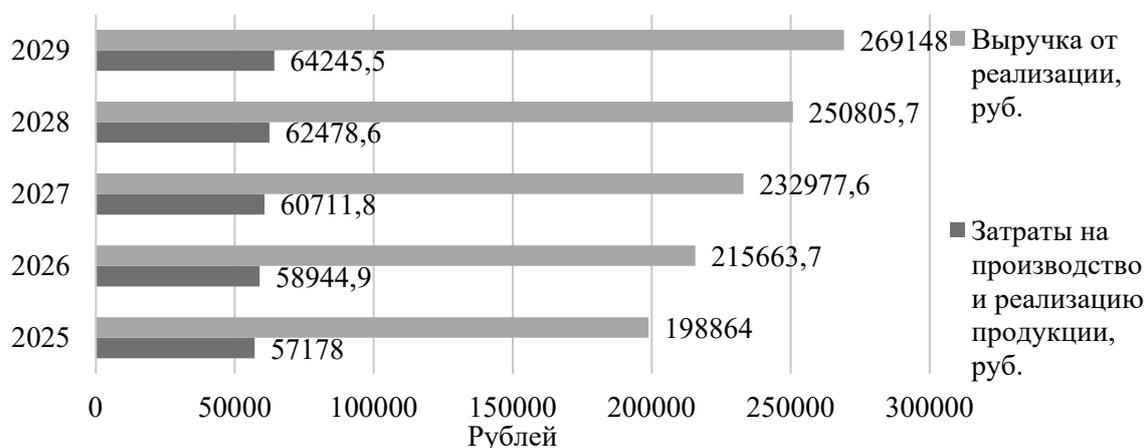


Рис. 1. Перспективный анализ инновационно-инвестиционного проекта в системе «выручка от реализации – затраты – прибыль»

Произведен динамический анализ параметров эффективности инновационно-инвестиционного проекта: чистый дисконтированный доход проекта составляет 147 933,15 р.; внутренняя норма прибыли – 38 %, индекс доходности выше 1,12; срок окупаемости проекта – 3,3 года. Приведенные данные указывают на высокий уровень доходности и инвестиционной привлекательности проекта.

УДК 338.24

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ ФИНАНСОВОЙ
УСТОЙЧИВОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ

С. В. ЖУКОВА

Научный руководитель Л. В. НАРКЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В блоке финансового анализа деятельности ОАО «Булочно-кондитерская компания «Домочай» установлено снижение параметров финансовой устойчивости, что в системе с производственными факторами требует разработки организационно-технических мероприятий на базе инноваций с программно-целевым вектором роста прибыли. Дополнительные аналитические расчеты показали высокий уровень изношенности оборудования, что затрудняет организацию выпуска продукции на высоком технологическом уровне.

Рекомендован проект обновления изношенного оборудования на участке производства хлебобулочных изделий: замена тестомесительных машин фирмы TOPOS T-750 на центр замеса T-300 МЦ. Внедрение прогрессивного высокопроизводительного оборудования с программным обеспечением позволит гибко перейти на новые технологии и повысить качество производства хлебобулочных изделий. Применение центра замеса T-300МЦ производства фирмы TOPOS гарантирует высокое качество управления центром, обеспечивает его надежную и бесперебойную работу.

Основой центра является проверенный длительной эксплуатацией спиральный тестомес T-300; возможен режим автоматического замеса, а также две скорости: вперед и назад. Центр замеса T-300 МЦ имеет следующие характеристики: многоходовой клиновый ремень обеспечивает бесшумную работу машины; гидравлическая система (имеет и ручной насос) для поднятия месильного органа и опрокидывания дежи; пульт управления Allen-Bradley MicroLogix PLC (по желанию Simens или Mitsudichi) с большим цифровым дисплеем для простого включения запрограммированных рецептов или ручного управления; крышка дежи из нержавеющей стали с уплотнением обеспечивает снижение запыленности и предохраняет тесто от нежелательного загрязнения; совместим с дозировочным оборудованием и тестомесом.

Экспертно-параметрическая оценка значимости рассматриваемых видов оборудования позволила определить средний взвешенный интегральный показатель качества и технический уровень качества в пользу центра замеса T-300 МЦ: показатель уровня качества центра превышает базовое тестомесительное оборудование на 0,23 пункта.

Перспективный анализ эффективности внедрения инвестиционного проекта включил следующие этапы: расчет производительности оборудования с учетом режима работы предприятия, загрузки тестомесов на участке производства

хлебобулочных изделий; корректировка объемов производства в соответствии с технологическими разрывами замеса теста по сортаменту выпускаемых изделий; перспективный анализ в системе «выручка от реализации – затраты – прибыль»; перспективная линейка прибыли по гибкому бюджету с учетом роста загрузки проектной мощности оборудования; расчет динамических параметров эффективности инвестиционного проекта на базе дисконтирования денежных потоков.

Произведен расчет экономии затрат по статьям: энергия на технологические нужды (экономия 5256 кВт/год или 2102,4 р.); заработная плата основных производственных рабочих (годовая экономия по фонду оплаты труда на 4129,24 р.); отчисления на социальные нужды. Обозначено снижение накладных расходов на единицу продукции в соответствии с ростом объемов производства продукции. По результатам перспективного анализа прироста прибыли от продаж после внедрения нового тестомесильного оборудования отмечено, что величина затрат на рубль реализованной продукции до модернизации на период 2024 г. составила 0,708 р., а после модернизации значение показателя снизилось до значения 0,63 р., прибыль от продаж на протяжении прогнозируемого периода растет. Так, к 2027 г. прогноз значения составил 45702 тыс. р., а прирост прибыли после модернизации относительно базового периода принял значение 22365 тыс. р. в прогнозируемом 2027 г. Чистая дисконтированная стоимость за счет замены тестомесительного оборудования Т-750 на Т-300 МЦ определена в размере 6766,22 тыс. р. Внутренняя норма прибыли инвестиционного проекта составляет 37,65 %. Индекс доходности составил 1,60 пункта. Срок окупаемости при замене старого оборудования на новое составит 1,85 года. По результатам проектной части представлен проект бухгалтерского баланса и рассчитаны параметры финансового аналитического блока: коэффициент текущей ликвидности до внедрения предложенных мероприятий составил 1,214 пункта, с учетом предложенных мероприятий наблюдается его рост до значения в 1,495 пункта (норма 1,5–2); коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами после внедрения мероприятий составит 0,331 пункта, что на 0,155 пункта больше, чем значение показателя до предложенных мероприятий; коэффициент финансового левериджа после предложенных мероприятий незначительно уменьшился, на 0,142 пункта, благодаря увеличению собственных средств и составил 0,746 пункта, что предотвращает риски банкротства предприятия ОАО «Булочно-кондитерская компания «Домочай» и свидетельствует о повышении финансовой надежности организации.

Таким образом, проект обновления основных средств производственной системы на участке выпуска хлебобулочных изделий ОАО «Булочно-кондитерская компания «Домочай» приведет к росту финансовой устойчивости.

УДК 330.322

АНАЛИЗ ПОТОКА ИННОВАЦИЙ КАК ОСНОВА ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ И ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Е. А. КИРИЛЛОВА

Филиал «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Инновации в рамках экосистемного взаимодействия создаются посредством сложной и непрерывно развивающейся динамики взаимоотношений отдельных производственно-хозяйственных субъектов. В рамках текущего сокращения ресурсных возможностей, деглобализационных тенденций эффекты масштаба и синергии становятся приоритетными [1]. Экосистемный подход получения всего комплекса товаров работ и услуг в одном месте и в одно время на основе цифровых технологий [2, 3], в свою очередь, существенно усиливает их. Вместе с тем в инструментах анализа и оценки экосистемных форм практически не учитывается потоковый характер инноваций, обуславливающий и обеспечивающий процесс создания добавленной стоимости [4]. Именно такое его рассмотрение позволяет формировать системное представление об экосистеме, ее результативности, сохраняя динамику ее измерений.

Формирование единого циклического спирального потока инноваций на основе результатов интеллектуальной деятельности (РИД) позволит обеспечивать объективную основу для реформатирования цепочек создания стоимости отечественных промышленных предприятий при сохранении эффективности и возможностей роста. В таком случае данная деятельность будет направлена не только на формирование альтернативного предложения в уже возникших «узких» местах («догоняющая практика»), но и освоение новых продуктов и услуг в стратегически важных направлениях («опережающая практика»). РИД, как ядро потока инноваций и формирования спирали, способствует увязке научно-исследовательских и производственно-хозяйственных процессов, сокращая время на коммуникацию и способствуя формированию предложения именно того качества, именно в те сроки и в том месте, где возникает в нем потребность. При этом потоковый циклический характер современных инноваций раскрывается в спиральной цепочке создания стоимости для наращивания потенциала каждого из участников, где, двигаясь по ее витку, каждое нововведение является ее продолжением, но, набрав силу, способствует переходу всего объединения на следующий виток.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 23-78-01197).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гамидуллаева, Л. А.** Методика комплексной оценки потенциала промышленной экосистемы в контексте устойчивого развития региона / Л. А. Гамидуллаева, Т. О. Толстых, Н. В. Шмелева // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2020. – № 2. – С. 29–48.
2. **Кириллова, Е. А.** Перспективы формирования инновационных экосистем в промышленности / Е. А. Кириллова, М. И. Дли // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. – 2022. – № 2 (34). – С. 80–94.
3. Matters of economic ecosystem classification / G. V. Chernova [et al.] // Journal of Applied Informatics. – 2021. – Vol. 16, № 1. – P. 69–82.
4. **Заенчковский, А. Э.** Основы логистики интеграционных процессов в инновационно-ориентированных структурах / А. Э. Заенчковский // Научное обозрение. – 2012. – № 6. – С. 614–618.

УДК 330.322

МЕХАНИЗМ ГОСЗАКУПКИ КАК ИНСТРУМЕНТ СТИМУЛИРОВАНИЯ СПРОСА НА ИННОВАЦИИ

Е. П. МАЛЕВИЧ, Е. А. КИРИЛЛОВА

Филиал «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Государство играет важную роль в научно-технологическом и инновационном развитии, влияя на выбор направлений, обоснование приоритетов, выделение, распределение и контроль расходования ресурсов в различных формах [1, 2]. Сейчас в данной сфере мобилизованы не только финансовые, но и другие виды ресурсов. Это позволяет говорить, что существенная доля спроса на инновации сосредоточена в сфере государственных потребностей. В 2022 г. российские производители создали инновационных товаров, работ, услуг на сумму 6,4 трлн р., из них 11,1 % – по государственным и муниципальным контрактам [3].

Одним из инструментов их удовлетворения является механизм госзакупок. Реализация данного механизма предполагает приобретение товаров, работ и услуг непосредственно государственными структурами или для удовлетворения потребностей государства. С другой стороны, можно выделить косвенный эффект, т. к. такое воздействие на производственно-хозяйственную систему, выражаемое в форме запроса на приобретение товаров, работ услуг для удовлетворения конкретных потребностей, нацеливает разработчиков и производителей на создание определенного нового продукта с конкретно заданными функциями и свойствами, формируя спрос на него и тем самым стимулируя создание инноваций [4]. Действие механизма строится на взаимодействии между значительным числом производственно-хозяйственных субъектов. Эволюция функции закупок формирует новые возможности для государственного и частного сектора, сохраняя его прозрачность и открытость. Также с помощью госзакупок государством могут создаваться новые рынки в перспективных, но не обладающих пока достаточным спросом областях, поддерживаться существующие нишевые и социально значимые рынки. Использование процедур закупок для стимулирования инноваций позволяет существенно расширять масштаб воздействия по сравнению финансированием НИОКР [5]. В то же время в существующих инструментах государственной политики в области инноваций можно выделить ряд точек потенциального роста эффективности с учетом изменений во внешних условиях и самих производственно-хозяйственных субъектов.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 23-78-01197).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Заенчковский, А. Э.** Особенности логистики инновационной деятельности государственных органов с использованием рыночных инструментов регулирования / А. Э. Заенчковский // Вопросы экономики и права. – 2012. – № 53. – С. 121–125.
2. **Голубев, С. С.** Применение технологий искусственного интеллекта в научно-технологическом прогнозировании / С. С. Голубев, А. Л. Афанасьев, А. В. Курицын // Прикладная информатика. – 2022. – Т. 17, № 4 (100). – С. 57–74.
3. Индикаторы инновационной деятельности: 2024: стат. сб. – Москва: НИУ ВШЭ, 2024.
4. Public procurement, innovation and industrial policy: Rationales, roles, capabilities and implementation / E. Uyerra [et al.] // Research Policy. – 2020. – Vol. 49, iss. 1. – P. 103844.
5. **Lenderink, B.** Innovation and public procurement: from fragmentation to synthesis on concepts, rationales and approaches / B. Lenderink, J. I. M. Halman, H. Voordijk // Innovation: The European Journal of Social Science Research. – 2022. – Vol. 35. – P. 650–674.

УДК 338.26

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СТЕКОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

А. В. МАТУШАНСКИЙ

Научный руководитель С. В. ФЕДОСЕЕВ, д-р экон. наук, доц.
Институт экономических проблем имени Г. П. Лузина
Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН»
Апатиты, Россия

В 2023 г. распоряжением Правительства утверждена обновленная версия «Сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года» [1].

Обеспечение экономической устойчивости предприятий обрабатывающей промышленности в совокупности с ростом ее конкурентоспособности и повышением технологического суверенитета выступают как фундаментальные целевые установки вышеупомянутой стратегии.

Стратегические цели развития промышленности во многом связаны с формированием отраслей высокотехнологичной продукции, обеспечением технологического суверенитета, повышением уровня продовольственной безопасности [2].

Стратегический анализ в отраслевом разрезе позволяет осуществить поиск перспектив и угроз устойчивого функционирования промышленных предприятий, а также определить потенциал, способный развивать сложившийся в последние годы технико-технологический и организационно-управленческий задел [3].

Предприятия стекольной промышленности выпускают листовое (строительное) стекло, стеклянную упаковку (стеклотару), специальные стекла (в том числе многослойные, бронированные, зеркальные и др.), а также разнообразные изделия для бытового использования (сортовое стекло).

Стратегические цели стекольной промышленности гармонизированы с национальными целями развития, сформулированными в Указе Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [4].

Стратегические перспективы развития отрасли станут более осязаемыми благодаря развитию следующих инициатив:

- налаживание серийного производства продукции высокой степени локализации на основе собственных технологических линий;
- обоснование и внедрение эффективных организационно-экономических мероприятий по стимулированию долгосрочного внутреннего спроса;
- развитие комплекса взаимодополняющих научно-практических исследований;
- повышение эффективности использования материальных и человеческих ресурсов в рамках всей производственно-технологической цепочки;

– создание отраслевых научно-образовательных центров компетенций.

Первый отраслевой центр компетенций (в части производства стеклянной тары) уже формируется в России на базе АО «Красное Эхо», Научно-исследовательского института «Центр экологической промышленной политики», Гусевского стекольного колледжа имени Г. Ф. Стеклова, Владимирского государственного университета имени Столетовых [5].

Важнейшим стратегическим приоритетом развития стекольной промышленности выступает технологическое развитие. Стратегические перспективы и направления развития стекольной промышленности целесообразно обосновывать посредством разработки организационно-экономического механизма, который должен четко идентифицировать принципы и подходы к решению отраслевых проблем, объединять в единую систему методы и инструменты, способствующие решению организационных, технико-технологических, экономических задач производства. Кроме того, представляется важным формировать комплекс взаимоувязанных мероприятий, способствующих поступательному развитию отрасли, обеспечивая при этом ее устойчивое развитие.

Институты развития, предусмотренные для обрабатывающей промышленности, также необходимо обозначить в рамках формируемого организационно-экономического механизма. Представляется важным разработать классификацию инструментов стимулирования и мер государственной поддержки технологического развития стекольной промышленности. Институциональные преобразования будут, в свою очередь, способствовать повышению ресурсной эффективности и организационно-технологической трансформации для решения стратегических задач на предприятиях стекольной промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2030 года и на период до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации, 6 июня 2020 г., № 1512-р (в ред. от 7.11.2023 г.).
2. Carbon Footprint of the Life Cycle of Glass Containers / O. V. Golub [et al.] // *Glass and Ceramics*. – 2022. – Vol. 79, iss. 7–8. – P. 306–311.
3. **Неволин, А. Е.** Стратегический анализ горнометаллургических компаний: учет социально-экологических факторов / А. Е. Неволин, А. Е. Череповицын // *Экономика промышленности*. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 7–19.
4. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: Указ Президента Российской Федерации, 7 мая 2024 г., № 309.
5. Создание инновационного научно-технологического центра в кластере предприятий стекольной отрасли для выполнения целей концепции технологического развития Российской Федерации / Д. Х. Михайлиди [и др.] // *Экономика устойчивого развития*. – 2023. – № 3 (55). – С. 46–50.

УДК 631.16

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЮ

А. Н. МОХОВЦОВА

Научный руководитель О. Д. МАКАРЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Целью проведенного исследования является разработка практических рекомендаций по повышению эффективности стратегического управления могилевского промышленного предприятия ОАО «Ольса». В результате аналитического изыскания установлено, что основным материалом при производстве продукции ОАО «Ольса» являются стальные трубы, которые закупаются у поставщиков из Российской Федерации, цены которых хоть и ниже уровня цен поставщиков Республики Беларусь, но их использование в исследуемом периоде привело к значительному росту импорта и сокращению программы импортозамещения. Такая высокая зависимость от импорта может создавать риски нестабильных поставок и колебаний цен, в результате чего конкурентоспособность производителя может быть снижена как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Аналитика рынка показывает, что наиболее устойчивыми будут те бизнес-модели, которые в полной мере используют производственный потенциал для выпуска изделий в рамках импортозамещения и увеличения локализации производства.

Переход на производство собственных стальных труб может рассматриваться как стратегическое решение для снижения рисков, укрепления технологической независимости и повышения конкурентоспособности ОАО «Ольса». Для организации производства по изготовлению электросварных труб требуется закупка оборудования стоимостью 2,5 млн р. После организации высокотехнологичного производства по изготовлению электросварных труб предприятие ОАО «Ольса» может сэкономить 577,95 тыс. р. в годовом исчислении за счет снижения себестоимости изготавливаемой продукции.

Результаты расчета показателей эффективности предлагаемого проекта позволили сделать вывод о том, что в пределах изучаемого временного периода проект не только окупится, но и принесет дополнительный доход в размере 797,6 тыс. р., норма прибыли составит 23,23 %, внутренняя норма доходности – 16,6 %. Снижение годовых затрат на производство продукции обеспечивает окупаемость оборудования за 4,5 года. Эти сроки являются приемлемыми для проекта подобного масштаба.

Таким образом, рассматриваемый проект является экономически эффективным. Успешная реализация проекта по организации собственного производства электросварных труб может стать важным конкурентным преимуществом предприятия ОАО «Ольса» и обеспечить долгосрочную устойчивость развития.

УДК 331.108.26

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. И. НИКОЛАЕНКО, У. Е. АГОРОДНИКОВА
Научный руководитель О. Д. МАКАРЕВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Актуальность совершенствования кадровой политики в промышленных организациях Беларуси обусловлена желанием повышения конкурентоспособности и устойчивого развития бизнеса. В рамках научной работы был проведен анализ трудового потенциала и системы управления им на примере ОАО «Ольса», по результатам которого установлено, что проблема старения персонала в данный момент стоит очень остро и требует значительного внимания. Так, в 2022 г. наибольшую долю работников занимают сотрудники в возрасте от 40 до 50 лет.

В ходе опроса сотрудников отдела кадров предприятия было выяснено, что для привлечения новых сотрудников организация использует сеть Интернет, где размещает информации о вакансиях. Они публикуют вакансии на официальном сайте ОАО «Ольса» и на rabota.by, в то время как молодежь ищет работу на различных онлайн-платформах и проводит много времени в социальных сетях.

При анализе процесса отбора кандидатов в организацию было отмечено, что отдел кадров не объясняет карьерные перспективы и возможности обучения, что является важным для молодых людей. Это указывает на то, что политика организации по найму кандидатов не соответствует потребностям молодежи. Также были выявлены проблемы с системой отбора персонала: подбор персонала только в случае крайней необходимости; отсутствие четко сформулированных требований к работнику; высокий уровень субъективности при оценке кандидатов. Все это увеличивает вероятность найма неподходящих на роль сотрудников.

Для решения данных проблем были предложены следующие мероприятия:

- расширение каналов привлечения сотрудников;
- введение новой системы маркетинга вакансий;
- введение психологического тестирования при отборе кандидатов.

Для улучшения внутренних коммуникаций и контроля за рабочей средой предприятия предлагается внедрить корпоративный портал, затраты на который составят 3 100 р. Внедрение системы окупается путем сокращения персонала в отделе кадров и подготовки кадров, поскольку большинство функций, выполняемых работниками, станет автоматизированным. Штат отдела насчитывает одного руководителя отдела и 7 подчиненных. После внедрения системы предлагается оставить 5 подчиненных, функции остальных будут автоматизированы. При расчете экономического эффекта было выявлено, что данное мероприятие способствует увеличению среднегодовой выработки на 5,02 %, что свидетельствует об эффективности предлагаемых мероприятий.

УДК 338.33 (674.8)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИННОВАЦИОННЫХ МАЛОТОННАЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н. А. ПЕТРОВА

Научный руководитель С. Е. СУКОНКИН
Санкт-Петербургский филиал Финансового университета
при Правительстве Российской Федерации
Санкт-Петербург, Россия

Примером успешной эффективной работы комплексных лесоперерабатывающих предприятий с размещением на одной производственной площадке до 10 видов производств по переработке древесины в России являются Братский, Усть-Илимский и Сыктывкарский многотоннажные лесопромышленные комплексы, успешно работающие уже более 50 лет. Именно они в первую очередь были приобретены иностранными компаниями.

В отличие от вышеприведенных примеров, в макси-ЛПК, где объемы перерабатываемой древесины – 5...6 млн м³, в предлагаемом проекте строительства мини-ЛПЗ объем перерабатываемой древесины составляет 0,2...0,5 млн м³, что позволяет значительно (в 10–15 раз) уменьшить удельные капитальные вложения с 2000...6000 долл. на 1 т товарной продукции до 200...250 долл. Как следствие, сокращается срок окупаемости завода от 10–15 лет в макси-ЛПК до не более 3–4 лет в мини-ЛПЗ.

Экономический эффект мини-ЛПЗ объясняется следующими факторами.

1. Меньше капитальные вложения для строительства зданий и сооружений, социальной и инженерной инфраструктуры.

2. Безвозвратные экономические затраты, связанные с уборкой неиспользуемых лесосечных отходов; транспортные расходы на перевозку древесного сырья, которое содержит будущие отходы переработки; утилизация образующихся отходов на всех стадиях. Штрафы за плохую уборку лесосечных отходов и долговременное хранение любых видов древесных отходов (кусковые, опилки, кора и т. п.).

3. Минимальные затраты экологической безопасности работы мини-ЛПК за счет сравнительно малых объемов производства.

4. Минимизация затрат на создание инфраструктуры.

5. Уменьшение площади лесосырьевой базы, что позволяет экономить на строительстве и содержании дорог, транспортных затратах на доставку древесины лесосек и пожарной безопасности арендованных лесов, и проведение лесовосстановительных работ.

6. Увеличение удельной прибыли продукции мини-ЛПК за счет полноценного использования отходов от единицы заготовленного 1 м³ древесины как минимум в 2 раза, т. к. для производства пиломатериалов требуется от 2 м³ древесины на 1 м³ пиломатериалов и до 5,5 м³ на 1 т целлюлозы.

7. Использование меньшей в десятки раз производственной площади с затратами на строительство зданий и сооружений, освоение лесосырьевой базы – затраты 1...2 млрд р. (мини-ЛПК) против 400...600 млрд р. (макси-ЛПК).

8. Сокращение сроков окупаемости вложенных инвестиций.

9. Низкий класс опасности применяемых при производстве реагентов, что позволяет снизить или полностью избежать затрат на обеспечение экологической безопасности.

10. Равномерное освоение территории региона и обеспечение занятости местного населения.

11. Интенсивная модель переработки лесных ресурсов за счет использования доступной, невостребованной на данный момент низкотоварной и лиственной древесины, находящейся в зоне экономической доступности, т. е. отсутствуют затраты на расширение транспортной доступности лесосырьевой базы.

12. Увеличение материалотдачи от использования древесных и недревесных ресурсов за счет комплексной и глубокой их переработки.

Виды рекомендуемых к применению инновационных технологий, которые позволяют достичь вышеперечисленный экономический эффект.

1. Переработка древесной зелени (лесосечные отходы) на кормовую добавку и позднее – на лекарственные и косметические препараты.

2. Переработка низколиквидной лиственной древесины и отходов лесопиления и деревообработки на производство механической целлюлозы (ЭХТММ) с последующей ее переработкой на бумагоделательной машине (БДМ) с производством целого ряда товарной продукции. Без добавок в прямом варианте может продаваться как оберточная бумага с незначительным процентом добавленной покупной сульфатной целлюлозы, так и упаковочная, гофрированная бумага, поверхностные слои картона (гофрированные картонные ящики), бумажные пакеты. Литая упаковочная тара производится непосредственно из механической целлюлозы без использования БДМ. В результате переработки указанных отходов на изготовление вышеперечисленной товарной продукции рентабельность производства возможно увеличить до 100 %.

3. Любые виды древесных отходов после измельчения их перерабатываются на специальном угольном оборудовании с получением порошкового угля (биочара-мелиоранта и удобрения с/х почв). При установлении дополнительного оборудования производятся топливные и металлургические брикеты или активированный уголь.

4. При производстве угля, используя выбрасываемое тепло, можно дополнительно получить около 1 МВт энергии в 1 ч, причем сам процесс пиролиза древесины с получением угля происходит без использования электроэнергии.

5. При внеплощадной очистке сточных вод при использовании анаэробной технологии от производства механической целлюлозы (ЭХТММ) также можно получать дополнительно 1 МВт электроэнергии в 1 ч.

УДК 330.522.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОСНОВНЫМИ
СРЕДСТВАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. В. ПРОХОРОВА

Научный руководитель О. Д. МАКАРЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В современных условиях отечественное промышленное предприятие, такое как ОАО «Зенит», взятое для исследования, для развития экономической деятельности требует рационального использования и систематического обновления основных средств. Для оценки необходимости решения данного вопроса был проведен анализ состояния и эффективности использования основных средств, который показал, что за исследуемый период наблюдаются значительные изменения показателей эффективности использования основных средств. Несмотря на проводимое техническое перевооружение ОАО «Зенит», износ активной части основных средств является высоким, что свидетельствует о необходимости внедрения нового современного высокопроизводительного оборудования, такого как автоматическая линия поверхностного монтажа конвейерного типа.

Одним из основных направлений деятельности ОАО «Зенит» является разработка и производство электротехнических изделий системы управления лифтом, для производства которых необходимы печатные платы. Однако в настоящее время на исследуемом предприятии имеется узкое место по монтажу электронных компонентов на печатную плату. Таким образом, целью внедрения автоматической линии поверхностного монтажа является замена ручного труда, что будет способствовать снижению себестоимости продукции, повышению ее качества и увеличению производственной мощности предприятия.

Проведенные расчеты показали, что годовой экономический эффект от внедрения автоматической линии поверхностного монтажа составит более 880 тыс. р. с учетом затрат на амортизацию, увлечения годовой программы и значительного снижения трудоемкости. Ввод в эксплуатацию автоматической линии позволит сократить труд рабочих ОАО «Зенит» на участке изготовления функциональных узлов за счет снижения трудоемкости сборки печатных плат. Высвободившиеся единицы можно перевести на другие участки, требующие наличие работников соответствующей квалификации, что позволит увеличить производительность цехов.

Результаты оценки эффективности использования инвестиционных ресурсов показали, что простой срок окупаемости составит 2,24 года, динамический – 2,51 года, чистый дисконтированный доход – 194727,19 р. Таким образом, прогресс механизации труда позволил высвободить трудовые ресурсы, заменив их SMD-установщиками, которые ускоряют процессы производства, обеспечивая высокую точность и высокое качество печатных плат и изделий, в состав которых они входят.

УДК 65.011.12

ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ РЕСУРСНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ
ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВВ. В. РУДОМАЗИН¹Научный руководитель Н. В. ШМЕЛЕВА², д-р экон. наук, доц.¹ Научно-исследовательский институт «Центр экологической
промышленной политики»²Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
Москва, Россия

Управление ресурсной эффективностью (РЭ) на предприятии – это совокупность стратегических решений, принимаемых на основе результатов оценки существующих вызовов и трендов, стратегических государственных и отраслевых приоритетов и анализа потенциала предприятия. Стратегия повышения РЭ реализуется через последовательную технологическую модернизацию процессов производства и разработку и внедрение эколого-технологических проектов с участием других организаций [1].

Первоочередным стратегическим документом является Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. [2], устанавливающий национальные цели развития страны. Достижение экологического благополучия [2] требует поэтапного снижения эмиссий загрязняющих веществ и формирования экономики замкнутого цикла, что невозможно без повышения РЭ, совершенствования технологических процессов и налаживания взаимодействия предприятий различных отраслей.

В «Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» [3] указано, что в рамках глобальных трендов устойчивого развития все большую значимость приобретают задачи повышения РЭ (прежде всего – в ресурсоемких отраслях, таких как производство металлов, химических веществ и строительных материалов). При этом необходимо учитывать сбалансированность экологических, социальных и управленческих факторов при разработке бизнес-стратегий предприятий.

Выпущенная в 2023 г. «Концепция технологического развития на период до 2030 года» определяет «таксономию проектов технологического суверенитета» как перечень приоритетов и критериев для отбора технологических проектов [4]. Ключевую роль играют проекты в сфере разработки новой высокотехнологичной продукции, машиностроения, а также строительства. В 2023 г. была уточнена и «Сводная стратегия развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации» [5]. На базе этих документов должны разрабатываться стратегии технологического развития предприятий, соответствующие национальным целям и принципам устойчивого развития.

Основным инструментом для оценки показателей РЭ являются информационно-технические справочники по наилучшим доступным технологиям (ИТС НДТ) [6], разработанные для ключевых отраслей экономики, в том числе

для промышленности строительных материалов (производства цемента, извести, стекла, строительной керамики).

Стратегия предприятия по повышению РЭ производства должна основываться на принципах НДТ и реализовываться последовательно для достижения более прогрессивных показателей. Следует обеспечить также разработку политики предприятия в области вовлечения в производство вторичных ресурсов. В принятии управленческих решений по повышению РЭ ИТС НДТ играют определяющую роль на каждом этапе жизненного цикла производства строительных материалов.

Планирование конкретных мероприятий, контроль их выполнения, а также оценка достижения целей осуществляются в рамках систем экологического (СЭМ) и энергетического менеджмента (СЭнМ). Важно, что в ИТС НДТ установлены предельные показатели эмиссий загрязняющих веществ и целевые показатели потребления ресурсов, т. е. для промышленности строительных материалов создана, по определению Д. О. Скобелева, «система координат», позволяющая оценить улучшения, достигнутые предприятием в части повышения экологической и ресурсной эффективности производства [7].

Особую значимость эти показатели имеют для ресурсоемких отраслей (в том числе для производства цемента, извести, стекла, строительной керамики), предприятия которых, стремящиеся соответствовать национальным целям, не могут не совершенствовать подходы к управлению ресурсной эффективностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Complex Approach to Environmental and Technological Project Management to Enhance the Sustainability of Industrial Systems / L. Gamidullaeva [et al.] // Systems. – 2024. – Vol. 12. – P. 261.
2. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: Указ Президента Российской Федерации, 7 мая 2024 г., № 309.
3. Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года: распоряжение Правительства Российской Федерации, 29 окт. 2021 г., № 3052-р.
4. Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации, 20 мая 2023 г., № 1315-р.
5. Об утверждении Сводной стратегия развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2030 года и на период до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации, 6 июня 2020 г., № 1512-р.
6. The Concept of Best Available Techniques as an Instrument for Increasing Industrial Resource Efficiency and Reducing Environmental Impact in the Arctic / K. Shchelchikov [et al.] // RusEcoCon-2022. – 2022. – Vol. 1061. – P. 012010.
7. **Скобелев, Д. О.** Эффективность внедрения НДТ. Управление выбором ресурсоэффективных технологий / Д. О. Скобелев, И. С. Курошев, А. Г. Берняцкий // Компетентность. – 2024. – № 5. – С. 10–17.

УДК 338.24

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ

В. В. СТЕПАНОВА

Научный руководитель Л. В. НАРКЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В аналитическом блоке исследования эффективности обновления объектов основных средств на участке производства синтетических пленок ОАО «Могилевхимволокно» работы установлено: низкий уровень обновления оборудования; высокий уровень физического и морального износа (коэффициенты обновления, износа активной части основных средств в 2022 г. составили 0,0884 и 0,5139 соответственно); ввиду низкого технического состояния основных средств отмечена отрицательная динамика фондоотдачи. Отсутствие собственных источников финансирования отразило агрессивную политику финансирования на предприятии, что соответствует значительному привлечению заемного капитала.

Разработан системный комплексный проект с целевым вектором роста эффективности производства: внедрение экструзионной линии по производству 9-слойной пленки; пакетоделательной машины по производству мусорных пакетов из отходов основного производства. Цель инновационно-инвестиционного проекта: производство высокобарьерных (9-слойных) пленок; увеличение завоеванной высокодоходной ниши барьерных пленок на рынке полимерных упаковочных материалов и укрепление в данном рыночном сегменте; организация производства пакетов из вторичного сырья (технологических отходов) в собственном производстве в контексте циркулярной экономики. Предусмотрено создание вертикально-интегрированной производственно-сбытовой цепочки на основе освоения производства высокобарьерных пленок, реализуемых предприятием на рынке упаковочных материалов. В существующую вертикально-интегрированную производственно-сбытовую цепочку рекомендовано внедрение дополнительного продукта – пакетов, произведенных из вторичного сырья и реализуемых предприятием на рынке упаковочной продукции. Реализация инвестиционного проекта позволит увеличить количество технологических переделов продукции и аккумулировать в выручке дополнительную добавленную стоимость, возникающую в процессе производства. Внедрение экструзионной линии MACRO по производству 9-слойной пленки обеспечит: рост скорости технологического процесса; однородности пластикации; равномерную подачу и расплавление сырья; возможность переработки различных групп полимерных материалов LDPE, HDPE, LLDPE, PP и др. Экономический эффект выразится в увеличении производительности экструдера на 5 %...20 %, сокращении брака на 20 %...30 %,

повышении качества продукции.

Внедрение пакетоделательной машины JAH2+S 28*2M по производству мусорных пакетов обеспечит: использование энергосберегающих технологий; повторное использование полимерных материалов, энергосбережение, т. к. машина оборудована датчиками уровня сырья; снижение расхода основного и вспомогательного сырья на единицу изделия; рост материалоотдачи, прибыли на рубль материальных затрат; снижение энергоемкости и трудоемкости; увеличение объемов продаж за счет введения нового продукта.

Общая сумма инновационно-инвестиционного проекта (поставщик ООО «Алеко Машинери») ввода экструзионной линии производства высокобарьерных пленок фирмы Macro и пакетоделательной машины VJAH2+S 28*2M, с учетом подготовительных, монтажных и пусконаладочных работ, составит 301 737,78 р.

Портфель финансирования проекта: собственные средства – 10 %; инновационный капитал концерна «Белнефтехим» – 10 %; заемные средства (лизингодатель – компания ООО «МикроЛизинг») – 80 %.

Перспективный анализ инвестиционного проекта построен с использованием аналитических процедур дисконтирования на этапах оценки лизинга, прибыли и динамических параметров эффективности проекта (ставка дисконта, с учетом инфляционного фактора и рисков по проекту, определена в размере 16 %). Массив данных на выходе системного проектирования: чистая дисконтированная стоимость определена в размере 411,50 тыс. р.; уровень доходности проекта определен в размере 120,37 %, что позволяет отнести его к высокодоходным проектам (доходность проекта выше 16 %) и указывает на выгодность инвестирования; срок окупаемости проекта определен в размере 2,5 года; модифицированная внутренняя норма доходности – 3,37 %.

Данная оценка экономической эффективности позволяет сделать вывод о том, что проект является перспективным с точки зрения инвестиций. Принятая ставка дисконтирования и дисконтированный срок окупаемости свидетельствуют о высокой доходности проекта и быстрой окупаемости вложенных средств. Чистая приведенная стоимость и индекс рентабельности инвестиций подтверждают, что реализация проекта принесет ощутимую прибыль и вернет вложенные средства с процентами. Модифицированная внутренняя норма доходности и внутренняя ставка доходности также указывают на то, что проект будет прибыльным и окупится в короткие сроки. Эти показатели позволяют принять решение об инвестировании в данную сферу деятельности с уверенностью в положительном результате. Таким образом, экономический анализ проекта показывает его целесообразность и перспективность. Вложение средств в производство пакетов из технологических отходов и выпуска барьерной пленки имеет все шансы принести стабильную прибыль и окупиться в короткие сроки.

УДК 658.512

ПРОДУКТОВЫЕ ИННОВАЦИИ В СИСТЕМЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

М. А. СТЕПАНОВА

Научный руководитель Л. В. НАРКЕВИЧ, канд. экон. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Прогрессивным направлением инновационных подходов к управлению производственной системой рассмотрены продуктовые инновации в контексте оптимизации ассортимента портфеля, роста эффективности производства и обеспечения устойчивого развития предприятия.

Платформой исследования выступает СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод». Маркетинговый анализ количественных и качественных параметров контейнерных железнодорожных перевозок выявил дефицит фитинговых платформ на внешнем и внутреннем рынках логистических услуг. При этом анализ динамики отгружаемой предприятием продукции выявил отрицательную тенденцию реализации полувагона модели 12-9663 на протяжении 2021–2023 гг. Спроектирована информационно-аналитическая база целесообразности внедрения нового вида продукции: вагона-платформы 13-6851-01 нового поколения с осевой нагрузкой 25 тс, грузоподъемностью 80 т. Проведен сравнительный анализ технического уровня наиболее близкого по техническим характеристикам аналога данной платформы – фитинговой платформы модели 13-4012-09. По результатам интегральной оценки эффективности инновационных проектов на базе экспертно-квалиметрической методологии установлен формат продуктовой инновации – фитинговая платформа модели 13-6851-01. Ключевыми конкурентными преимуществами 40-футовых фитинговых платформ определены повышенная надежность и безопасность при перевозке тяжеловесных контейнеров за счет оснащения ходовой частью с нагрузкой 25 тс и усиленной конструкции рамы и фитинговых упоров. Конструкция вагона-платформы модели 13-6851-01 обеспечивает усталостную прочность в течение всего срока службы, увеличенные сроки межремонтных пробегов, что соответствует снижению стоимости жизненного цикла вагона почти в 3 раза. Данный класс фитинговых платформ для предприятия СЗАО «МВЗ» отнесен на импортозамещающий вид продукции, что соответствует государственным приоритетам национальной безопасности.

Перспективный анализ инновационного проекта позволил обосновать достаточно высокий уровень эффективности и привлекательности инновационного проекта: чистая дисконтированная стоимость определена в размере 138,04 млн р.; внутренняя норма окупаемости – 376,03 %; модифицированная норма окупаемости – 28,73 %; уровень рентабельности инвестиций – 3,64; динамический срок окупаемости – 1,27 года.

УДК 332.14

МОДЕЛЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ИТ-КОНТРОЛЛИНГА ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В МУНИЦИПАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ

П. С. ХАРЛАМОВ

Научный руководитель И. А. ЖУЖГИНА, канд. экон. наук, доц.
Филиал «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

В настоящее время информатизация и автоматизация процессов в различных сферах общества стали ведущим направлением повышения эффективности и открытости деятельности органов местного самоуправления, в частности, в рамках процессов прогнозирования социально-экономического развития муниципального образования. При этом особенную актуальность имеют ИТ-проекты, связанные с созданием программных продуктов с использованием современных информационных технологий, например нечеткой логики и нейронных сетей. Вместе с тем отсутствие закрепленного метода контроля за реализацией автоматизации процессов приводит к посредственному ее исполнению и наличию множества дефектов в программных продуктах. Предлагается интегрировать инструментарий ИТ-контроллинга, в частности контроль упущенных затрат, использование сбалансированной системы показателей, в рамках модели, изображенной на рис. 1.

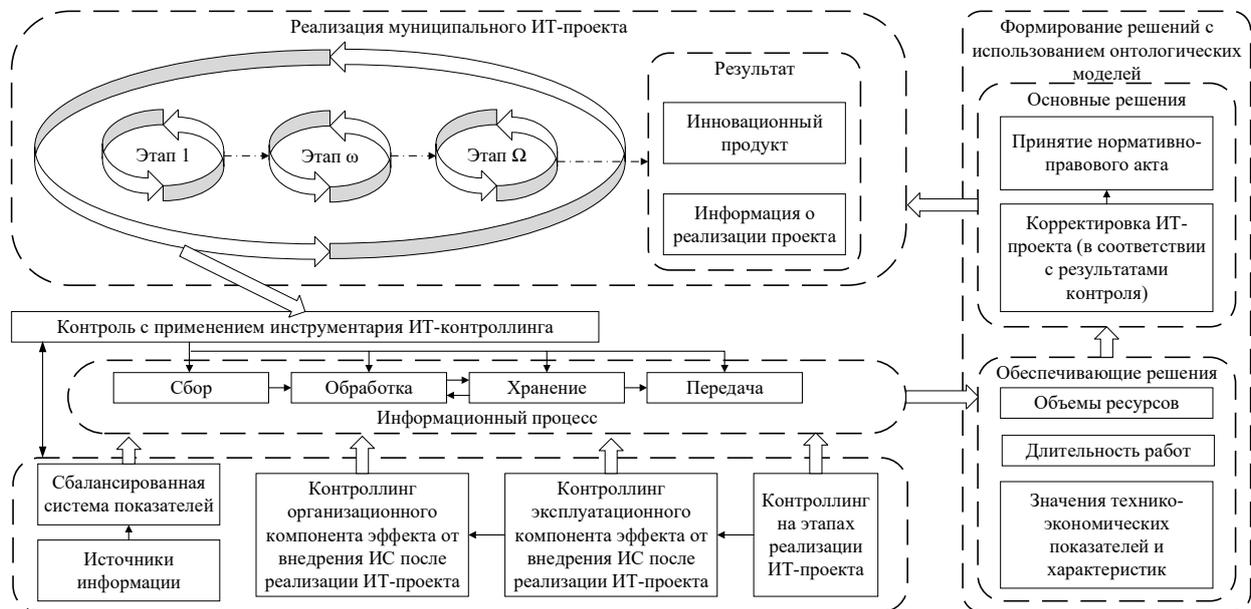


Рис. 1. Модель применения инструментария ИТ-контроллинга в интеграции с онтологическими моделями в муниципальном образовании

Представленная на рис. 1 предлагаемая модель интегрирует применение онтологических моделей, использующих историческую информацию о ранее выполненных проектах, и подходит для решения коллизий.

УДК 332.14

ПАТТЕРНАЛИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

П. С. ХАРЛАМОВ

Научный руководитель А. А. ТЮТЮННИК, канд. экон. наук, доц.
Филиал «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Паттерн развития муниципального образования – набор тенденций и направлений, представленный в виде типового многомерного вектора, в развитии и качественном изменении муниципального образования. Для проведения анализа над совокупностью выделенных паттернов требуется определить паттернализованную систему показателей социально-экономического развития муниципального образования, предложенную на рис. 1 и состоящую из двух групп (преимущественно качественного и количественного анализа) в рамках фактор-измерений паттерна.

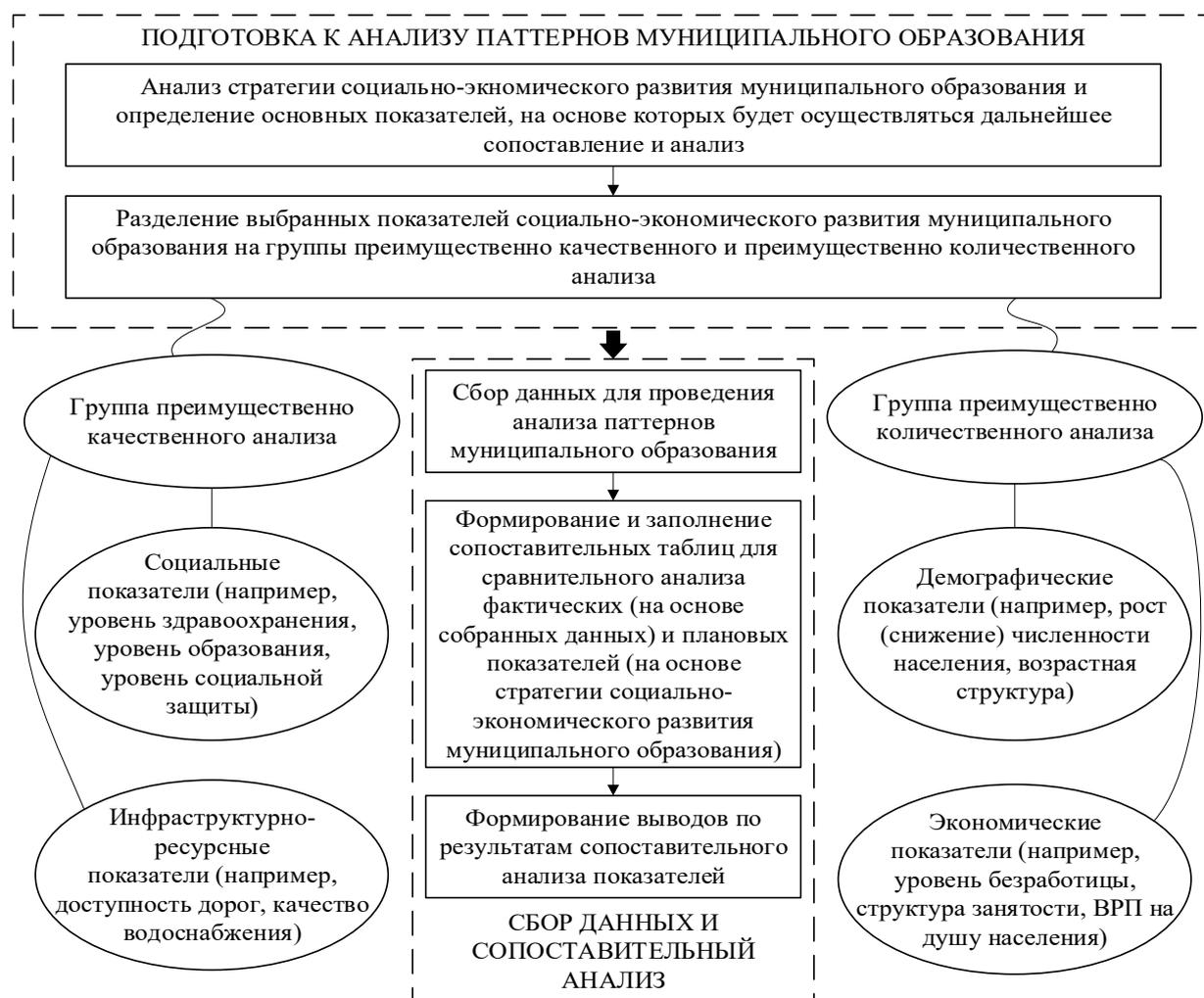


Рис. 1. Интеграция паттернализованной системы показателей в подготовительный этап анализа паттернов развития муниципалитета

УДК 330.34

ВОЗДЕЙСТВИЕ КОЛЛИЗИОННОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО АСПЕКТА СТАНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА НА СЛОЖНЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

О. Е. ХАРЛАМОВА

Смоленский филиал Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации
Смоленск, Россия

Дифференциация направленности государственной политики в области социально-экономического развития государства в настоящее время приводит к возникновению коллизий (противоречий), в частности юридических, экономических или социальных. Указанные коллизии в особенности отражаются на сложных экономических системах, таких как территориальные научно-промышленные кластеры (ТНПК), и формируют как негативный риск невыполнения стратегических целей и ошибочного выбора направлений информационного развития вследствие особенностей конъюнктуры ИТ-рынка страны. В первую очередь коллизии увеличивают временные затраты на выполнение стратегических целей ТНПК, ориентированных на встраивание в процесс формирования информационного общества. Для нивелирования или снижения воздействия коллизионного социально-экономического аспекта становления информационного общества ТНПК и курирующими органами государственной власти предлагается использовать метод, представленный на рис. 1.



Рис. 1. Метод прогнозного учета и предотвращения негативного риска, исходящего из коллизий, в рамках интегрирования в процесс становления информационного общества

Научное издание

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Материалы Международной
научно-технической конференции
молодых ученых
(Могилев, 24–25 октября 2024 года)

**Авторы несут персональную ответственность
за содержание публикуемых материалов**

Корректоры *И. В. Голубцова, А. А. Подошевка*

Компьютерный дизайн *М. М. Дударева, Е. В. Ковалевская,
Н. П. Полевничая*

Подписано в печать 10.10.2024. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 14,88. Уч.-изд. л. 15,88. Тираж 25 экз. Заказ № 760.

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.