

АО «КОНЦЕРН РОСЭНЕРГОАТОМ»
ФИЛИАЛ АО «КОНЦЕРН РОСЭНЕРГОАТОМ» «РОСТОВСКАЯ АТОМНАЯ СТАНЦИЯ»
ФИЛИАЛ АО «АЭМ-ТЕХНОЛОГИИ» «АТОММАШ» В Г.ВОЛГОДОНСК
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
ВОЛГОДОНСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ – филиал НИЯУ МИФИ



**XXII Международная научно-практическая конференция
«БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



28-29 мая

ул. Ленина 73/94

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»**

Волгодонск 2026

УДК 621.039.58 (063)

Б40

XXII Международная научно-практическая конференция «Безопасность ядерной энергетики»: тезисы докладов. Волгодонск, 28-29 мая 2026 г. / НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгодонск: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2026. – 183 с.

Сборник тезисов конференции составлен по материалам докладов XX Международной научно-практической конференции «Безопасность ядерной энергетики». Целью конференции является обмен опытом и обсуждение актуальных научных вопросов, связанных с обеспечением безопасности АЭС на различных этапах жизненного цикла с учетом социокультурных, экономических и информационных аспектов.

Предназначен для лиц, интересующихся данной тематикой.

ISBN 978-5-7262-3263-8

Доклады получены до 20.05.2026.

Издается в авторской редакции

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Секция ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Буркеев М.З., Внуков Р.А. Анализ неопределённостей в расчетно-экспериментальном моделировании нейтронно-физических процессов	7
Ватутина А.М., Внуков Р.А., Попов М.А., Шумеева А.Н. Расчетные исследования воспроизведения спектральных свойств тяжеловодных систем на критическом стенде БФС	9
Верник А.Л., Шаповалов А.С., Шкляев Н.С. О развитии нормативных требований к готовности к противоаварийному реагированию объектов использования атомной энергии	11
Воронцова А.А., Внуков Р.А. Исследование возможностей реакторов малой мощности для наработки ^{238}Pu	14
Забубенин А.К., Кузин С.А. Расчёт пропускной способности «следящего» золотника в гидравлической системе регулирования турбопривода питательного насоса	15
Ишбаев Н.Р., Рас Эль Уэд А.Р.З., Биктеев А.А., Попов Н.С., Попов Л.Г., Рыбаков Е.В. Отработка технологии изготовления и контроля изделий из тугоплавких металлов, получаемых методом послойного наплавления	18
Кутейников П.Д., Шилин А.Н. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных показателей надежности в энергетических системах	20
Никитась Г.Н., Озерный Д.А., Лапкис А.А. Анализ влияния деградации теплообменных поверхностей на энергетические и экономические потери энергоблока ВВЭР-1000	22
Новоселов Г.Д., Лапкис А.А., Навозов А.С., Гордеев С.С. Учет старения оборудования АЭС за время наблюдения при проведении анализа надежности	25
Носков К.И., Ташлыков О.Л., Гордиенко Е.С., Астафьев А.В., Пышкина М.Д. Исследование защитных характеристик многослойных композитов на основе соединений редкоземельных элементов в смешанных полях нейтронного и гамма-излучения	27
Плюснин В.В. Потенциал и безопасность использования тория в системе ядерной энергетики	29
Рас Эль Уэд А.Р.З., Сурин В.И., Исаев Р.Ш., Бокучава Г.Д., Папушкин И.В., Арадейб А.О. Исследование поверхностной кластеризации дефектов в циркониевых оболочках при облучении ионами гелия	31
Спасенников А.Х., Скулкин В.О. Характеристика изменений эффектов реактивности при гомогенном размещении америция в топливе реактора ВВЭР	32
Сурин В.И., Осинцев А.В., Рас Эль Уэд А.Р.З., Белоусов М.С. Оценка внутренних напряжений в металлах по результатам контактной потенциометрии	34
Сурин В.И., Щербань А.С., Рас Эль Уэд А.Р.З., Попов Л.Г., Ушаков В.М., Павличенко А.В., Жидков М.Е., Томилин С.А., Арсентьева Е.С., Юсупова Л.М., Кудратов М.Н. Результаты неразрушающего электрического контроля внутренних поверхностей теплообменных труб парогенератора	36
Тарасенко А.В., Река А.Г., Калютник А.А. Вероятностный анализ сейсмической повреждаемости машины перегрузочной ВВЭР-1000	38
Шаповалов А.С., Орлов М.Ю., Тимофеев Н.Б., Никитин Д.А., Коршунков А.В. Актуальное состояние системы нормирования выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду	41
Титкова Л.Д. Программный комплекс ЭКОРАД и опыт его применения при оценках нормативов допустимых сбросов радионуклидов в водные объекты и оценки доз облучения населения от объектов использования атомной энергии на различных стадиях их существования	44
Худойбердиев М.Э. Сравнительный анализ особенностей методов оценки устойчивости электроэнергетических систем в условиях совместного развития ВИЭ и АЭС	46
Мозговой А.А., Цыхлер Л.В., Егорова В.П., Поваров П.В. Применение вероятностной модели при планировании годовой выработки энергоблоков АЭС наряду с детерминированным учётом возможной недовыработки	49
Шаповалов К.Н., Лапкис А.А. Маневренный режим Курской АЭС-2: от теоретических расчетов к подтверждению проектных характеристик	52
Юдичева В.А., Каранов А.А., Тарасенко А.В. Оценка изменения смерчопасности в районах размещения атомных электростанций на примере Курской АЭС	54

Секция СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ АЭС

Бурдаков Е.С., Бурдаков С.М., Подрезов Н.Н. Исследование влияния электромагнитных сил дугового разряда с высокочастотным воздействием на характеристики каплепереноса при сварке стальных конструкций	58
Гейдарова А.Н., Смолевский М.А. Сравнительный анализ новых технологий устройства свайных фундаментов АЭС на вечномёрзлых грунтах	61
Заяров Ю.В., Алексеенко А.В. Мониторинг физического труда системой SOLUT ATOMIC на основе носимых устройств	64
Кулягина С.С. Инновационная интеграция сейсмозащиты и усиления оснований АЭС в условиях высокой сейсмики	65
Орехов М.И. Урбанизация современных городов: вызовы и перспективы	68
Пимшина Т.М., Пимшин И.Ю. Обзор и исследование ориентирования геодезических отражателей на точность измерений расстояний светодальномером электронного тахеометра	70
Сапельников А.Ф., Грушко И.С. Технологические решения укрупнённой сборки и монтажа герметичной облицовки внутренней защитной оболочки АЭС	73
Ткачев В.Г., Кузьменко Т.А. Пространство безопасности: нейроархитектура в центрах восстановления сотрудников АЭС – участников специальной военной операции	76
Умрихин В.Ю., Кузин С.А. Определение свойств бетона при определении возможности строительства сооружения временного хранения очень низкоактивных отходов для Ростовской АЭС	78
Яковлев В.В., Науменко Г.А. Разработка рекомендаций для выполнения геодезических обследований сложных металлических конструкций башенного типа	81

Секция КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ТЕРРИТОРИЯХ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ: СОЦИОКУЛЬТУРНЫЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ

Руденко В.А., Евдошкина Ю.А. Формирование культуры безопасности как траектория «входа в профессию»: опыт реализации пилотного проекта в ВИТИ НИЯУ МИФИ	83
Микшин И.А., Арженовская Е.В., Галкин А.С. Результаты апробации тренажера для формирования безопасного поведения персонала АЭС и подрядных организаций при ремонте трубопроводной арматуры и насосного оборудования с использованием стрессовых сценариев обучения	86
Головкин М.В., Руденко В.А., Рябышев М.В., Анцибор А.В. Механизмы трансляции культуры безопасности в сети партнеров атомной отрасли	89
Локонова Е.Л., Железнякова А.В. Перспективы развития атомной отрасли: социальные вызовы и роль духовной безопасности в формировании культуры будущих специалистов	92
Макеева О.А. Юридическое сопровождение деятельности предприятий атомной отрасли как компонент обеспечения культуры безопасности	95
Давыдов Е.С., Попова Т.С., Рябышев М.В. Совершенствование процессов гидравлических испытаний в соответствии со стандартами ГК «Росатом» как один из факторов развития культуры безопасности АО «АТМ»	98
Гаспарян А.В., У Яньхуа Вопросы участия промышленных предприятий в устойчивом развитии территории	101
Зиятдинова В.В. Обеспечение кадровой безопасности на предприятии ядерной энергетики	104
Зеленова Г.В., Евецкая С.В. Роль педагогического знания в структуре подготовки специалистов для атомной отрасли	107
Рябышев М.В., Попова Т.С. Стратегическая интеграция культуры безопасности в корпоративном и маркетинговом управлении: опыт АО «Концерн Росэнергоатом»	109
Волгина С.В., Довбыш В.Е. Анализ влияния изменения тарифов стоимости электроэнергии на прибыль предприятий – производителей атомной энергии	112

Хухлаев Д.Г. Стратегический подход к планированию сбытовой деятельности промышленного предприятия	114
Привалова Н.Ф. Формирование научно-исследовательских компетенций как фактор профессионального развития инженера атомной отрасли	117
Арбет Г.Н., Бунамес Н.В. Коммуникативный фактор в системе безопасности объектов атомной энергетики	120
Ухалина И.А., Бунамес Н.В. Организация самостоятельной работы студентов-атомщиков в контексте требований к культуре безопасности	122

Секция ИЗГОТОВЛЕНИЕ И РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

Бурдаков С.М., Подрезов Н.Н., Бурдаков Е.С. Повышение устойчивости горения дугового разряда при комбинированном питании	125
Дирина К.В., Гоок А.Э. Роботизация и автоматизация как способ достижения конкурентоспособности в современном сварочном производстве атомного машиностроения	127
Жидков М.Е., Чернов А.В., Хегай Л.С. Концепция подготовки сварочного производства корпусного оборудования АЭС на основе информационно – аналитических систем	130
Иванов М.А., Подрезов Н.Н., Дамаскина М.Б., Доронин Ю.В. Фрактографическое исследование излома при анализе характеристик сварных соединений	132
Колесников И.В., Томилин С.А., Арсентьева Е.С., Моисеенко А.А., Лесик Ю.Ю. Современный подход в организации технологического процесса - матрица компетенций	135
Локонова Е.Л., Набокин А.О. Лазерная наплавка зубчатых колёс как способ увеличения ресурса и эффективности редукторов	137
Мартыненко А.А., Павелко А.А., Дудкина С.И., Глазунова Е.В., Резниченко Л.А. Высокотемпературные сегнетопъезоэлектрические Nb-содержащие материалы для систем обеспечения безопасности объектов в ядерной энергетике	140
Подрезов Н.Н., Винныйчук В.А., Доронин Ю.В., Гужавин А.А. Анализ массивов данных мониторинга процесса сварки под флюсом изделий АЭС методами дескриптивной статистики	142
Перепелицына А.В., Томилина А.С., Матвеев С.А. Применение беспилотных и робототехнических систем для безопасной утилизации съемных деталей при планово-предупредительном ремонте действующего энергоблока АЭС	144
Кузьмин И.С., Лозюк В.П., Перепелицына А.В. Современные тенденции российского машиностроения и его трансформация на основе внедрения гибридного искусственного интеллекта	146
Перепелицына А.В. Параметризация и моделирование процесса импульсной электродуговой сварки трубопроводов первого контура АЭС с помощью нейросетевого анализа статистических и аналитических вольт-амперных характеристик	148
Шваб Д.А., Андрюков Д.И., Томилин С.А., Арсентьева Е.С. Новые технологии нанесения лакокрасочных материалов при изготовлении и монтаже оборудования АЭС	150

Секция ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Абидова Е.А., Галкин А.С., Горбунов И.Г., Гордеев С.С., Глаговский Э.М., Пугачева О.Ю., Прыткова Д.А. Автоматизация хранения и анализа данных тепловизионного контроля АЭС	154
Горшков Е.А., Прудникова Н.Н. Обеспечение безопасности критической информационной инфраструктуры предприятий атомной отрасли: современные угрозы и механизмы защиты	157
Карпенко А.Я. Разработка методики калибровки дозирующих устройств аналитических лабораторий	159
Клятецкий С.А. Информационная система поддержки принятия решений при строительстве АЭС на основе данных цифрового мониторинга	162
Магеррамова А.Р., Мечетина В.А., Полковникова Е.А., Щеголев С.С. Алгоритмизация взаимодействия Scratch и Livetronic при управлении робототехническими устройствами	164
Жидков М.Е., Пугачева О.Ю., Поваров П.В. Перспективы цифровизации процессов сварки корпусного оборудования АЭС	167

Полякова Е.Е., Корчагова Т.Р. Формирование библиотеки трёхмерных моделей комплектов запасных частей, инструментов и принадлежностей для IT-оборудования	169
Ручьева О.Н., Цуверкалова О.Ф. Системный анализ и пути снижения сопротивления пользователей при внедрении программного обеспечения	172
Толстов В.А. Компактное хранение данных Государственного адресного реестра для предприятий атомной энергетики	174
Хегай Л.С., Григорьев А.Э. Разработка веб-интерфейса для построения панорамы записей камер и распознавания объектов с помощью ИИ-модели	176
Цуверкалова О.Ф., Савельева К.А. Автоматизация процессов контроля деятельности студенческих объединений: архитектура и функциональные требования к модулю «Аудит»	179
Носков К.И., Носков Я.И., Ташлыков О.Л., Радочин О.Д., Астафьев А.В., Шикунев И.А. Автоматизированный мониторинг целостности трубопроводов энергообъектов на основе машинного зрения	181

СЕКЦИЯ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

УДК 621.039.51

АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЕЙ В РАСЧЕТНО- ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ НЕЙТРОННО- ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Буркеев М.З., Внуков Р.А.

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Обнинск, Россия
perevozdd@mail.ru*

Аннотация. В работе проведена оценка воздействия технологических неопределенностей на нейтронно-физические параметры БФС с применением библиотек JEFF-3.1.1, JEFF-3.3 и ENDF/B-VII.1. Выполнена оценка константной и температурной составляющих неопределенности эффективного коэффициента размножения, полученные результаты находятся в согласии с первоисточником.

Ключевые слова: кросс-верификация, БФС, нейтронно-физические характеристики, технологические неопределенности, библиотеки нейтронных констант.

ANALYSIS OF THE CONSTANT UNCERTAINTIES IN THE EXPERIMENTAL- CALCULATION MODELLING OF NEUTRONICS

Burkeev M.Z., Vnukov R.A.

*Obninsk Institute of Atomic Energy – Branch of the National Research Nuclear University “MEPhI”, Department of Nuclear Physics and Technologies, Obninsk, Russia
perevozdd@mail.ru*

Abstract. In this work, the impact of technological uncertainties on the neutron-physical parameters of the BFS was assessed using the JEFF-3.1.1, JEFF-3.3, and ENDF/B-VII.1 libraries. The constant and temperature components of the uncertainty of the effective multiplication factor were evaluated, and the obtained results are in agreement with the original source.

Keywords: cross-verification, BFS facility, neutron-physical characteristics, technological uncertainties, neutron constant libraries

В прецизионных расчетах нейтронно-физических характеристик неизбежны погрешности, вызванные определением количества проигранных нейтронных историй. В диффузионных кодах (например, БИПР) приемлемым отклонением в результатах задачи сопровождения при оценке Кэфф является 0.1%. Исходя из многих публикаций, посвященных расчетному моделированию реакторов на быстрых и тепловых нейтронах, обычно принимают погрешность около 0.01%. При этом если исходить из паспортов (например, МСУ), закладываемые погрешности в определение Кэфф (применительно к быстрым реакторам) могут достигать до 0.6%. Последнее связано в том числе с константными неопределенностями.

При моделировании перспективных реакторов корректная оценка скорости реакций важна как для определения характеристик в настоящий момент времени, так и учета изменения концентраций нуклидов с выгоранием топлива. Это необходимо для обоснования преимуществ или недостатков установки. Разные библиотеки констант (разрабатываемые коллективами ученых из разных стран: Европой – JEFF, Японией – JENDL, США – ENDF-B, Россией – РОСФОНД) имеют свои особенности, причем по мере развития уточняются все новые получаемые данные. Корректировка констант возможна в том числе и при проведении

экспериментов на критических стендах. Последнее для России актуально применительно к БФС.

В работе анализируются ранее полученные результаты расчетно-экспериментальных исследований, проведенных в ГНЦ-РФ ФЭИ и связанных с установкой БФС 97 [1]. На первом этапе была оценена константная неопределённость сборок 97-1, 97-2, 97-3, 97-4. Для расчётов использовались библиотеки JEFF-3.1.1 [2] и JEFF-3.3 [3]. Константная неопределённость Кэфф для сборки 97-4 представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Неопределённость коэффициента размножения, связанная с изменением расчётных библиотек

97-4	Кэфф	$\sigma(\text{Кэфф})$	Константный эффект	Погрешность эффекта относительная
JEFF-3.1.1	0,99900	0,00003	-0,00240	-1,71%
JEFF 33	1,01080	0,00003	0,00929	0,44%
ENDF-B7.1	1,00140	0,00003		

Однако оценка эффекта на основании различий в сечениях реакций всех изотопов является комплексной, стоит оценивать константный эффект основываясь на возмущениях сечений реакций отдельных изотопов для понимания причин расхождений из-за конкретных нуклидов, а также отдельных реакций конкретных нуклидов. Это необходимо для детализации влияния неопределённостей нуклидов в областях около резонансных, которым свойственны перспективные легководные реакторы, в частности, ВВЭР-С (эпитепловой спектр в условиях опущенных механических вытеснителей), ВВЭР-СКД (в вариантах с низкой плотностью теплоносителя). В ходе работы варьировались сечения реакций отдельных нуклидов между библиотеками JEFF-3.1.1 и JEFF-3.3 [2]. Было оценено влияние константного обеспечения основных делящихся нуклидов на эффективный коэффициент размножения между этими библиотеками. Константная неопределённость Кэфф для сборки 97-1 представлены в таблице 2, для сборки 97-4 в таблице 3.

Таблица 2 – Неопределённость коэффициента размножения для основных нуклидов модели 97-1

97-1	Кэфф	$\sigma(\text{Кэфф})$	Константный эффект	Погрешность эффекта относительная	Константный эффект, %
Am41	1.000130	0.000020	0.000029993	46.20%	0.003%
O16	0.999888	0.000022	-0.000212003	-6.54%	-0.021%
Pu39	0.999086	0.000014	-0.001014826	-1.37%	-0.101%
Pu40	1.000450	0.000020	0.000349808	3.96%	0.035%
Pu41	1.000130	0.000010	0.000029993	46.20%	0.003%
U35	1.000270	0.000010	0.000169937	8.15%	0.017%
U38	0.996219	0.000013	-0.003895340	-0.36%	-0.390%
MAIN JEFF-3.3	1.000100	0.000010			

Таблица 3 – Неопределённость коэффициента размножения для основных нуклидов модели 97-4

97-4	Кэфф	$\sigma(\text{Кэфф})$	Константный эффект	Погрешность эффекта относительная	Константный эффект, %
Am41	0.998632	0.000010	-0.000363863	-11.28%	-0.036%
O16	0.999209	0.000010	0.000214385	19.15%	0.021%
Pu39	1.007230	0.000035	0.008184113	0.50%	0.818%
Pu40	0.998912	0.000010	-0.000083174	-49.36%	-0.008%
Pu41	0.999015	0.000010	0.000020040	204.86%	0.002%
U35	0.999120	0.000010	0.000125236	32.78%	0.013%
U38	1.002300	0.000010	0.003300733	1.24%	0.330%
MAIN JEFF-3.1.1	0.998995	0.000029			

Анализ результатов, представленных в таблицах 2 и 3, показывает, что наибольший вклад в константную неопределённость эффективного коэффициента размножения вносят

нуклиды Pu39 и U38, однако характер их влияния различается для быстрых и эпитепловых спектров нейтронов.

Для сборки 97-1, характеризующейся быстрым спектром нейтронов, основное влияние оказывает U38. Это связано с тем, что в быстром спектре возрастает роль процессов неупругого рассеяния и радиационного захвата на U38, определяющих формирование спектра нейтронов и баланс размножения. Поскольку содержание U38 в системе велико, даже небольшие различия в ядерных данных между библиотеками JEFF-3.1.1 и JEFF-3.3 приводят к заметному изменению Кэфф. Вклад Pu39 также остаётся существенным, так как данный нуклид является основным делящимся материалом в быстром реакторе.

Для сборки 97-4 с эпитепловым спектром влияние Pu39 становится доминирующим. В эпитепловой области энергии нейтронов возрастает чувствительность к резонансной структуре сечений деления и захвата Pu39, вследствие чего различия библиотек констант приводят к значительно большему изменению коэффициента размножения. Одновременно возрастает влияние U38, связанное с особенностями описания резонансного захвата в эпитепловой области. Таким образом, повышенные неопределённости для Pu39 и U38 обусловлены как их определяющей ролью в нейтронном балансе системы, так и высокой чувствительностью расчётов к различиям ядерных данных в быстрых и эпитепловых спектрах нейтронов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Doulin V., Kochetkov A., Pavlova O. et al. // BFS-97, -99, -101 assemblies: critical experiments with heterogeneous compositions of plutonium, depleted uranium dioxide, and polyethylene // International Handbook of Evaluated Reactor Physics Benchmark Experiments, NEA/NSC/DOC(2007)1. – 2007. – March.
2. Santamarina A., Bernard D., Blaise P., et al. // The JEFF-3.1.1 Nuclear Data Library // JEFF Report 22, NEA No. 6807, OECD Nuclear Energy Agency. – 2009.
3. Plompen A. J. M., Cabellos O., De Saint Jean C., et al. // The joint evaluated fission and fusion nuclear data library, JEFF-3.3 // European Physical Journal A. – 2020. – Vol. 56. – P. 181. – DOI: 10.1140/epja/s10050-020-00141-9.

УДК 621.039.74

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ТЯЖЕЛОВОДНЫХ СИСТЕМ НА КРИТИЧЕСКОМ СТЕНДЕ БФС

Ватутина А.М., Внуков Р.А., Попов М.А., Шумеева А.Н.

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Обнинск, Россия
vnukovra@oiate.r*

Аннотация. В работе рассматривается проблема возможность воспроизведения энергетического распределения нейтронов, присущего тяжеловодной системе, на стенде БФС, который располагает ограниченным количеством возможных материалов для применения их в экспериментальном моделировании. Рассмотрены концепции использования полиэтиленовых прутков в межтрубном пространстве стенда, а также варьирование эффективной плотности блоков замедлителя, позволяющего частично воспроизводить спектр нейтронов, идентичный тяжеловодному реактору.

Ключевые слова: тяжелая вода, критический стенд, спектр нейтронов.

RESEARCH OF THE REPRODUCTION OF SPECTRAL PROPERTIES OF HEAVY-WATER SYSTEMS AT THE BFS CRITICAL STAND

Vatutina A.M., Vnukov R.A., Popov M.A., Shumeeva A.N

*Obninsk Institute of Atomic Energy – Branch of the National Research Nuclear University “MEPhI”, Department of Nuclear Physics and Technologies, Obninsk, Russia
vnukovra@oiate.ru*

Abstract. The paper considers the problem of the possibility of reproducing the energy distribution of neutrons inherent in a heavy-water system on the BFS stand, which has a limited number of possible materials for their use in experimental modeling. The concepts of using polyethylene rods in the inter-tube space of the stand are considered, as well as varying the effective density of moderator blocks, which makes it possible to partially reproduce the neutron spectrum identical to a heavy-water reactor.

Keywords: heavy water, critical stand, neutron spectrum.

Легководные реакторы имеют два варианта развития: эволюционный и инновационный [1]. В первой ветке рассматривается реактор со спектральным регулированием, управление реактивностью в котором осуществляется за счет использования стержней вытеснителей. Таким образом, ужесточение/затепление спектра нейтронов происходит за счет изменения водо-топливного отношения. За счет этого достигается большее воспроизводство топлива относительно ВВЭР-1000(1200). Тема актуальна в связи с потенциальным развитием легководных реакторов, где возможно использование МОКС-топлива. Тяжеловодное регулирование позволяет также влиять на спектр нейтронов без внесения дополнительных объектов в реактор.

В случае рассмотрения концепции и определения проектных решений для реактора, где возможно использование тяжелой воды, необходимо последующее определение перечня недостающих экспериментальных данных и их последующее получение. С учетом концепции замыкания ядерного топливного цикла и, как следствие, перехода на МОКС-топливо, в т.ч. в реакторах с водным теплоносителем, важно иметь данные по нейтронно-физическим характеристикам тяжеловодной системы с уран-плутониевым топливом. С точки зрения экспериментального моделирования такой возможностью среди обширного парка критических стендов в России обладает БФС.

Исследование разделено на два этапа. На первом этапе рассматривалась легководная система и проводилась оценка возможности воспроизведения спектральных свойств с использованием традиционной структуры стенда [2]. На втором этапе рассматривалась тяжеловодная система и анализировались варианты получения схожего энергетического распределения нейтронов с учетом материальных составов БФС.

Рассматривались легководная (модель 1) и тяжеловодные системы (модели 2-3), поперечные срезы которых представлены на рис. 1. Для каждой из них подбирались состав труб стенда БФС, состав ячеек которых позволял бы получать ту же $\alpha(^{239}\text{Pu})$. Далее оценивалось распределение плотности потока нейтронов. Составы ячеек представлены на (рис.1)

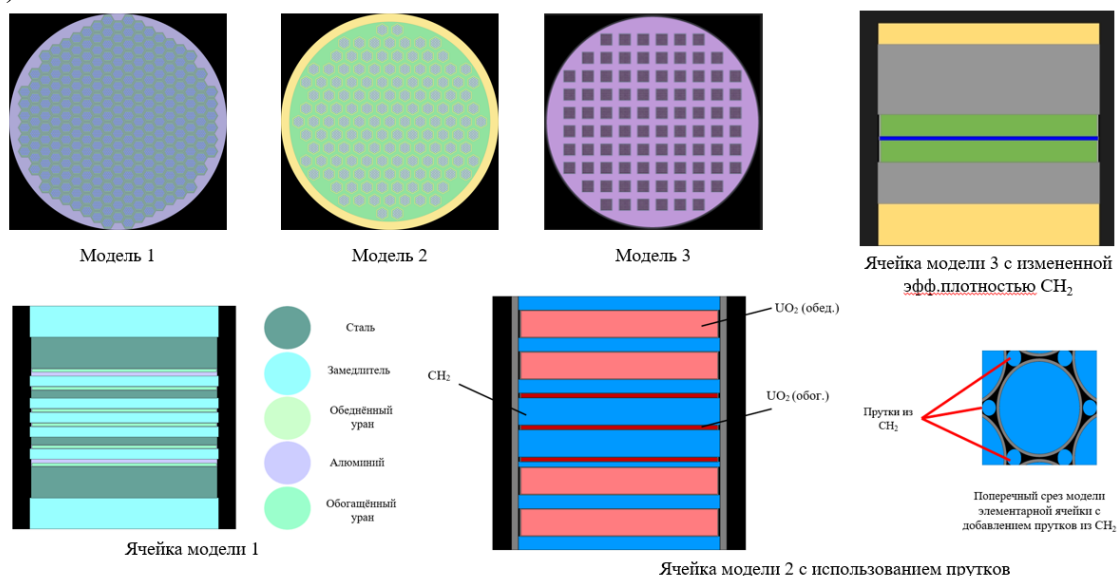


Рисунок 1 – Модели реакторов с различным теплоносителем и подобранных ячеек стенда

Результаты показали, что определение состава ячейки стенда, а также распределение блоков по высоте трубы по одной $\alpha(^{239}\text{Pu})$ является недостаточным. При этом после

совпадения $\alpha(^{239}\text{Pu})$ возможно уточнение энергетического распределения по группам. Альтернативно возможно сравнение спектральных индексов по основным делящимся и сырьевым нуклидам.

Воспроизведение энергетического распределения плотности потока нейтронов оказалось возможным для легководных систем, в то время как для тяжеловодных результаты показали, что сильно отличается одна или несколько областей (тепловая, резонансная, быстрая). Поскольку причиной являются разные замедляющие способности на ядрах водорода и дейтерия, рассмотрены варианты с изменением эффективной плотности полиэтилена в блоках стенда. На практике такое допустимо изготовлением неплотной засыпки порошка CH_2 . Результаты представлены на рис. 2.

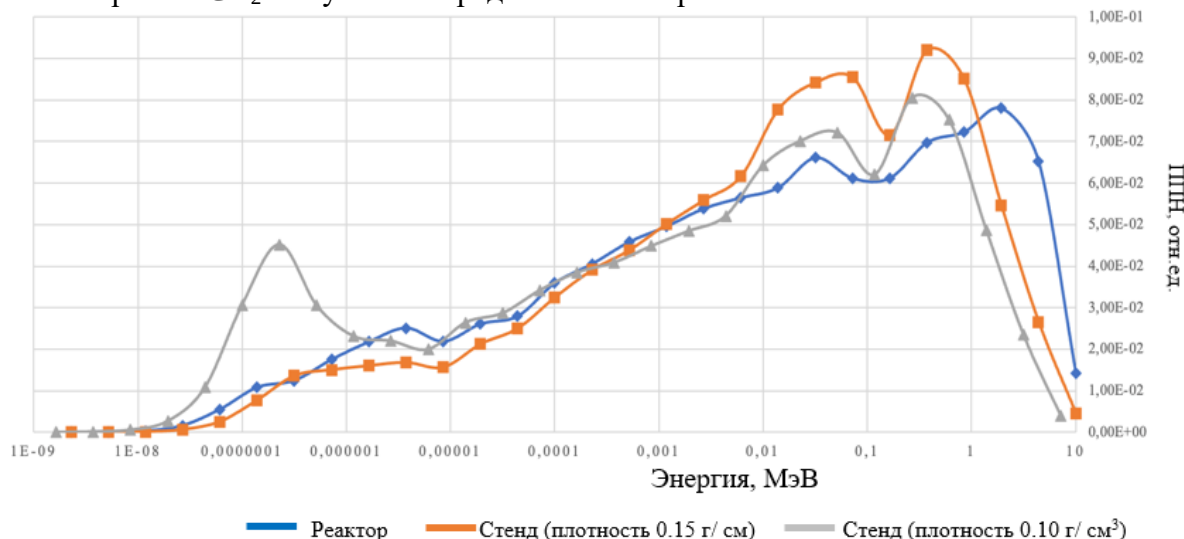


Рисунок 2 – Энергетическое распределение плотности потока нейтронов

Как видно из распределения, при достаточно близком соответствии резонансной составляющей плотности потока нейтронов, происходит несоответствие либо в тепловой и быстрой области (0.1 г/см^3), либо быстрой (0.15 г/см^3). В связи с последним актуален поиск альтернативных вариантов воспроизведения спектральных свойств тяжеловодных систем

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адамов Е. О., Асмолов В. Г., Большов Л. А., Иванов В. К. // Двухкомпонентная ядерная энергетика // Вестник Российской академии наук. – 2021. – Т. 91, № 5. – С. 450-458.
2. Kochetkov A., Doulin V., Semenov M., Rozhikhin Ye., Pavlova O. // BFS-97, -99, -101 Assemblies: Experimental Program on Critical Assemblies with Heterogeneous Compositions of Plutonium, Depleted Uranium Dioxide and Polyethylene // NEA/NSC/DOC(2006)1. – 2006

УДК 621.039

О РАЗВИТИИ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ГОТОВНОСТИ К ПРОТИВОАВАРИЙНОМУ РЕАГИРОВАНИЮ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Верник А.Л., Шаповалов А.С., Шкляев Н.А.

*Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр
по ядерной и радиационной безопасности»,
г. Москва, Россия
shapovalov@secnrs.ru*

Аннотация. В работе представлен краткий обзор развития нормативных требований к готовности к противоаварийному реагированию объектов использования атомной энергии. Рассмотрены подходы к

совершенствованию указанных нормативных требований, учитывающие положения норм безопасности МАГАТЭ.

Ключевые слова: объекты использования атомной энергии, аварийная готовность и реагирование, противоаварийные тренировки и учения, федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии, МАГАТЭ.

ON DEVELOPMENT OF REGULATORY REQUIREMENTS FOR PREPAREDNESS TO EMERGENCY RESPONSE OF NUCLEAR FACILITIES

Vernik A.L., Shapovalov A.S., Shklyayev N.A.

*Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, Moscow, Russia
shapovalov@secnrs.ru*

Abstract. The paper provides a brief overview of the development of regulatory requirements for preparedness to emergency response of nuclear facilities. Approaches to improvement of the specified regulatory requirements taking into account the provisions of IAEA safety standards are considered.

Keywords: nuclear facilities, emergency preparedness and response, emergency drills and exercises, Federal rules and regulations in the field of atomic energy use, IAEA.

Активное формирование системы нормативных требований к аварийной готовности началось после аварии на Чернобыльской АЭС (1986 г.) и являлось продолжительным процессом. Существенным импульсом к совершенствованию федеральных норм и правил (ФНП) в области использования атомной энергии, прежде всего в части аварийной готовности и реагирования эксплуатирующих организаций (ЭО), послужили уроки аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи» (2011 г.). Одну из важнейших ролей в формировании системы нормативных документов сыграла пост-миссия МАГАТЭ, прошедшая в Российской Федерации в 2013 г. Итоги пост-миссии [1] засвидетельствовали соответствие отечественной нормативной базы нормам безопасности МАГАТЭ, одновременно обозначив направления для её дальнейшего развития.

Поскольку в ходе пост-миссии [2] ключевое внимание уделялось анализу уроков аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи», в первую очередь пересмотру подверглись ФНП, определяющие требования к АЭС: НП-005-16 (утверждены приказом Ростехнадзора от 24.02.2016 № 68) и НП-032-19 (утверждены приказом Ростехнадзора от 19.07.2019 № 287). При их актуализации использованы наилучшие международные подходы к оперативному обмену информацией и установлению зон планирования защитных мероприятий, установленные в нормах безопасности МАГАТЭ № GSG-2 «Критерии для использования при обеспечении готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации», GSR Part 7 «Готовность и реагирование в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации» и GS-G-2.1 «Меры по обеспечению готовности к ядерной или радиологической аварийной ситуации». Кроме того, требования к специальным техническим средствам для управления запроектными авариями, значимость которых была подчеркнута в [3], предусмотрены в НП-001-15 (утверждены приказом Ростехнадзора от 17.12.2015 № 522).

Совершенствование ФНП в части аварийной готовности затронуло не только требования к АЭС, но и требования, которые распространяются на объекты использования атомной энергии (ОИАЭ), отличные от АЭС. Так, выпущенные новые ФНП НП-106-19 (утверждены приказом Ростехнадзора от 09.09.2019 № 351), которые применяются к исследовательским ядерным установкам (ИЯУ), разработаны по аналогии с НП-005-16 и отвечают актуальным тенденциям в области аварийной готовности. Впервые в рамках НП-075-19 (утверждены приказом Ростехнадзора от 14.05.2019 № 181) для ИЯУ определены требования к зонам планирования защитных мероприятий, которые соответствуют нормам безопасности МАГАТЭ GSR Part 7. С опорой на подходы МАГАТЭ, установленные в нормах безопасности GSG-2, GSR Part 7 и GS-G-2.1, для объектов ядерного топливного цикла

(ОЯТЦ) впервые утверждены ФНП НП-078-24 (утверждены приказом Ростехнадзора от 28.06.2024 № 201), где детализированы требования к таким значимым элементам аварийного реагирования, как инициация аварийного реагирования, оповещение его участников и сроки доведения информации об аварии до них, а также проведение противоаварийных тренировок и учений (ПТУ).

Были обновлены требования в отношении судов. В НП-079-18 (утверждены приказом Ростехнадзора от 27.06.2018 № 278) помимо требований к мероприятиям по защите судового персонала в случае аварий внедрены требования об оперативной передаче информации и сроках оповещения – по аналогии с ФНП для АЭС НП-005-16.

На сегодняшний день система ФНП в области аварийной готовности и реагирования (включающая полностью или частично более 20 документов) охватывает практически все объекты использования атомной энергии, возможные аварии на которых могут потребовать принятия мер по защите населения, а также все основные аспекты аварийной готовности и реагирования, в том числе:

- определение территориальных масштабов противоаварийного планирования;
- классификация аварий для целей оперативного реагирования;
- оперативное информирование участников аварийного реагирования;
- критерии объявления состояний «Аварийная готовность» и «Аварийная обстановка»;
- содержание планов мероприятий по защите персонала, противоаварийных инструкций и руководств;
- противоаварийная инфраструктура ЭО (аналитические средства, посты мониторинга и пр.).

В основании этой системы заложено требование о том, что ЭО обязана разрабатывать и осуществлять меры по защите персонала и населения при авариях на ОИАЭ. Это требование согласуется с Федеральным законом «Об использовании атомной энергии» и нормами безопасности МАГАТЭ. В части осуществления мероприятий по защите населения на основании [4] запланировано утверждение нового проекта ФНП [5], разрабатываемого в соответствии с требованиями Федерального закона «Об использовании атомной энергии» и устанавливающего требования к планированию и готовности ЭО к реализации таких мероприятий.

Действующая система ФНП вобрала в себя не только уроки аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи», но и многолетний опыт участия Ростехнадзора и организаций научно-технической поддержки в ПТУ. Участию регулирующего органа в таких тренировках и оценке действий ЭО уделяется повышенное внимание, как в нормах безопасности МАГАТЭ GSR Part 7, так и в миссиях Агентства, проводимых в Российской Федерации и за рубежом. В настоящее время сформирована методическая база для оценки ПТУ – для разных видов ОИАЭ (АЭС, ИЯУ, ОЯТЦ, суда и иные плавсредства с ядерными реакторами) выпущены соответствующие методические рекомендации по оценке их эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет о пост-миссии по оказанию услуги по комплексной оценке регулирующей деятельности (IRRS) для Российской Федерации. – Ростехнадзор, Москва. – 2013.
2. О принятии в 2013 году Российской Федерацией миссии Международного агентства по атомной энергии для анализа выполнения рекомендаций принятой в ноябре 2009 г. миссии по оценке эффективности деятельности органа государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.05.2013 № 759-р.
3. Доклад Генерального директора МАГАТЭ. Авария на АЭС «Фукусима-Дайичи». – МАГАТЭ, Вена. – 2015.
4. Стратегический план реализации Концепции совершенствования нормативно-правового регулирования безопасности и стандартизации в области использования атомной энергии на 2021–2031 гг., утв. заместителем руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.

5. Проект. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к планированию и готовности эксплуатирующей организации к осуществлению мероприятий по защите населения» (НП-056-25).

УДК 621.039.74

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕАКТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ НАРАБОТКИ ^{238}Pu

Воронцова А.А., Внуков Р.А.

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Обнинск, Россия
paradisecitymake@gmail.com*

Аннотация. В работе исследуется возможность наработки плутония-238 в реакторе малой мощности МТИР-СКД с использованием облучательного устройства, содержащего мишени из диоксида нептуния. Методом математического моделирования оценено влияние плотности мишеней и типа замедлителя на выход и изотопную чистоту целевого продукта. Оптимальным признан пятилетний цикл облучения при пониженной плотности, обеспечивающий выход до 1,20 кг ^{38}Pu с содержанием целевого изотопа 90–93%. Выявлено ограничение – накопление ^{236}Pu выше допустимого, что требует последующей выдержки и очистки.

Ключевые слова: наработка изотопов, плутоний-238, облучательное устройство, реактор малой мощности

FEASIBILITY STUDY OF SMALL POWER REACTORS FOR PRODUCTION OF ^{238}Pu

Vorontsova A.A., Vnukov R.A.

*Obninsk Institute of Atomic Energy – Branch of the National Research Nuclear University “MEPhI”,
Department of Nuclear Physics and Technologies, Obninsk, Russia
paradisecitymake@gmail.com*

Abstract. The paper studies the possibility of producing plutonium-238 in a low-power MTIK-SKD reactor using an irradiation device containing targets made of neptunium dioxide. Mathematical modeling was used to assess the impact of target density and moderator type on the yield and isotopic purity of the target product. A five-year irradiation cycle at reduced density was found to be optimal, providing a yield of up to 1.20 kg of ^{38}Pu with a target isotope content of 90-93%. A limitation has been identified – the accumulation of ^{236}Pu is higher than permissible, which requires subsequent aging and purification.

Keywords: isotope production, plutonium-238, irradiation device, low-power reactor

Актуальность работы продиктована необходимостью поиска эффективных путей получения плутония-238, который используется для радиоизотопного источника тепла в космических аппаратах для отдаленных миссий [1]. Однако для применения целевого нуклида к нему предъявляются требования по его изотопному составу [2], поэтому целью исследования является анализ возможности масштабной наработки ^{238}Pu в активной зоне реактора МТИР-СКД и оценка влияния облучательного устройства (ОУ) на нейтронно-физические характеристики реактора [3]. Моделируемое ОУ, устанавливаемое единично взамен сборки стального отражателя (рис. 1) внешнего ряда, содержит кольцевой блок из 30 мишеней NpO_2 с внутренним стержнем-замедлителем из композиции BeO , ZrH_2 и стали.

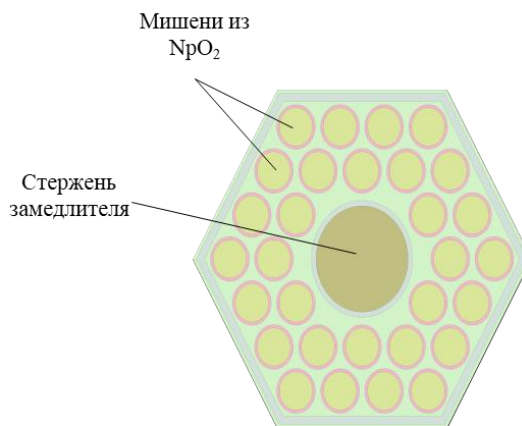


Рисунок 1 – Поперечный срез модели ОУ

Изучалось влияние вариаций плотности диоксида нептуния на итоговые изотопные и химические характеристики облученного материала при кампании длительностью до десяти лет. Установлено, что оптимальным режимом, гарантирующим соблюдение критериев качества получаемого нуклида, выступает пятилетнее облучение при пониженной плотности мишеней.

Максимально достижимый выход за 1800 эффективных суток облучения составляет 0.97-1.20 кг ^{238}Pu на одно устройство при удовлетворительном основном качестве (содержание целевого изотопа 90-93% [2]) в зависимости от выбранного замедлителя. Практическая значимость заключается в определении реального выхода продукта и выявлении ограничивающего фактора: наблюдается превышение концентрации ^{236}Pu до уровня 34,9 ppm против требуемых ≤ 2 ppm, что указывает на объективную необходимость последующей выдержки облученных сборок перед извлечением радиоизотопной продукции и фабрикацией РИТ: переочищение нептуния для вовлечения в новую процедуру облучения и удаление урана (^{232}U как продукта распада ^{236}Pu и ^{234}U – ^{238}Pu).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang A., Yu C., Xia S., Cui Y., Wu C., Cai X., Chen J. // Analysis of producing ^{238}Pu as a byproduct in an MSFR // Annals of Nuclear Energy. – 2021. – Vol. 150. – Article 108104. – DOI: 10.1016/j.anucene.2020.108104.
2. Шмелев А.Н., Гераскин Н.И., Апсэ В.А., Куликов Г.Г., Куликов Е.Г., Глебов В.Б. // Оценка возможности крупномасштабной наработки ^{238}Pu в энергетическом реакторе типа ВВЭР-1000 // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – № 3. – С. 118-126. – DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.3.10>.
3. Лапин А.С., Бландинский В.Ю., Невиница В.А. и др. // Нейтронно-физические особенности реактора МТИР-СКД как экспериментальной базы для отработки перспективных легководных реакторных технологий // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2024. – № 3. – С. 18-31. – DOI: 10.26583/npe.2024.3.02. – EDN: KQPMVW.

УДК 621.18-5

РАСЧЁТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ «СЛЕДЯЩЕГО» ЗОЛОТНИКА В ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТУРБОПРИВОДА ПИТАТЕЛЬНОГО НАСОСА

Забубенин А.К.¹, Кузин С.А.²

^{1,2}Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия

²АО «Атоммашэкспорт», г.Волгодонск, Россия

²VITikafAE@mephi.ru

Аннотация. Выполнен анализ работы гидравлической системы регулирования турбопривода питательного насоса НТА-3750-75-3. Рассмотрен «следящий» золотник, обеспечивающий подачу масла в систему регулирования при нарушениях в работе маслососов, что непосредственно влияет на надёжность питания турбин атомной электростанции. Проведён гидравлический расчёт маслопроводов и определены потери давления при максимальном расходе масла 30 м³/ч. Выполнена визуализация распределения давления и скорости потока масла в золотнике в трёх положениях с использованием программного комплекса SolidWorks.

Ключевые слова: турбопитательный насос, гидравлическая система регулирования, следящий золотник, гидравлический расчёт, маслопровод, потеря давления, надёжность, АЭС.

CALCULATION OF THE "TRACKING" GAUGE'S CAPACITY IN THE HYDRAULIC SYSTEM OF THE PUMPS' TURBO DRIVE

Zabubenin A.K.¹, Kuzin S.A.²

^{1,2}*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"*
Volgodonsk, Russia

²*JSC Atommasheexport, Volgodonsk, Russia,*

²*VITIkaFAE@mephi.ru*

Abstract. The paper analyzes the operation of the hydraulic control system of the NTA-3750-75-3 feed pump turbo-drive. It examines the "tracking" spool that ensures the supply of oil to the control system in case of malfunctions in the oil pumps, which directly affects the reliability of power supply to the turbines of a nuclear power plant. The paper conducts a hydraulic calculation of the oil lines and determines the pressure losses at a maximum oil flow rate of 30 m³/h. The paper visualizes the distribution of pressure and oil flow velocity in the spool in three positions using the SolidWorks software package.

Keywords: turbo-feed pump, hydraulic control system, tracking spool, hydraulic calculation, oil line, pressure loss, reliability, nuclear power plant.

Гидродинамическая система автоматического управления (САУ) решает проблему поддержания требуемой частоты вращения ротора в турбоприводе питательного насоса НТА-3750-75-3 при работе в эксплуатационном диапазоне нагрузок. С её помощью ротор приводится во вращение с частотой от 2365 об/мин до 3500 об/мин, причем отклонения от номинальных оборотов не должны превышать 6–8 %. В состав САУ входят пять основных устройств: насос-регулятор, преобразователь давления, отсекающий золотник, сервопривод и клапан ограничения предельного давления.

На рисунке 1 изображен «следящий» золотник, используемый для поддержания подачи рабочей жидкости в систему, управляющую турбиной К-12-1,0ПА-1, при неполадках в функционировании насосов. Устройство устанавливают в машинном зале, подключая к напорным маслопроводам обоих контуров регулирования. При падении напора в коллекторе одного из контуров золотник выходит из состояния равновесия, благодаря чему масло перетекает от системы с работающими насосами к системе с неисправными.

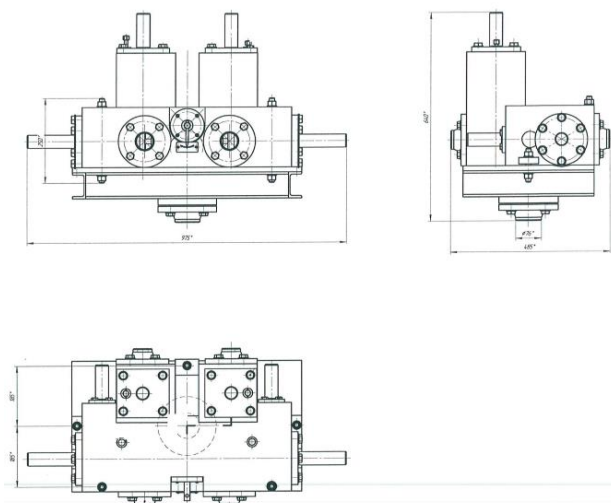


Рисунок 1 – общий вид «следящего» золотника

В соответствии с расчетом гидравлических потерь, выполненным для худшего варианта развития события - (АВР насоса отключен, либо резервный насос находится в ремонте) для последовательности: маслоснасосы ТПН-1 отключены, подача масла в маслосистемы ТПН-1 и ТПН-2 осуществляется от одного насоса ТПН-2, с учетом рабочей характеристики насоса в диапазоне (20 - 55) м³/ч и снижении напора насоса при увеличении расхода с 20,0 м³/ч до 60,0 м³/ч до 2,0 м в.ст. (0,2 кгс/см²). Сумма всех гидравлических потерь составит 1,725 кгс/см².

Дополнительно выполнено компьютерное моделирование «следающего» золотника в программном комплексе SolidWorks для верификации результатов, полученных расчетным путём. На рисунке 2 представлена схема распределения давления масла в золотнике в центральном положении.

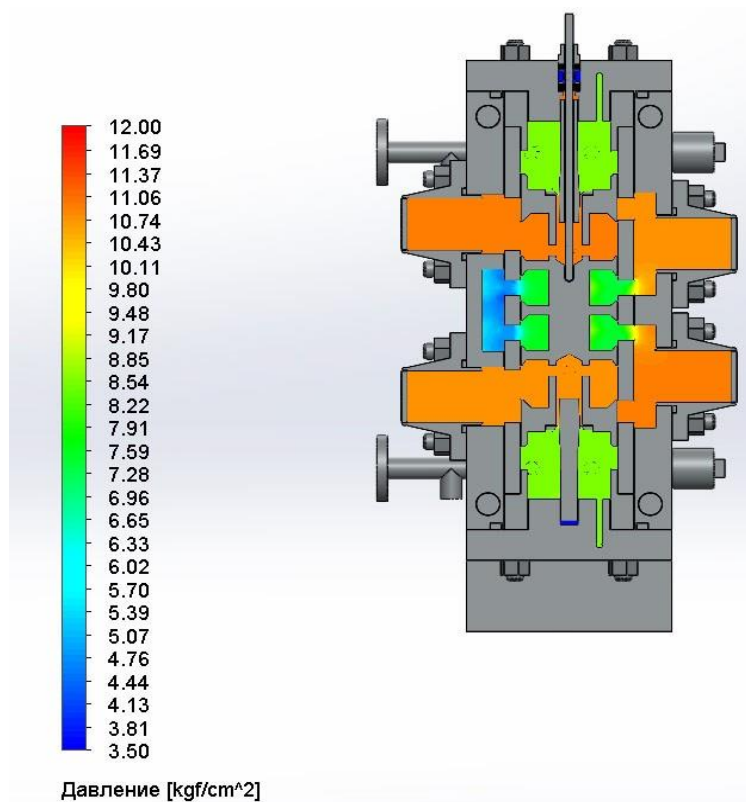


Рисунок 2 – Схема распределения давления масла в «следающем» золотнике в центральном положении

Предложенная схема резервирования маслоснабжения повышает надёжность питания турбин атомной электростанции при отказах штатных маслоснасосов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 672 с.
2. РБ-040-09 / Руководство по безопасности «Расчетные соотношения и методики расчета гидродинамических и тепловых характеристик элементов и оборудования водоохлаждаемых ядерных энергетических установок».
3. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые и атомные электрические станции: Учебник для вузов. – М. : Издательство МЭИ, 2000. – 408 с.

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ

Ишбаев Н.Р.¹, Рас Эль Уэд А.Р.З.², Биктеев А.А.³, Попов Н.С.⁴,
Попов Л.Г.⁵, Рыбаков Е.В.⁶

^{1,2,3,4,5}Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия

⁶Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», г. Москва, Россия

¹Mrkita5105@mail.ru

Аннотация. В лаборатории №687 (ElphysLAB) ИЯФит НИЯУ МИФИ при поддержке фонда содействия инновациям спроектирован опытный образец устройства для автоматизированного неразрушающего электрического контроля изделий, изготавливаемых из тугоплавких металлов по аддитивной технологии. Разработана предварительная версия программного обеспечения для автоматической обработки данных и построения потенциальных карт. Проведено ручное поверхностное сканирование по пяти граням вольфрамового образца. Измерения выполнены с помощью иглообразного преобразователя из инструментальной стали. Параметры измерений определялись шагом сканирования 1 мм, частотой сканирования 1 Гц и числом треков, равным шести-семи. Потенциограммы были построены для 20-ти структурных уровней сигнала с использованием улучшенного программного кода.

Ключевые слова: тугоплавкие металлы, аддитивные технологии, электрофизическая томография

DEVELOPMENT OF MANUFACTURING AND INSPECTION TECHNOLOGY FOR REFRACTORY METAL PRODUCTS PRODUCED BY LAYER-BY-LAYER DEPOSITION

Ishbaev N.R.¹, Ras El Oued A.R.Z.², Bikteev A.A.³, Popov N.S.⁴,
Popov L.G.⁵, Rybakov E.V.⁶

^{1,2,3,4,5}National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

⁶National Research Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Moscow, Russia

¹Mrkita5105@mail.ru

Abstract. In Laboratory No. 687 (ElphysLAB) at the Institute of Nuclear Physics and Engineering (IYaFit) of the National Research Nuclear University MEPhI, with the support of the Innovation Assistance Fund, a prototype device has been designed for automated non-destructive electrical inspection of products made from refractory metals using additive technology. A preliminary version of software for automatic data processing and construction of potential maps has been developed. Manual surface scanning was performed on five faces of a tungsten sample. Measurements were carried out using a needle-shaped probe made of tool steel. The measurement parameters were determined by a scanning step of 1 mm, a scanning frequency of 1 Hz, and a number of tracks equal to six or seven. Potentiograms were constructed for 20 structural levels of the signal using improved software code.

Keywords: refractory metals, additive technologies, electrophysical tomography

Современные высокотехнологичные отрасли промышленности испытывают острые потребности в изделиях из тугоплавких металлов, получаемых с помощью аддитивных технологий. Процесс отработки такой технологии связан с высокими материальными затратами. В ходе изготовления пробных партий изделий варьируются и оптимизируются многие параметры выплавки. Одной из главных проблем получаемых материалов является образующаяся при наплавлении слоев пористость.

Для контроля структурных изменений, происходящих при варьировании параметров режима, необходим быстрый и эффективный неразрушающий метод контроля, способный выявлять как дефекты близких приповерхностных слоев, так дефекты, находящиеся в объеме изделия.

Поверхностная электрофизическая томография на основе метода сканирующей контактной потенциометрии успешно применяется для решения подобных задач [1,2].

В данном случае было необходимо разработать измерительный столик с возможностью вращения образцов относительно вертикальной оси и надежного электрического контакта нижней поверхности выплавленного из вольфрама кубика с размерами 6х6х7 мм. При измерениях использовался преобразователь из инструментальной стали в виде иглы.

Параметры измерений определялись шагом сканирования 1 мм, частотой сканирования 1 Гц и числом треков, равным шести-семи. Потенциограммы были построены и верифицированы для 20-ти структурных уровней сигнала с использованием улучшенного программного кода. На рисунке 1 приведены потенциограммы боковой поверхности образца из выплавленного вольфрама для различных значений структурного уровня сигнала. Образцы изготавливались на вольфрамовой подложке технологией селективного лазерного плавления с применением различных режимов.

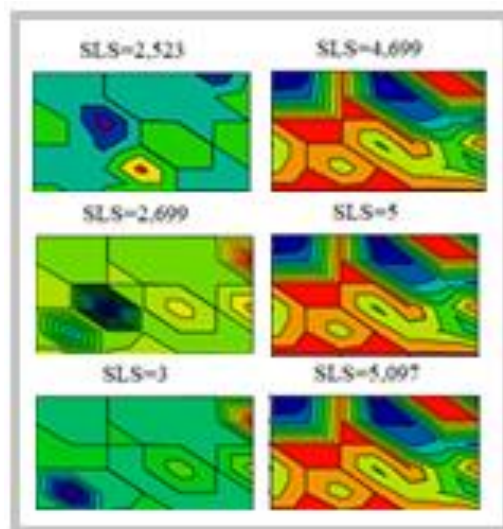


Рисунок 1 – Поверхностные потенциограммы боковой поверхности вольфрамового образца

В целях автоматизации неразрушающего электрического контроля разработана установка, представленная распределённой системой управления, в которой вычислительный уровень, уровень движения и измерительный тракт разделены аппаратно. Центральным управляющим узлом является микрокомпьютер Raspberry Pi, на котором развёрнут backend на Python/FastAPI и web-интерфейс оператора.

Микрокомпьютер Raspberry Pi формирует траекторию сканирования, отправляет команды перемещения, контролирует состояние устройства, инициирует измерения и сохраняет данные. Исполнительный уровень реализован на базе Arduino Nano с прошивкой GRBL 1.1h, подключённой к Raspberry Pi по последовательному интерфейсу. Плата Arduino через CNC Shield и драйверы шаговых двигателей управляет тремя координатными осями: X, Y, Z. Оси X/Y обеспечивают позиционирование сканирующего зонда по поверхности образца, а ось Z используется для непосредственного измерения через контакт с поверхностью образца. Измерительный тракт выполнен на базе контактного зонда и цифрового вольтметра RIGOL серии DM3000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурин В.И., Иванич М.Б., Волкова З.С., Щербakov А.А. Конструирование приборов и установок электрического неразрушающего контроля. Часть 1. Теоретические основы контактной потенциометрии. – М: НИЯУ МИФИ, 2024.-188 с.
2. Surin V.I., Ivanyi M.B., Shcherbakov A.A., Shcherban A.S., Pavlichenko A.V., Tomilin S. A., Zhidkov M. E., Gook A.E.// Gradient method of structural heterogeneity identification in electrical inspection of equipment, products and materials//Physics of Atomic Nuclei, 2025, Vol. 88, No. 10, pp. 1–5.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Кутейников П.Д., Шилин А.Н.,

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия
eltech@vstu.ru

Аннотация: В данной статье проведён анализ подходов к нормированию надёжности распределительных электрических сетей. Рассмотрены основные международные показатели (SAIFI, SAIDI, CAIDI, MAIFI), их российские аналоги (P_{SAIFI} , P_{SAIDI}), а также специфические для РФ показатели (наработка на отказ, параметр потока отказов, время восстановления, вероятность безотказной работы). Выполнено сравнение с зарубежными практиками: в Великобритании (CI, CMI), Италии (SAIFI, SAIDI, MAIFI), Нидерландах (SAIFI, CAIDI), США (дифференциация по штатам). Сделан вывод о соответствии российской нормативной базы глобальным трендам. Обозначена необходимость дальнейшей проработки целевых значений показателей надёжности и критериев их оценки.

Ключевые слова. Распределительные сети, надёжность электроснабжения, SAIFI, SAIDI, CAIDI, MAIFI, нормирование, сравнительный анализ.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DOMESTIC AND FOREIGN RELIABILITY INDICATORS IN POWER SYSTEMS

Kuteynikov P.D., Shilin A.N.

Volgograd state technical university, Volgograd, Russia
eltech@vstu.ru

Abstract: In this article, an analysis of approaches to reliability regulation in distribution electrical networks is carried out. The main international indices (SAIFI, SAIDI, CAIDI, MAIFI), their Russian counterparts (P_{SAIFI} , P_{SAIDI}), as well as indices specific to the Russian Federation (mean time between failures, failure flow parameter, mean repair time, probability of failure-free operation) are examined. A comparison is made with foreign practices: in the United Kingdom (CI, CMI), Italy (SAIFI, SAIDI, MAIFI), the Netherlands (SAIFI, CAIDI), and the United States (differentiation by state). It is concluded that the Russian regulatory framework aligns with global trends. The need for further elaboration of target reliability index values and their evaluation criteria is identified.

Keywords. Distribution networks, power supply reliability, SAIFI, SAIDI, CAIDI, MAIFI, regulation, comparative analysis.

Распределительные сети обеспечивают доставку электроэнергии от магистральных питающих узлов до конечных потребителей, численность которых может быть весьма значительной. Это обуславливает необходимость формирования сложной, разветвлённой конфигурации сетей с применением иерархических принципов их организации. В разных государствах регуляторные органы руководствуются собственными методиками нормирования надёжности и устанавливают индивидуальные приоритеты в данной сфере.

Под надёжностью электроснабжения понимается степень подверженности потребителей перебоям в получении энергии, а также периодичность и длительность таких перебоев. Для количественного выражения этих характеристик существует множество специализированных индикаторов. Полный их перечень зафиксирован в стандарте [1]. На практике наиболее востребованы следующие индексы:

– **SAIFI** (расшифровывается как System Average Interruption Frequency Index) - это расчётная величина, показывающая, как часто конкретный потребитель или точка поставки сталкивается с длительным отсутствием напряжения. Вычисляется путём деления общего количества зафиксированных продолжительных сбоев за период на число всех обслуживаемых абонентов:

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T} \quad (1)$$

– *SAIDI* (расшифровывается как System Average Interruption Duration Index) - напротив, даёт представление о том, сколько в среднем длится один перерыв в электроснабжении. Вычисляется как суммарная длительность всех долгих отключений, поделённая на количество потребителей:

$$SAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{N_T} \quad (2)$$

– *CAIDI* (расшифровывается как Customer Average Interruption Duration Index) - отражает типичные затраты времени на восстановление подачи энергии. Рассчитывается как отношение общей длительности устойчивых сбоев к их количеству:

$$CAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (3)$$

– *MAIFI* (расшифровывается как Momentary Average Interruption Frequency Index) - фиксирует частоту коротких (не более нескольких минут) прекращений питания. Для его получения совокупное число мгновенных нарушений делят на число клиентов:

$$MAIFI = \frac{\sum IM_i N_{mi}}{N_T} \quad (4)$$

В Российской Федерации для целей нормирования надёжности применяются такие параметры, как частота и длительность прекращения подачи энергии на точку поставки - обозначаемые как Π_{SAIFI} и Π_{SAIDI} соответственно, которые по сути являются аналогами международных индексов SAIFI и SAIDI.

Кроме того, при оценке надёжности систем электроснабжения учитываются технологические сбои на объектах сетевых компаний, чья длительность превышает время, необходимое для автоматического восстановления питания. При вычислении ключевых индексов надёжности плановые отключения электроэнергии из расчёта сознательно исключают – под них существует собственная, обособленная группа измерителей, зафиксированная в источнике [2].

Российская система нормативов включает несколько уникальных показателей, не имеющих аналогов за пределами страны:

- средняя наработка на отказ - усреднённое значение интервала безотказной работы оборудования определённого типа между последовательными отказами ($T_{cp} = \frac{\sum t_{ip}}{k}$, где t_{ip} - время работы оборудования данного типа между i -м и p -м отказами; k - число отказов);

- параметр показательного закона (параметр потока отказов) - рассчитывается через среднюю наработку на отказ ($\omega = \frac{1}{t_{cp}}$, где t_{cp} - среднее значение наработок на отказ, n – количество отказов);

- интервалы времени работы между отказами (для воздушных и кабельных линий зависят от их протяжённости l) ($t_{ip} = t_{i\phi} \left(\frac{l_{\phi}}{l} \right)$, где $t_{i\phi}$ - фактический интервал; l_{ϕ} - фактическая длина линии);

- среднее время восстановления - если взять несколько отказов и замерить время от их фиксации до завершения всех восстановительных процедур (включая поиск неисправности, переключения и ремонт), то усреднённая величина и будет называться средним временем восстановления ($T_{cp.в.} = \frac{\sum t_{is}}{k}$, где k - число отказов, t_{is} - время ремонта или оперативных переключений (с учетом времени отыскания неисправности или повреждения));

- вероятность безотказной работы ($p(t) = e^{-\lambda t}$) [3].

В Великобритании нормирование опирается на два специфических параметра: *CI* – сколько отключений фиксируется за год в расчёте на сотню абонентов, и *СМІ* – какова среднегодовая продолжительность перерывов в расчёте на одного клиента. При этом, в отличие от российской системы, британские регуляторы требуют включать в оценку и аварийные, и плановые отключения, однако последние вводятся с весовым коэффициентом 0,5.

Итальянский подход базируется на уже упомянутых *SAIFI* и *SAIDI*, но с чёткими границами. Итальянская методика включает в отчётность лишь те перерывы, чья протяжённость лежит в диапазоне от 180 секунд до 8 часов. Сбои, спровоцированные погодой или обстоятельствами вне контроля сетевой организации, статистически не учитываются. Помимо этого, в Италии применяется ещё один ориентировочный индекс – *MAIFI*. Он предназначен для регистрации очень коротких отключений: тех, которые длятся от одной секунды до трёх минут.

В Нидерландах надёжность систем электроснабжения характеризуется *SAIFI* и *CAIDI*. При расчёте учитываются все перерывы в электроснабжении, включая те, на которые сетевая организация повлиять не может. Исключениями могут служить форс-мажорные события, такие как террористические акты.

В США расчётные показатели надёжности электроснабжения отличаются в зависимости от штата. Так, например, в Нью Йорке основными показателями являются *SAIFI* и *CAIDI*. В то же время в Калифорнии основными являются *SAIFI*, *SAIDI* и *MAIFI*.

В США показатели частоты и длительности перерывов учитываются исключительно для нормального эксплуатационного режима. Из анализа выводятся внештатные ситуации, когда без света остаются не менее 10% потребителей в зоне ответственности или когда длительность отключения превышает сутки (24 часа) [4].

Резюмируя результаты сопоставления, можно констатировать: отечественная нормативная база в части требований к надёжности в целом синхронизирована с общемировыми тенденциями и подходами. При этом главными вопросами, нуждающимися в дополнительной проработке, остаются установление целевых количественных значений показателей надёжности в реальных эксплуатационных условиях, а также формирование прозрачных критериев для их оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEEE Std 1366-2022. IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. – New York : IEEE, 2022. – 44 p. – URL: <https://iee.org> – ISBN 978-1-5044-9006-1.
2. Папков, Б. В. Требования к решению проблемы надёжности электроснабжения / Б. В. Папков, М. В. Шарыгин // Энергетическая политика. – 2015. – № 2. – С. 47-54. – EDN UKTDQV.
3. Богданов, П. А. Развитие информационных измерительных систем и обработка измерительной информации в телекоммуникационных системах / П. А. Богданов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7, № 10. – С. 34-36. – EDN RZAJSZ.
4. Надёжность электрических машин / Ермолин Н.П., Жерихин И.П. Л: Энергия, 1976. - 248с.

УДК 621.039.5

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДЕГРАДАЦИИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000

Никитас Г.Н.¹, Озерный Д.А.², Лапкис А.А.³

^{1,2,3}Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия

³Ростовская атомная станция – филиал АО «Концерн Росэнергоатом», г. Волгодонск, Россия

¹nikitas.gleb@mail.ru

Аннотация: Работа посвящена количественной оценке влияний загрязнений и деградации поверхности трубчатки регенеративных подогревателей (ПНД, ПВД), сепараторов-пароперегревателей (СПП) и конденсатора паротурбинной установки (ПТУ) энергоблока ВВЭР-1000 на его электрическую мощность. С использованием САПР United Cycle выполнено моделирование стационарных режимов турбоустановки К-1000-60/1500-2 при последовательном уменьшении теплообменной поверхности различных аппаратов. Установлено, что снижение коэффициента теплопередачи вследствие отложений и коррозии трубного пучка приводит к росту недогрева питательной воды и конденсата, повышению давления в конденсаторе и, как следствие, к недовыработке электроэнергии. Выполнена оценка экономического эффекта различных аппаратов за 30 суток эксплуатации. Предложены рекомендации по использованию цифровых двойников для своевременной диагностики состояния и оптимизации графика очистки теплообменного оборудования.

Ключевые слова: ВВЭР-1000, турбинная, регенеративные подогреватели, сепаратор-пароперегреватель, конденсатор турбины, загрязнение теплообменной поверхности, коэффициент теплопередачи, недовыработка электроэнергии, цифровой двойник.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF HEAT TRANSFER SURFACE DEGRADATION ON THE ENERGY AND ECONOMIC LOSSES OF A VVER-1000 POWER UNIT

Nikitas G.N.¹, Ozerniy D.A.², Lapkis A.A.³

^{1,2,3}*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI" Volgodonsk, Russia*

³*Rostov Nuclear Power Plant – branch of JSC "Concern Rosenergoatom", Volgodonsk, Russia*

¹*nikitas.gleb@mail.ru*

Abstract. The work is devoted to the quantitative assessment of the impact of fouling and tube bundle surface degradation in regenerative heaters (LP and HP heaters), moisture separator reheaters (MSR), and the steam turbine unit condenser of a VVER-1000 power unit on its electrical output. Using the United Cycle CAD system, stationary modes of the K-1000-60/1500-2 turbine unit were simulated under conditions of a sequential reduction in the heat exchange surface of various apparatuses. It was found that a decrease in the heat transfer coefficient due to deposits and corrosion of the tube bundle leads to an increase in the terminal temperature difference of feedwater and condensate, a rise in condenser pressure, and, consequently, to electricity generation loss. An assessment of the economic effect of various apparatuses over 30 days of operation was performed. Recommendations are proposed for the use of digital twins for timely condition monitoring and optimization of the heat exchange equipment cleaning schedule.

Keywords: VVER-1000, turbine, feedwater heaters, moisture separator reheater, turbine condenser, fouling of heat exchange surface, heat transfer coefficient, electricity generation loss, digital twin.

Загрязнение внутренней и внешней поверхностей теплообменных аппаратов является неизбежным процессом при их длительной эксплуатации. В паротурбинных установках АЭС отложения, биологические обрастания и коррозионные изменения необратимо снижают коэффициент теплопередачи. В соответствии с уравнениями теплопередачи, это ведёт к росту недогрева в подогревателях и повышению давления в конденсаторе, что является прямой причиной снижения электрической мощности и КПД энергоблока [1].

Целью работы является количественное определение влияния степени загрязнения (процента работоспособной поверхности) регенеративных подогревателей низкого и высокого давления, СПП и конденсатора турбины на недовыработку электрической мощности энергоблока ВВЭР-1000.

Составлена расчетная модель турбоустановки К-1000-60/1500-2 с помощью САПР «М Системы» United Cycle [2]. Модель верифицирована для номинального режима.

На 30-е сутки среди регенеративных подогревателей наибольшие экономические потери внесли ПВД (рис. 1).

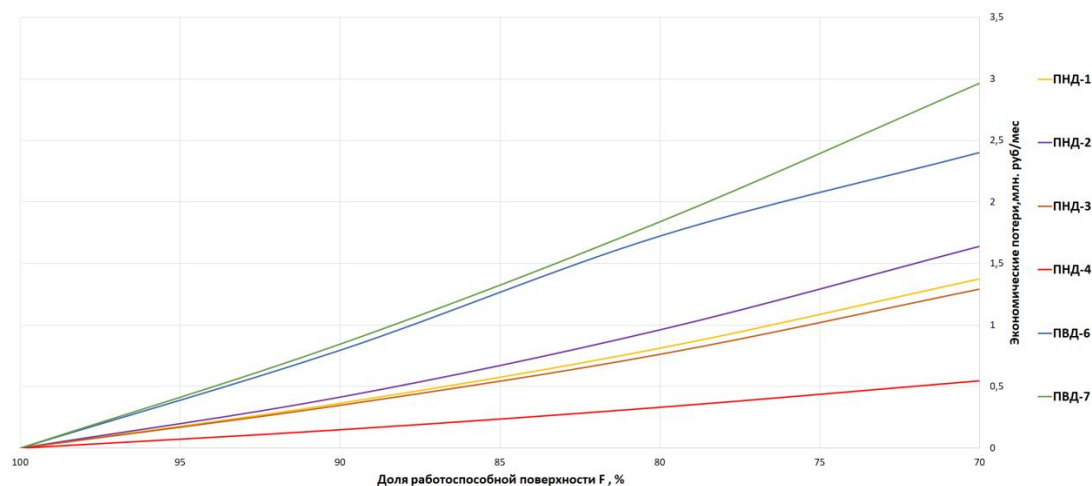


Рисунок 1 – Экономические потери энергоблока вносимые ПНД и ПВД

Для ступеней СПП и конденсатора турбины моделирование проведено в зимний и летний периоды. В зимний период 2-ая ступень промперегрева вносит большую недовыработку в сравнении с летним в связи с увеличением глубины вакуума (рис. 2).

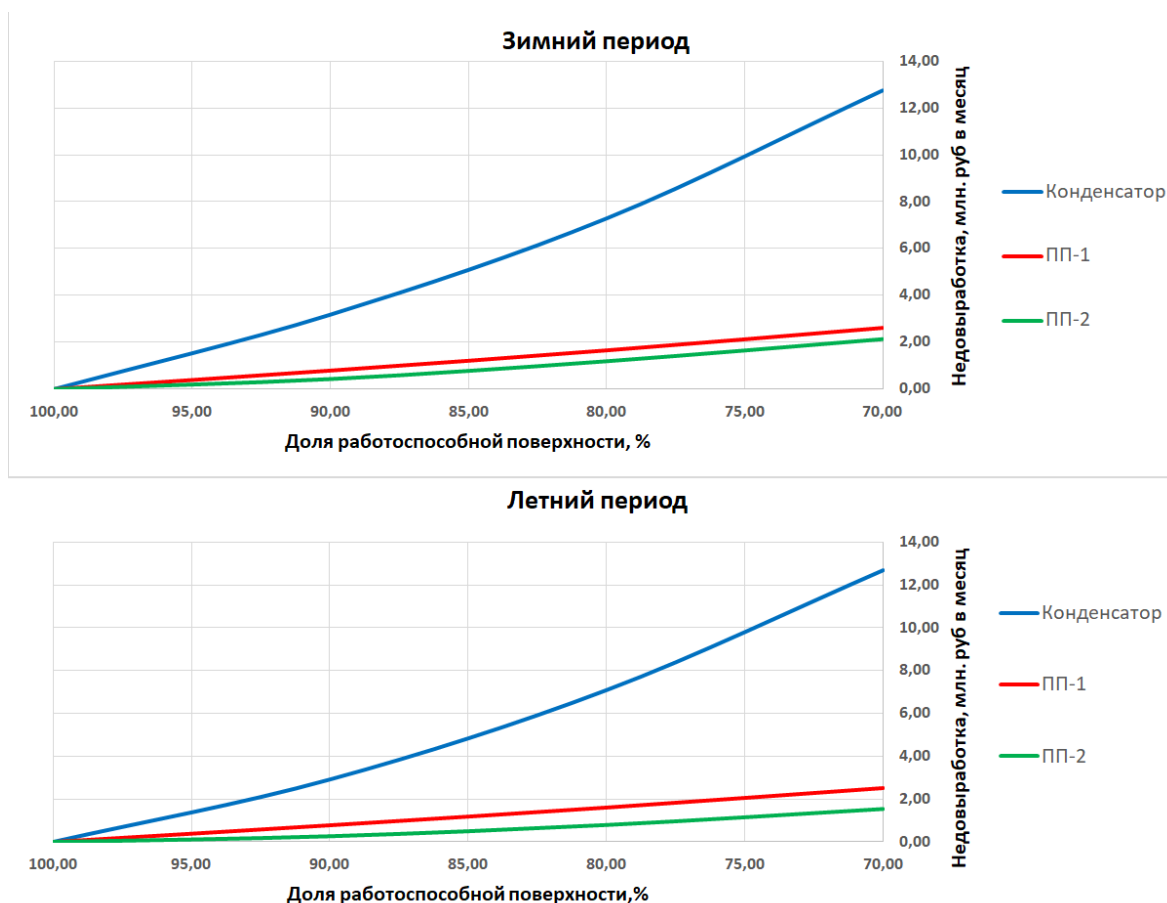


Рисунок 2 - Экономические потери энергоблока вносимые СПП и конденсаторами в зимний и летний периоды

В результате, недовыработка при деградации поверхности теплообмена одновременно в четырёх ПНД, двух ПВД, СПП и конденсаторе может достигать 11,7 МВт. При стоимости электроэнергии первой ценовой зоны оптового рынка 2,3 руб/(кВт·ч), потеря дохода на одном блоке за 30 суток непрерывной работы составляет 19,4 млн. руб. В масштабах атомной электростанции, потери могут составлять от 50 до 100 млн. руб. в год.

Современные подходы, основанные на применении самоадаптирующихся цифровых двойников, позволяют достоверно оценивать техническое состояние и прогнозировать тренды деградации каждого теплообменника в отдельности, обеспечивая принятие обоснованных решений о выводе в ремонт [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галанова М.Н., Бартель Е.Р., Богуш Н.В. // Методы борьбы с карбонатными отложениями на теплообменном оборудовании в атомной энергетике // Глобальная ядерная безопасность. – 2020. – № 3. – С. 78-84. – DOI: <https://doi.org/10.26583/GNS-2020-03-08>.
2. Romanov S., Kutakhov A., Zhuk N., Demidov O., Romanov K. // Software «United Cycle» for simulation of flow sheets of power plants // ECOS-2003. – Kopenhagen. – 2003. – P. 1691-1696.
3. Аникина И.Д., Гурьянов А.А. // От статических нормативов к динамическому цифровому моделированию характеристик // Энергопромышленность России. – 2026. – № 503-504. – URL: <https://www.eprussia.ru/epr/503-504/145371.htm> (дата обращения: 06.05.2026).

УДК 621.039, 519.24

УЧЕТ СТАРЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС ЗА ВРЕМЯ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ

Новоселов Г.Д.¹, Лапкис А.А.², Навозов А.С.³, Гордеев С.С.⁴

^{1,2,3,4}*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
г. Волгодонск, Россия*

²*Ростовская атомная станция – филиал АО «Концерн Росэнергоатом»,
г. Волгодонск, Россия
grisha-novoselov@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается проблема анализа эксплуатационных данных для получения показателей надежности оборудования. Предложена методика расчета показателей надежности с разделением оборудования на возрастные когорты. Данная методика позволяет учесть старение оборудования за время проведения обследования, благодаря чему на больших сроках наблюдения обеспечивается верное определение наработки и правильное деление на возрастные группы. Это дает возможность провести исследование зависимости надежности от времени работы оборудования.

Ключевые слова: трубопроводная арматура, АЭС, техническое обслуживание, ремонт, интенсивность отказов, риск-ориентированная стратегия, ВАБ.

ACCOUNTING FOR THE AGING OF NUCLEAR POWER PLANT EQUIPMENT DURING THE OBSERVATION PERIOD WHEN CONDUCTING A RELIABILITY ANALYSIS

Novoselov G.D.¹, Lapkis A.A.², Navozov A.S.³, Gordeev S.S.⁴

^{1,2,3,4}*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University
“MEPhI” Volgodonsk, Russia*

²*Rostov Nuclear Power Plant – branch of JSC “Concern Rosenergoatom”, Volgodonsk, Russia
grisha-novoselov@mail.ru*

Abstract. This paper examines the problem of analyzing operational data to obtain equipment reliability indicators. A method for calculating reliability indicators is proposed, dividing equipment into age cohorts. This method takes into account equipment aging over the course of the survey, ensuring accurate determination of operating time and correct division into age groups over long observation periods. This enables a study of the relationship between reliability and equipment operating time.

Keywords: pipeline valves, nuclear power plants, maintenance, repair, failure rate, risk-based strategy, PSA.

В настоящее время при эксплуатации АЭС актуален переход к стратегиям техобслуживания и ремонта по состоянию и по эксплуатационному риску [1–3].

При анализе надёжности оборудования АЭС за длительный период наблюдения традиционно используют средний возраст отказавших элементов, что нивелирует тренд роста интенсивности отказов. В нашей предыдущей работе [4] были собраны данные для риск-ориентированной стратегии ТОиР, однако оценка параметра потока отказов выполнялась статически. За время наблюдения в 10 лет оборудование должно сменить возрастные группы, что было плохо учтено в статическом анализе.

Целью данной работы является разработка методики когортного анализа. В рамках данной методики возраст оборудования определяется не в среднем за период, а производится деление исходного периода наблюдения на подпериоды с определением возраста каждой отдельной единицы оборудования на каждом подпериоде отдельно. Это позволяет учесть старение оборудования за время наблюдения за счет перехода оборудования из одной когорты в другую по мере старения.

Анализ показателей надёжности проводится для каждой когорты в отдельности. Данные оборудования и дефектах берутся из исходных данных, к которым относятся:

1. Сведения об оборудовании, содержащие необходимые для классификации параметры, дату ввода в эксплуатацию T_3 для каждой единицы оборудования;
2. Журнал дефектов, содержащий сведения для классификации дефектов и дату регистрации дефекта T_d ;
3. начало $T_{п_нач}$ и конец $T_{п_кон}$ периода наблюдения, количество подпериодов $N_{п}$ либо длительность одного подпериода $\Delta T_{п}$;
4. количество когорт оборудования $N_{к}$ либо шаг вычисления когорты $\Delta T_{к}$.

Исходные данные об оборудовании проходят классификацию и деление на выборки по выбранным признакам. Каждый анализ проводится над определенной выборкой однотипного оборудования.

В первую очередь определяются временные границы подпериодов. При задании количества подпериодов, необходимо вычислить длительность одного периода:

$$\Delta T_{п} = \frac{T_{п_кон} - T_{п_нач}}{N_{п}}$$

Далее необходимо определить временные границы когорт. Для определения нижней границы необходимо определить единицу оборудования с наименьшей наработкой на момент начала наблюдения $T_{п_нач}$:

$$T_{к_нач} = \min(T_{п_нач} - T_3)$$

Для определения верхней границы необходимо определить единицу оборудования с наибольшей на момент конца наблюдения $T_{п_кон}$:

$$T_{к_кон} = \max(T_{п_кон} - T_3)$$

При задании количества когорт, необходимо вычислить возрастной интервал одной когорты:

$$\Delta T_{к} = \frac{T_{к_кон} - T_{к_нач}}{N_{к}}$$

После вычисления границ подпериодов и когорт необходимо провести определение количества единиц оборудования $N_{з\ iк}$ и произошедших дефектов $N_{д\ iк}$. Для этого необходимо для каждой единицы оборудования определить соответствующую ей когорту на момент середины каждого из периодов и определить количество произошедших за этот подпериод наблюдения дефектов $N_{д\ з\ iп}$ на данной единице оборудования.

На основе полученного значения выбирается соответствующая когорта, для которой значение количества отнесенного к ней оборудования увеличивается на единицу:

Далее определяется количество дефектов $N_{д\ з\ iп}$, зафиксированных на данной единице оборудования за подпериод наблюдения, и добавляется к количеству дефектов когорты, к которой отнесена единица оборудования.

После обработки всех единиц оборудования для каждого из подпериодов и определения для каждой когорты количества единиц оборудования $N_{з\ iк}$ и зафиксированных дефектов $N_{д\ iк}$ необходимо рассчитать усредненное значение интенсивности отказов:

$$\lambda_{ср} = \frac{\sum_{iк=1}^{N_k-1} N_{д\ iк}}{\Delta T_{п} \cdot \sum_{iк=1}^{N_k-1} N_{з\ iк}}.$$

Усредненные по когортам значения интенсивности отказов рассчитываются по формуле:

$$\lambda_{iк} = \frac{N_{д\ iк}}{\Delta T_{п} \cdot N_{з\ iк}},$$

где $iк = 1, 2 \dots (N_k - 1)$.

Полученные оценки интенсивности отказов для каждой когорты могут стать основой для дальнейшего регрессионного анализа с применением различных методов аппроксимации.

Динамическое когортное разделение позволяет получить данные, необходимые для внедрения риск-ориентированной стратегии ТОиР: для каждой когорты назначаются индивидуальные интервалы профилактики, а момент перехода оборудования в старшую когорту служит сигналом для необходимости изменения межремонтных интервалов.

Кроме этого, деление оборудования на равномерные когорты может не являться оптимальным; дальнейший анализ должен включать в себя разделение оборудования на меньшее число неравномерных когорт, объединяющих оборудование в соответствии с его возрастным распределением и учетом процессов приработки и старения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колыхалин, В. М. О методе назначения корректирующего технического обслуживания элементам АЭС при реализации методологии RCM / В. М. Колыхалин // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. – 2024. – № 1(35). – С. 40-50. – EDN WUZAMB.
2. Колыхалин, В. М. Мониторинг и прогнозирование параметров работоспособности оборудования АЭС для оптимизации профилактического технического обслуживания / В. М. Колыхалин // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. – 2024. – № 4(38). – С. 52-66. – EDN SUZWQS.
3. Адаменков А.К., Рясный С.И. Применение риск-ориентированного подхода при переходе к стратегии ремонта арматуры АЭС по фактическому состоянию // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Обеспечение безопасности АЭС. – 2008. – № 23. – С. 85-88.
4. Сбор исходных данных для реализации риск-ориентированной стратегии ТОиР оборудования АЭС / А. А. Лапкис, Г. Д. Новоселов, П. В. Поваров, П. В. Кащенко // Автоматизация в промышленности. – 2026. – № 2. – С. 3-9. – EDN NFSEOM.

УДК 621.039.587

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СМЕШАННЫХ ПОЛЯХ НЕЙТРОННОГО И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Носков К. И., Ташлыков О.Л., Гордиенко Е. С., Астафьев А. В., Пышкина М.Д.

Уральский федеральный университет имени первого президента России

Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

noskovkl00@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается проблема минимизации массы и габаритов биологической защиты при обеспечении радиационной безопасности. Выполнено численное моделирование защитных свойств шестислойного гетерогенного композита общей толщиной 16,8 см методом Монте-Карло с использованием комплекса FLUKA/Flair. Исследована эффективность чередования слоев Ti–Mo, HDPE, LiOH, Gd₂O₃, Er₂O₃ и Zr для ослабления смешанного нейтронно-гамма излучения в энергетическом диапазоне от 10⁻⁹ до 10 МэВ. Определены длины релаксации для тепловых и промежуточных нейтронов. Показано преимущество разработанной многослойной конфигурации перед гомогенными аналогами за счет селективного захвата нейтронов и минимизации вторичного гамма-излучения.

Ключевые слова: радиационная защита, метод Монте-Карло, FLUKA, многослойный композит, длина релаксации, нейтронное излучение.

INVESTIGATION OF SHIELDING CHARACTERISTICS OF MULTILAYER COMPOSITES BASED ON RARE-EARTH ELEMENT COMPOUNDS IN MIXED NEUTRON AND GAMMA RADIATION FIELDS

Noskov K. I., Tashlykov O. L., Gordienko E. S., Astafiev A. V., Pyshkina M. D.

*Ural Federal University named after the first President of Russia, B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia
noskovkl00@mail.ru*

Abstract. The paper considers the problem of minimizing the mass and dimensions of biological shielding while ensuring radiation safety. Numerical simulation of the shielding properties of a six-layer heterogeneous composite with a total thickness of 16.8 cm was performed using the Monte Carlo method with the FLUKA/Flair code package. The efficiency of alternating layers of Ti–Mo, HDPE, LiOH, Gd₂O₃, Er₂O₃, and Zr for attenuating mixed neutron-gamma radiation in the energy range from 10⁻⁹ to 10 MeV was investigated. Relaxation lengths for thermal and intermediate neutrons were determined. The advantage of the developed multilayer configuration over homogeneous analogs is demonstrated due to selective neutron capture and minimization of secondary gamma radiation.

Keywords: radiation shielding, Monte Carlo method, FLUKA, multilayer composite, relaxation length, neutron radiation.

На сегодняшний день в отечественной атомной энергетике существует проблема обеспечения эффективной радиационной защиты в условиях смешанных нейтронно-гамма полей. Традиционные материалы биологической защиты не способны одновременно ослаблять обе компоненты излучения, а наличие технологических зазоров и неплотностей приводит к прострелам, снижающим эффективность экранирования.

В нашем исследовании разработана многослойная композитная система защиты, последовательно реализующая замедление быстрых нейтронов, захват тепловых нейтронов и финишное ослабление гамма-излучения. Предельный случай – полная сборка из шести слоёв (Ti+Mo → HDPE → LiOH → Gd₂O₃ → Er₂O₃ → Zr+добавки) толщиной 16,8 см. Геометрическая модель контейнера показана на рисунке 1.

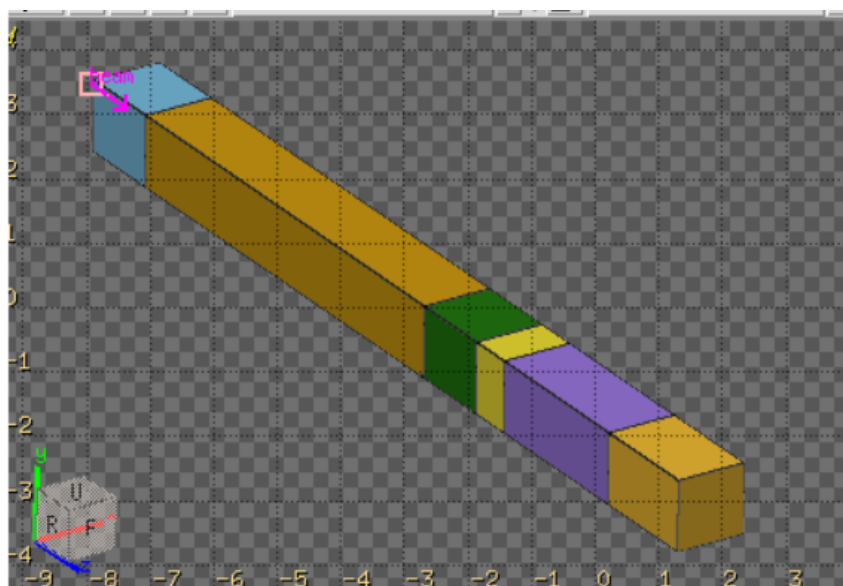


Рисунок 1 – Геометрическая модель многослойной защитной сборки

Комплексная верификация проведена тремя методами: моделирование в FLUKA, расчёты по XCOM и эксперименты на ИБН-23 и ¹³⁷Cs. Моделирование показало ослабление дозы за защитой. Гадолиний (Gd₂O₃) обеспечивает высокое поглощение нейтронов и существенный вклад в гамма-экранирование. Эксперименты подтвердили критическое

влияние зазоров: при неплотной укладке кратность ослабления резко падает, после герметизации достигнуто значительное улучшение.

Для устранения прострелов разработана технология аддитивного производства градиентных композитов, объединяющих замедлитель и поглотитель в одном материале. Методом шнековой экструзии получены композитные прутки на основе HIPS с Gd_2O_3 для FDM-печати. Планируется создание градиентной структуры с плавным нарастанием концентрации поглотителя от 0 до 25%.

Таким образом, предложенная система обеспечивает комплексное ослабление смешанного излучения, а разработанные аддитивные технологии позволяют создавать монолитные градиентные экраны без межслойных зазоров, исключая прострелы в биологической защите.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Хомяков А.П., Русских И.М., Селезнев Е.Н. Расчетно-экспериментальное исследование гомогенных защит от гамма-излучения // Ядерная и радиационная безопасность. – 2015. – №3 (77). – С. 17-24.
2. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Хомяков А.П., Русских И.М., Селезнев Е.Н. Экспериментальное исследование защит от гамма-излучения органо-металлических композиций // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – №2 (15). – С. 49-55.
3. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Булатов В.И., Шастин А.Г. О проблеме снижения дозовых затрат персонала АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2011. – №1. – С. 55-60.
4. Шикунов И.А., Ташлыков О.Л., Носков К.И. Расчетно-экспериментальное исследование композитных радиационных защитных материалов с наполнителем [Электронный ресурс] // Проблемы и перспективы развития энергетики: материалы конференции. – Казань: КГЭУ, 2025. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=87891423> (дата обращения: 24.03.2026).

УДК 621.039.54

ПОТЕНЦИАЛ И БЕЗОПАСНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРИЯ В СИСТЕМЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Плюснин В.В.

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Обнинск, Россия
Vladimirplusnin928@gmail.com*

Аннотация. Обеспечение существующих и строящихся реакторов упирается в ограниченность запасов природного ^{235}U . Актуально адаптировать парк реакторов для использования ^{232}Th . Преимущества ТТЦ: повышение радиационной безопасности, снижение риска аварий из-за свойства топлива и существенное сокращение периода полураспада радиоактивных отходов. работа заключается в сравнении оптимальных топливных загрузок реактора при использовании двух различных видов топлива.

Ключевые слова: Торий, РБМК, нейтронно-физический расчёт, метод Монте-Карло, экологическая безопасность.

POTENTIAL AND SAFETY FOR USING THORIUM IN NUCLEAR ENERGY

Plusnin V.V.

*Obninsk Institute of Atomic Energy – Branch of the National Research Nuclear University “MEPhI”, Department of Nuclear Physics and Technologies, Obninsk, Russia
Vladimirplusnin928@gmail.com*

Abstract. Providing fuel for existing and under-construction reactors is constrained by the limited reserves of natural ^{235}U . It is relevant to adapt the reactor fleet to utilize ^{232}Th . Advantages of the thorium cycle: increased radiation safety, reduced accident risk due to fuel properties, and a significant reduction in the half-life of radioactive waste. The work consists in comparing the optimal fuel loadings of a reactor using two different types of fuel.

Keywords: Thorium, RBMK, neutron-physics calculation, Monte Carlo method, environmental safety.

Современная ядерная энергетика сталкивается с фундаментальным ограничением ресурсной базы, связанной с исчерпанием доступного для добычи ^{235}U , доля которого в природном уране составляет лишь $\sim 0.7\%$ [1]. Основу ядерной энергетики (ЯЭ) составляют электростанции с реакторами на тепловых нейтронах, которые нужно обеспечить топливом на весь период их эксплуатации (60 и более лет). В таких условиях критически важным направлением является адаптация существующих технологий, для использования альтернативных топливных ресурсов, таких как торий [2]. Ториевые реакторы обладают преимуществами в плане радиационной безопасности:

В начале 40-х гг. прошлого века проводились эксперименты для реализации уран-ториевого цикла. Проводились исследовательские и конструкторские работы во многих крупных странах (в СССР, Германии, Индии, Японии, Великобритании, США и Франции) [3]. На данный момент исследования и разработки в области ториевой энергетики поддерживаются в Индии и Китае. В Индии разработан и сконструирован исследовательский реактор «Kamini» - реактор на ^{233}U . С 2023 года в Китае в пустыне Гоби эксплуатируется жидко-солевой реактор «TMSR-LF1» мощностью 2 МВт. На данный момент анонсирован план по созданию контейнеровоза с реактором на ториевом топливе (проектной мощностью 200 МВт). В 1990-2000-е годы в Российской Федерации был разработан концептуальный проект модификации ВВЭР-1000, обозначенный как «ВВЭР-Т» [4]. Основной целью данного концепта была интеграция тория в ядерный топливный цикл без изменения основных принципов работы реакторной установки и её конструкции.

Ториевые реакторы практически исключают возможность крупных аварий, подобных Чернобыльской. Воздушное охлаждение и быстрое затвердевание расплава тория на воздухе практически исключают возможность радиоактивных утечек. Период полураспада их радиоактивных отходов составляет всего несколько сотен лет [5].

Построение системы ядерной энергетики требует оптимизации потребления делящихся материалов тепловыми реакторами. В данной работе сравнивается оптимальная загрузка реактора для двух разных видов топлива. Расчёт изменения изотопного состава произведен в программном комплексе, реализующем метод Монте-Карло с использованием упрощённой модели тепловыделяющей сборки реактора РБМК (рисунок 1).

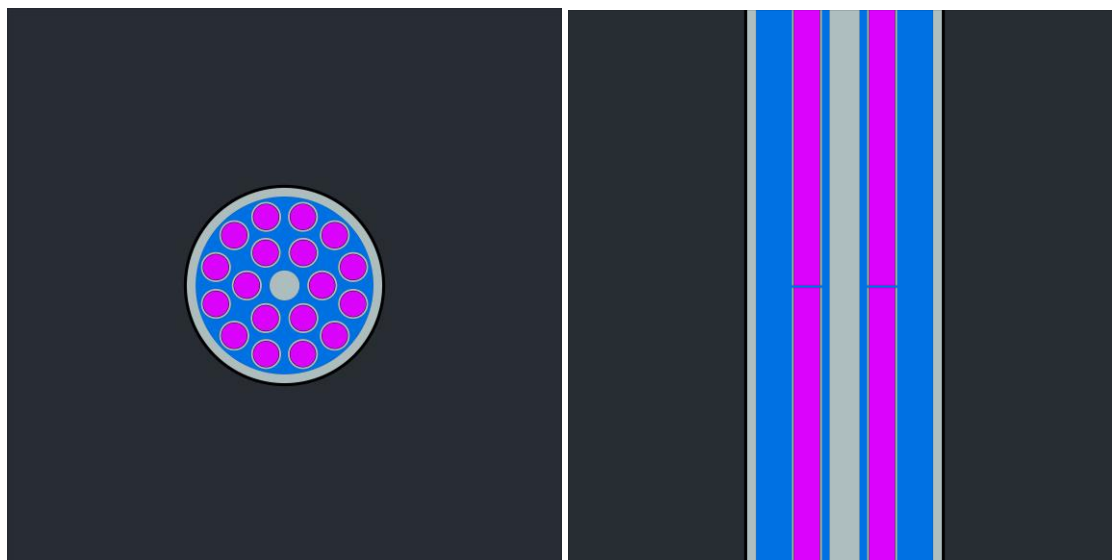


Рисунок 1 – вид модели тепловыделяющей сборки горизонтальный и вертикальный разрез

Рассматривались следующие топлива ^{238}U - ^{235}U и Th - ^{233}U . Для каждого вида топлива был найден Кв. Был найден оптимум загрузки для топлива Th - ^{233}U .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А. // Торий в ядерной энергетике // Москва : ИздАТ. – 2014. – С. 7-15.
2. Алексеев П.Н. // Место и роль тория в ядерной энергетике // Инноватика и экспертиза: научные труды. – 2016. – № 3(18). – С. 164-174. – EDN YLIJN.
3. Ерилин И.С. // Потенциал тория как основы ядерного топлива // Инновационные технологии и стратегии развития промышленности : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа : ОМЕГА САЙНС, 2017. – С. 33-38.
4. Пономарев-Степной Н.Н., Лунин Г.Л., Морозов А.Г., Кузнецов В.В., Кедров В.В., Кузнецов В.Ф. // Легководный ториевый реактор ВВЭР-Т // Атомная энергия. – 1998. – Т. 85, вып. 4. – С. 263-275.
5. Ерофеева В.В., Жукова Ж.С., Каруш Д.О. // Торий в ядерной энергетике как аспект энергетической безопасности России // Экономика и безопасность. – 2025. – № 3. – С. 152-158. – EDN XLNCHV.

УДК 621.039.53

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЕФЕКТОВ В ЦИРКОНИЕВЫХ ОБОЛОЧКАХ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИОНАМИ ГЕЛИЯ

Рас Эль Уэд А.Р.¹, Сурин В.И.², Исаев Р.Ш.³, Бокучава Г.Д.⁴,
Папушкин И.В.⁵, Арадейб А.О.⁶

^{1,2,6}Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия

^{3,4,5}Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

¹raoufraseloued@gmail.com

Аннотация. В ОИЯИ г. Дубна проведены нейтронно-графические и электрофизические исследования циркониевой оболочки, облученной там же на ускорителе ЭГ-5 в вакуумной камере (остаточное давление $5 \cdot 10^{-5}$ Торр) ионами гелия с энергией 2 МэВ. Результаты по дифракции нейтронов получены на фурье-дифрактометре ФСД (фурье стресс дифрактометр) на импульсном реакторе ИБР-2 в лаборатории нейтронной физики. Проведена серия измерений контактной разности потенциалов на поверхности оболочки методом ручного поточечного сканирования. Измерения выполняли до начала и после окончания облучения. Плотность точек контроля составляла $0,7 \text{ мм}^{-2}$. В поверхностном слое толщиной несколько микрометров обнаружены обширные кластерные скопления дефектов.

Ключевые слова: облучение, циркониевые оболочки, сканирующая контактная потенциометрия

STUDY OF SURFACE CLUSTERING OF DEFECTS IN ZIRCONIUM SHELLS UNDER IRRADIATION WITH HELIUM IONS

Ras El Oued A.R.¹, Surin V.I.², Isaev R.Sh.³, Bokuchava G.D.⁴,
Papushkin I.V.⁵, Aradeib A.O.⁶

^{1,2,6}National Research Nuclear University MPhI, Moscow, Russia

^{3,4,5}Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

Abstract. Neutron-graphic and electrophysical studies of a zirconium shell irradiated with 2 MeV helium ions in a vacuum chamber (residual pressure $5 \cdot 10^{-5}$ Torr) at the JINR in Dubna were carried out at the same site. Neutron diffraction results were obtained using a Fourier stress diffractometer (FSD) at a pulsed reactor IBR-2 reactor was tested in the neutron physics laboratory. A series of measurements of the contact potential difference on the cladding surface was conducted using manual point-by-point scanning. The measurements were taken before and after irradiation. The density of the control points was 0.7 mm^{-2} . Extensive clusters of defects were detected in the surface layer several micrometers thick.

Keywords: irradiation, zirconium shells, scanning contact potentiometry

Циркониевая оболочка диаметром 9 мм и длиной 100 мм была локально облучена на ускорителе ЭГ-5 ОИЯИ (г. Дубна) в вакуумной камере ($5 \cdot 10^{-5}$ Торр) ионами гелия с энергией 2 МэВ [1]. Для проведения эксперимента краевая часть оболочки была разбита по длине окружности на четыре равные части. Каждый такой участок площадью, примерно равной 1 см^2 , облучали в течение одного часа. Плотность потока частиц составляла $6,25 \cdot 10^{12}$ частиц/см²·сек. Достигнутый флюенс равен $9 \cdot 10^{16}$ частиц/см².

Проведена серия измерений поверхности оболочки методом ручного поточечного сканирования [2] по 15-ти продольным трекам с азимутальным шагом сканирования 1,9 мм. Измерения выполняли до начала и после окончания облучения. Плотность точек контроля составляла 0,7 мм⁻². Результаты измерений необлученного и облученного материала анализировались на 20-ти уровнях фиксации в интервале SLS от 2,000 до 6,097.

Пострадиационные исследования по дифракции нейтронов на фурье-дифрактометре ФСД (Фурье-Стресс-Дифрактометр) [3] импульсного реактора ИБР-2 в ЛНФ ОИЯИ (г. Дубна) проводились после трех недельной выдержки оболочки при нормальных условиях. Разрешающая способность детектора обратного рассеяния (BS) $\Delta d/d \approx 2 \cdot 10^{-3}$ при $d = 2 \text{ \AA}$, $\pm 90^\circ$ -детекторов $\Delta d/d \approx 4 \cdot 10^{-3}$ при $d = 2 \text{ \AA}$. Измеренные дифракционные спектры были обработаны методом профильного анализа по Ритвельду [4], определены параметры кристаллической решетки материала и параметры ширины дифракционных пиков.

В поверхностном слое толщиной несколько микрометров обнаружены кластерные образования дефектов, которые связаны как со скоплениями пузырьков гелия, так и с ди-междоузлиями (dumbbells) атомов циркония [5] (рисунок 1).

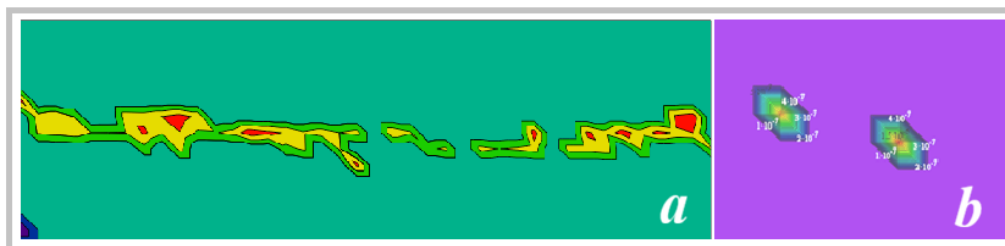


Рисунок 1 – Кластерные образования на поверхности оболочки (a) и опорные рефлексы образований (b).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ledo Pereda L.M., Semenov V.N., Rikhvitsky V.S. et al. Ion Beam Scanning System for EG-5 Accelerator// Phys. Part. Nuclei Lett. V.21, PP. 938-945, 2024. <https://doi.org/10.1134/S1547477124701061>
2. Сурин В.И., Иванов М.Б., Волкова З.С., Щербаков А.А. Конструирование приборов и установок электрического неразрушающего контроля. Часть 1. Теоретические основы контактной потенциометрии. – М; НИЯУ МИФИ, 2024.-188 с.
3. Gizo Bokuchava Neutron Fourier Stress Diffractometer FSD at the IBR-2 pulsed reactor// Crystals, 2018, Vol. 8, Issue 8:318. <http://doi.org/10.3390/cryst8080318>
4. Rietveld H.M. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures// Journal of Applied Crystallography, Vol. 2, 1969, pp. 65-71. <http://doi.org/10.1107/S0021889869006558>
5. Hanliang Zh., Mengjun Q., Tao W., Joel D., Mihail I. Atomic-scale study of He ion irradiation-induced clustering in α -Zirconium// Acta Materialia, 244 (2023). 118584.

УДК 621.039.54

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЙ ЭФФЕКТОВ РЕАКТИВНОСТИ ПРИ ГОМОГЕННОМ РАЗМЕЩЕНИИ АМЕРИЦИЯ В ТОПЛИВЕ РЕАКТОРА ВВЭР

Спасенников А.Х., Скулкин В.О.

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Обнинск, Россия
adelkhaled972@gmail.com*

Аннотация. Целью работы является сравнительный анализ эффективности выжигания америция в форме металла и диоксида в инертной матрице MgAl_2O_4 применительно к условиям теплового реактора ВВЭР-1200. В качестве расчётной модели использована модель тепловыделяющей сборки (ТВС) с заменой 12 штатных ТВЭГов на композицию из инертной матрицы с гомогенно добавленным америцием (10% от массовой доли). Численное моделирование выполнено в программном комплексе SERPENT на основе метода Монте-Карло. Основные изучаемые характеристики: эффективный коэффициент размножения нейтронов, глубина выгорания америция и нуклидный состав отработавшего ядерного

топлива. В результате расчётов достигнута утилизация более 95% америция на конец топливной кампании (1500 сут) относительно начальной загрузки, определён наиболее эффективный вариант добавления америция (в форме металла или диоксида) в инертную матрицу, а также оценена доля трансмутации америция в другие минорные актиниды. Проведённое исследование позволяет обосновать выбор формы америция и типа матрицы для его эффективной трансмутации в тепловых реакторах в рамках замыкания топливного цикла.

Ключевые слова: америций, минорные актиниды, ВВЭР-1200, тепловыделяющая сборка, инертная матрица MgAl_2O_4 , трансмутация, выгорание, SERPENT, метод Монте-Карло, эффективный коэффициент размножения.

CHARACTERISTIC OF CHANGES IN REACTIVITY EFFECTS AT HOMOGENEOUS PLACEMENT OF AMERICIUM IN THE FUEL OF THE VVER REACTOR

Spasennikov A.K., Skulkin V.O.

*Obninsk Institute of Atomic Energy – Branch of the National Research Nuclear University “MEPhI”, Department of Nuclear Physics and Technologies, Obninsk, Russia
adelkhaled972@gmail.com*

Abstract. The aim of this work is a comparative analysis of americium burning efficiency in the form of metal and dioxide within an inert MgAl_2O_4 matrix under thermal reactor conditions (VVER-1200). The computational model is based on a fuel assembly (FA) design in which 12 standard Gd-doped fuel rods are replaced with a composite consisting of an inert matrix homogeneously mixed with americium (10 wt%). Numerical simulations are performed using the SERPENT code based on the Monte Carlo method. The main parameters under study are the effective neutron multiplication factor, americium burnup depth, and spent nuclear fuel nuclide composition. The results demonstrate an americium utilization rate exceeding 95% at the end of the fuel cycle (1500 days) relative to the initial loading. The most efficient form of americium (metal vs. dioxide) added to the inert matrix is identified, and the fraction of americium transmuted into other minor actinides is estimated. This study provides a basis for selecting the americium form and matrix type for effective transmutation in thermal reactors within the framework of a closed nuclear fuel cycle.

Keywords: americium, minor actinides, VVER-1200, fuel assembly, inert MgAl_2O_4 matrix, transmutation, burnup, SERPENT, Monte Carlo method, effective multiplication factor.

В настоящей работе рассматривается проблема накопления и утилизации минорных актинидов (МА), в частности америция. МА накапливаются в топливе в процессе эксплуатации реактора и вносят основополагающий вклад в радиотоксичность ОЯТ в долгосрочной перспективе. Согласно тенденции замыкания топливного цикла по минорным актинидам наиболее перспективным способом обращения с МА является их трансмутация в другие менее опасные нуклиды [1].

В данной работе оценивается возможность утилизация америция в тепловых реакторах, так как его сечение радиационного захвата в тепловой области составляет порядка 600 барн, что позволяет достичь большей скорости трансмутации, чем в быстром спектре нейтронов, и глубокого выгорания.

В качестве расчетной модели использована модель ТВС реактора ВВЭР-1200 в силу наиболее освоенной технологии в России. Для достижения большего выгорания и снижения фактора самоблокировки в работе реализуется снижение эффективной плотности америция посредством использования инертной матрицы [2].

В данном исследовании в тепловыделяющей сборке (ТВС) реактора ВВЭР-1200 (рис.1) 12 тепловыделяющих элементов с гадолинием (ТВЭГов) заменены на композицию из инертной матрицы с диоксидом америция и металлическим америцием.

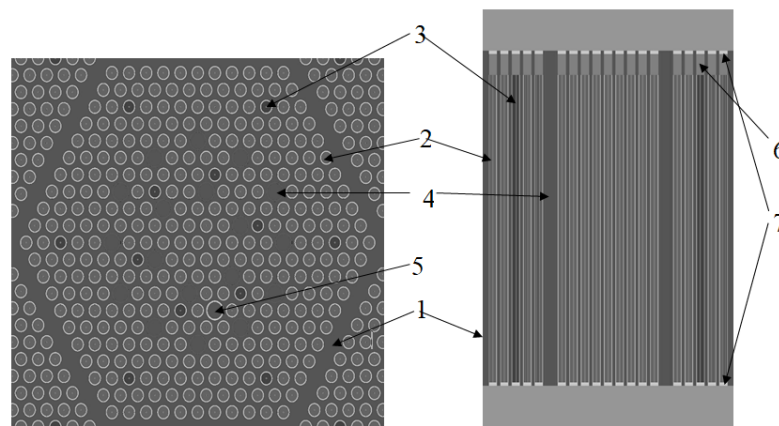


Рисунок 1 – Поперечное (слева) и продольное (справа) сечение ТВС реактора ВВЭР-1200 (1 – вода (замедлитель/теплоноситель); 2 – ТВЭЛ (312 шт.); 3 – ТВЭГи (12 шт.); 4 – направляющий канал (18 шт.); 5 – инструментальный канал (1 шт.); 6 – фиксатор; 7 – верхняя и нижняя заглушки)

Америций в форме металла и диоксида гомогенно добавляется в инертную матрицу $MgAl_2O_4$ в количестве 10-% от массовой доли всей композиции (доля была выбрана по принципу наименьшего влияния на нейтронно-физические характеристики) [3]. Эта матрица была выбрана ввиду ее прочностных свойств. Впоследствии был проведен сравнительный анализ и выбран наилучший вариант добавления америция (в форме металла или диоксида) в композицию с оптимальным соотношением глубины выгорания (не менее 90%) и утилизированной массы америция. Моделирование осуществляется в программном комплексе SERPENT (ПК SERPENT), в основе которого лежит метод Монте-Карло [4].

Исследуемые характеристики:

- Эффективный коэффициент размножения нейтронов;
- глубина выгорания америция;
- нуклидный состав ОЯТ.

В результате удалось добиться утилизации более 95% америция на конец топливной кампании (1500 сут) относительно начальной загрузки, определен наиболее эффективный вариант добавления америция в инертную матрицу, посчитана доля трансмутированного америция в другие МА. Выходные характеристики модели ТВС с америцием сравниваются с исходной моделью ТВС с 12 твэгами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bonnerot J. M. et al. First results of the irradiation program of inert matrices, targets and fuels for minor actinides transmutation in fast reactor. – CEA Marcoule, DEN/UCCAP, BP 17171, F-30207 Bagnols-sur-CEze cedex (France), 2008. – №. INIS-FR--08-1345.
2. Béjaoui S. et al. ECRIX-H experiment: Synthesis of post-irradiation examinations and simulations //Journal of nuclear materials. – 2011. – Т. 415. – №. 2. – С. 158-166.
3. Ganesh (2013) A review on magnesium aluminate ($MgAl_2O_4$) spinel: synthesis, processing and applications, International Materials Reviews, 58:2, 63-112, DOI: 10.1179/1743280412Y.0000000001
4. Leppänen J. et al. The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013 //Annals of Nuclear Energy. – 2015. – Т. 82. – С. 142-150.

УДК 531.01

ОЦЕНКА ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕТАЛЛАХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОНТАКТНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ

Сурин В.И., Осинцев А.В., Рас Эль Уэд А.Р.З., Белоусов М.С.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия
VISurin@mephi.ru

Аннотация. В рамках модели сплошной среды и работы выхода электронов получено выражение для оценки внутренних напряжений и деформаций в металлах по результатам измерения контактной разности потенциалов.

Ключевые слова: металлы, контактная разность потенциалов, внутренние напряжения.

ASSESSMENT OF INTERNAL STRESSES IN METALS BASED ON THE RESULTS OF CONTACT POTENTIOMETRY

Surin V.I., Osintsev A.V., Ras El Oued A.R.Z., Belousov M.S.

National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

VISurin@mephi.ru

Abstract. Within the framework of the continuous medium model and the electron work function, an expression was obtained for estimating internal stresses and deformations in metals based on the results of measuring the contact potential difference.

Keywords: contact potential difference, metals, internal stresses.

В соответствии с моделью сплошной среды получено выражение, связывающее в металлах механические и электрические характеристики. Для почти свободных электронов [1] энергетический сдвиг уровня Ферми γ в точке $\mathbf{r}$ в результате относительного увеличения объема $\delta V = (V - V_0)/V_0$ равен [2]:

$$\gamma(\mathbf{r}) = \frac{2\epsilon_F}{3} \delta V(\mathbf{r}), \quad (1)$$

где ϵ_F – энергия Ферми. В тензорном представлении относительное увеличение объема, вызванное деформацией, имеет вид [4]:

$$\delta V = \epsilon_{ii}, \quad (2)$$

где $\epsilon_{ii} = \epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz}$ – сумма диагональных компонент тензора деформации. Переходя к тензору напряжений:

$$\delta V = \frac{(1 - 2\mu)\sigma_{ii}}{E}, \quad (3)$$

где E – модуль упругости, μ – коэффициент Пуассона, $\sigma_{ii} = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}$. Подставляя выражение (3) в (1), получим:

$$\gamma = \frac{2\epsilon_F(1 - 2\mu)}{3E} \sigma_{ii}. \quad (4)$$

Запишем соответствующие выражения для работы выхода в точке $\mathbf{r}$, в которой локальное относительное увеличение объема равно $\delta V(\mathbf{r})$ и точке $\mathbf{r}_0$, где отсутствует увеличение объема ($\delta V = 0$):

$$W(\mathbf{r}) = e\phi(\mathbf{r}) \text{ и } W(\mathbf{r}_0) = e\phi(\mathbf{r}_0), \quad (5)$$

e – заряд электрона, ϕ – электрический потенциал.

Тогда разность этих выражений с учетом (4) есть:

$$\begin{aligned} W(\mathbf{r}) - W(\mathbf{r}_0) &= e\phi(\mathbf{r}) - e\phi(\mathbf{r}_0) = \\ &= \frac{2\epsilon_F(1 - 2\mu)}{3E} \sigma_{ii}, \end{aligned} \quad (6)$$

Заменяя $e\Delta\phi = e\phi(\mathbf{r}) - e\phi(\mathbf{r}_0)$, запишем:

$$\Delta\phi = \frac{2\epsilon_F(1 - 2\mu)\sigma_{ii}}{3eE}. \quad (7)$$

Выражение (7) показывает, что разность электрических потенциалов на поверхности металлов связана с неоднородным распределением деформаций и напряжений.

В результате действия осевой нагрузки или сдвиговой деформации искажаются поверхности постоянной энергии в $\mathbf{k}$ -пространстве. Например, сферическая поверхность Ферми приобретает форму эллипсоида, поскольку координаты волнового вектора $\mathbf{k}$ в зоне Бриллюэна после деформации будут иметь значения $\mathbf{k}_{def} = (1 - \epsilon) \mathbf{k}$ [3,5].

Из (7) получим:

$$\sigma_{ii} = \frac{3eE\Delta\varphi}{2\epsilon_F(1-2\mu)}. \quad (8)$$

После введения постоянной Q_σ :

$$Q_\sigma = \frac{3eE}{2\epsilon_F(1-2\mu)}, \quad (9)$$

окончательно имеем:

$$\sigma_{ii} = Q_\sigma \Delta\varphi. \quad (10)$$

Константа Q_σ имеет размерность плотности заряда [Кл/м³] и характеризует электрическую упругость металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. Пер. с англ. – М. : Государственное издательство физико-математической литературы, 1963.
2. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. – М. : Мир, 1974.
3. Kartheuser E., Rodriguez S. // Deformation potentials and the electron-phonon interaction in metals // Physical Review B. – 1986. – Vol. 33, № 2. – P. 772-779.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. – М. : Наука, 1987.
5. Сурин В.И., Вярятченко Е.П. Численные методы расчета электронной структуры металлических материалов. Ч. 1. Металлы. – М. : МИФИ, 2008.

УДК 620.179.1.082.7

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ЗОНЫ РАЗВАЛЬЦОВКИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

Сурин В.И.¹, Щербань А.С.², Рас Эль Уэд А.Р.З.³, Попов Л.Г.⁴, Ушаков В.М.⁵,
Павличенко А.В.⁶, Жидков М.Е.,⁷ Томилин С.А.,⁸ Арсентьева Е.С.,⁹ Юсупова Л.М.,¹⁰
Кудратов М.Н.¹¹

^{1,3,4,10,11} *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия*

^{2,6,7} *Филиал АО "АЭМ-технологии" "Атоммаш" в г. Волгодонск, Госкорпорация «Росатом», г. Волгодонск, Россия*

^{8,9} *Волгодонский филиал инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия*

⁵ *Акционерное общество «Научно – производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения», г. Москва, Россия*

¹ *VISurin@mephi.ru*

Аннотация. В технологическом процессе изготовления парогенераторов теплообменные трубы в стенке коллектора 1 контура подвергаются раскатке (вальцовке) и раздаче под гидравлическим давлением с заданным значением остаточной деформации. В результате в зонах обработки возникают изменения геометрии, физико-механических и электромагнитных свойств. Качество вальцовки оценивают по внутреннему диаметру трубы и по зазору относительно коллектора, измеряя эти параметры в нескольких сечениях и направлениях, что недостаточно для достоверной оценки величины зазора по всей внутренней поверхности трубы. Для решения задачи предлагается использовать многопараметрический метод, анализирующий данные нескольких видов неразрушающего контроля для принятия решения. В рамках апробации нового подхода к контролю качества зоны развальцовки были проведены экспериментальные измерения на четырех отобранных трубках с номерами 4,5,9 и 10 на образце-имитаторе трубной доски парогенератора зав. №16.

Ключевые слова: теплообменные трубки парогенератора, сканирующая контактная потенциометрия, зона развальцовки, неразрушающий контроль, электрофизическая хроматография, вихретоковый контроль, АЭС.

SEQUENTIAL MULTIPARAMETER NON-DESTRUCTIVE TESTING OF THE ROLLER-EXPANDED ZONE OF HEAT-EXCHANGE TUBES IN STEAM GENERATORS

**Surin V.I.¹, Shcherban A.S.², Ras El Oued A.R.Z.³, Popov L.G.⁴, Ushakov V.M.⁵,
Pavlichenko A.V.⁶, Zhidkov M.E.⁷, Tomilin S.A.⁸, Arsentieva E.S.⁹, Yusupova L.M.¹⁰,
Kudratov M.N.¹¹**

^{1,3,4,10,11}*National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia*

^{2,6,7}*Branch of JSC "AEM-Technologies" "Atomash" in Volgodonsk, State Corporation "Rosatom", Volgodonsk, Russia*

^{8,9}*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear*

University «MEPhI», Volgodonsk, Russia

⁵*JSC "Research and Production Association "Central Research Institute of Machine Building Technology",*

Moscow, Russia

¹*VISurin@mephi.ru*

Abstract. In the manufacturing process of steam generators, heat-exchange tubes in the primary circuit header wall undergo rolling (expanding) and hydraulic expansion with a specified value of residual deformation. As a result, changes in geometric, physical-mechanical, and electromagnetic properties occur in the processed zones. The quality of rolling is assessed by measuring the inner diameter of the tube and the clearance relative to the header, with these parameters measured in several cross-sections and directions, which is insufficient for a reliable assessment of the clearance over the entire inner surface of the tube. To address this issue, a multiparameter method is proposed, which analyzes data from several types of non-destructive testing to support decision-making. As part of the validation of this new approach to quality control of the rolled expansion zone, experimental measurements were carried out on four selected tubes numbered 4, 5, 9, and 10, using a mock-up sample of the tubesheet of steam generator serial No. 16.

Keywords: steam generator heat-exchange tubes, scanning contact potentiometry, rolled expansion zone, non-destructive testing (NDT), electrophysical chromatography, eddy current testing (ECT), nuclear power plant (NPP).

В ходе изготовления парогенераторов в заводских условиях теплообменные трубки подвергаются механической вальцовке и гидрораздаче с заданным значением остаточной деформации, образуемой в результате указанных технологических процессов. Зоны основного воздействия представляют собой области с измененными геометрическими, физико-механическими и электромагнитными свойствами и характеристиками.

Основным методом контроля вальцовки является измерение внутренних диаметров трубок и определение зазора между внутренним диаметром отверстия коллектора и наружным диаметром трубки. Измерения выполняются в нескольких сечениях по длине трубки в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Очевидно, что результаты такого контроля не могут дать полного представления о величине зазора на всей внутренней поверхности трубок.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать многопараметрический неразрушающий контроль, где в дополнение к измерительному (далее ИК) зона развальцовки последовательно контролируется вихретоковым методом (далее - ВТК), электрофизической хроматографией (далее - ЭФХ) с расчетом модели для оценки остаточной деформации и сканирующей контактной потенциометрией (далее - СКП) в случае неопределенности результатов [1-4]. Сбор данных с внутренней поверхности теплообменных трубок производится с помощью специально спроектированных преобразователей.

Результаты анализа потенциограмм ЭФХ показали существенное неравномерное распределение остаточной деформации по площади контакта наружной поверхности трубки с внутренней поверхностью коллектора. Для всех трубок образующиеся пятна деформационного взаимодействия отчетливо видны в широком интервале фиксации от 2,000 до 4,000.

В рамках модели сплошной среды и работы выхода электронов получено выражение для оценки величины остаточной деформации в зависимости от разности электрических потенциалов на контролируемой поверхности. Подробно данный вопрос рассмотрен в докладе [4]. Максимальные локальные значения деформации растяжения и деформации сжатия приведены в таблице.

Таблица 1 – Расчетные значения остаточной деформации в теплообменных трубках

Остаточная деформация в трубках				
№ТОТ	4	5	9	10
Максимальная деформация растяжения	0,035	0,001	0,0086	0,038
Максимальная деформация сжатия	0,039	0,05	0,049	0,048

На рисунке 1 показаны примеры полученных результатов ВТК. Неудовлетворительный и удовлетворительный вихретоковый сигнал зоны развальцовки.

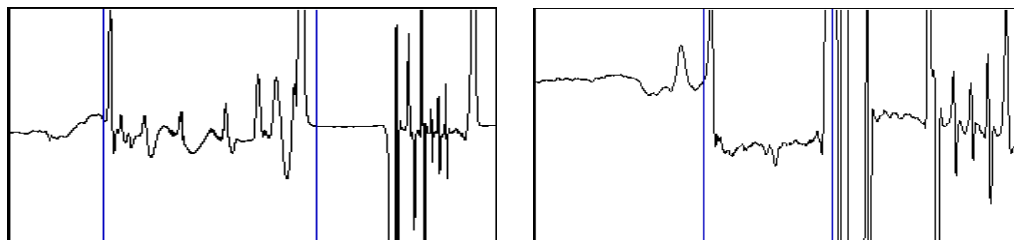


Рисунок 1 – Неудовлетворительный (слева) и удовлетворительный (справа) вихретоковый сигнал зоны развальцовки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурин, В. И. Электрофизические методы неразрушающего контроля и исследования реакторных материалов / В. И. Сурин, Н. А. Евстюхин. – Москва: МИФИ, 2008. – 120 с.
2. Сурин, В. И. Обоснование применимости метода сканирующей контактной потенциометрии для контроля оборудования АЭС при его изготовлении / В. И. Сурин, А. С. Щербань, А. А. Щербаков, М. Е. Жидков, С. А. Томилин, М. Б. Иваний // Глобальная ядерная безопасность. – 2023. – № 1 (46). – С. 37-54.
3. Surin, V. I. Gradient method of structural heterogeneity identification in electrical inspection of equipment, products and materials / V. I. Surin, M. B. Ivanyi, A. A. Shcherbakov, A. S. Shcherban, A. V. Pavlichenko, S. A. Tomilin, M. E. Zhidkov, A. E. Gook // Physics of Atomic Nuclei. – 2025. – Vol. 88, No. 10. – P. 1-5.
4. Сурин, В. И. Оценка внутренних напряжений в металлах по результатам контактной потенциометрии / В. И. Сурин, А. В. Осинцев, Р. З. Рас Эль Уэд, М. С. Белоусов // Безопасность ядерной энергетики: тезисы докладов XXII Международной научно-практической конференции, Волгодонск, 15–17 мая 2026 г. – Волгодонск: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2026.

УДК 621.039.566.6

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МАШИНЫ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ ВВЭР-1000

Тарасенко А.В.¹, Река. А.Г.², Калютник А.А.³

^{1,3}Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия

^{1,2}ООО «РИСК МОНИТОР», г. Всеволожск, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты оценки вероятности сейсмического повреждения машины перегрузочной АЭС с ВВЭР-1000. Консервативно оценена вероятность падения ее частей на активную зону и бассейн выдержки при разрушении во время выполнения транспортно-технологических операций. Продемонстрирована, что данная вероятность мала даже при расчёте с пессимистичными допущениями.

Ключевые слова: машина перегрузочная, транспортно-технологическое оборудование, ВВЭР, сейсмическое воздействие, землетрясение, внешние воздействия, вероятностный анализ безопасности, ВАБ, АЭС

PROBABILISTIC SEISMIC FRAGILITY ANALYSIS OF VVER-1000 FUEL HANDLING MACHINE

Tarassenko A.V.¹, Reka A.G.², Kalyutik A.A.³

^{1,3}*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia*

^{1,2}*"RISK MONITOR" LLC, Vsevolozhsk, Russia*

Abstract. The paper provides results of fragility analysis of a fuel handling machine of VVER-1000 NPP. Probability of its destruction affecting reactor core and spent fuel pool during refueling is assessed. It is demonstrated that such probability is low despite multiple pessimistic assumptions in the assessment.

Keywords: fuel handling machine, fuel handling operations, VVER, seismic hazard, earthquake, external hazard, probabilistic safety assessment, PSA, probabilistic risk assessment, PRA, NPP

В рамках вероятностного анализа безопасности (далее ВАБ) рассматриваются в том числе и землетрясения. Их воздействие может приводить к повреждению оборудования систем безопасности, течам первого контура и другим негативным последствиям для атомных электростанций (далее АЭС). Причём землетрясение, будучи внешним воздействием по отношению к АЭС, может представлять опасность в любом эксплуатационном состоянии (далее ЭС), включая перегрузки топлива. Если транспортно-технологическое оборудование, участвующее в перегрузках, будет повреждено, то его части или переносимые грузы могут упасть на активную зону и/или бассейн выдержки. Подобные сценарии повреждения топлива предлагается учитывать в ВАБ согласно рекомендациям п. 13 РБ-123-17 и п. 7.108-7.117 SSG-3 Rev.1.

В настоящей работе представлены результаты оценки вероятности сейсмического повреждения машины перегрузочной МПС-В-1000-4, выполненной в рамках работ по анализу надёжности систем важных для безопасности энергоблока №3 Ростовской АЭС [1]. Машина перегрузочная (далее МП) используется для перемещения тепловыделяющих сборок под слоем воды при выгрузке и загрузке их в реактор и бассейн выдержки, контроле герметичности оболочек. Вопрос сейсмостойкости МП более ранних моделей исследовался при продлении сроков эксплуатации первых энергоблоков ВВЭР-1000 [2].

В качестве исходных данных для расчёта использована кривая сейсмической опасности для площадки, а также результаты расчёта машины перегрузочной на прочность (в т.ч. при сейсмических нагрузках с учётом спектров ответа на отметке размещения МП) [3]. Оценка выполняется по методике вероятностного анализа сейсмической повреждаемости, согласно приложению №6 к РБ-123-17 и СТО [4].

Сперва производится оценка граничной сейсмостойкости (*HCLPF*) для машины перегрузочной. Для этого среди результатов прочностного расчёта на сочетание нагрузок нормальной эксплуатации и сейсмической нагрузки определяется наименьший коэффициент запаса по несущей способности (т.е. соответствующий наиболее напряжённому элементу). По итогам расчёта [3] это ось из стали 14X17H2. Далее согласно РБ-123-17 и [4] назначаются коэффициенты, учитывающие неупругое поглощение энергии и поправку на отличие нормативных напряжений. Наконец, граничная сейсмостойкость (*HCLPF*) определяется как произведение вышеперечисленных коэффициентов и ускорения нулевого периода, соответствующего сейсмической нагрузке, использованной при расчёте на прочность.

Таким образом, для МП было получено значение $HCLPF=0,207 g$ [1]. На основе данной величины и коэффициентов, учитывающих неопределённость (приняты согласно РБ-123-17), были построены кривые сейсмической повреждаемости, представленные на рисунке 1. С их помощью может быть определена вероятность сейсмического повреждения для разных уровней обеспеченности в зависимости от интенсивности воздействующего на МП землетрясения.

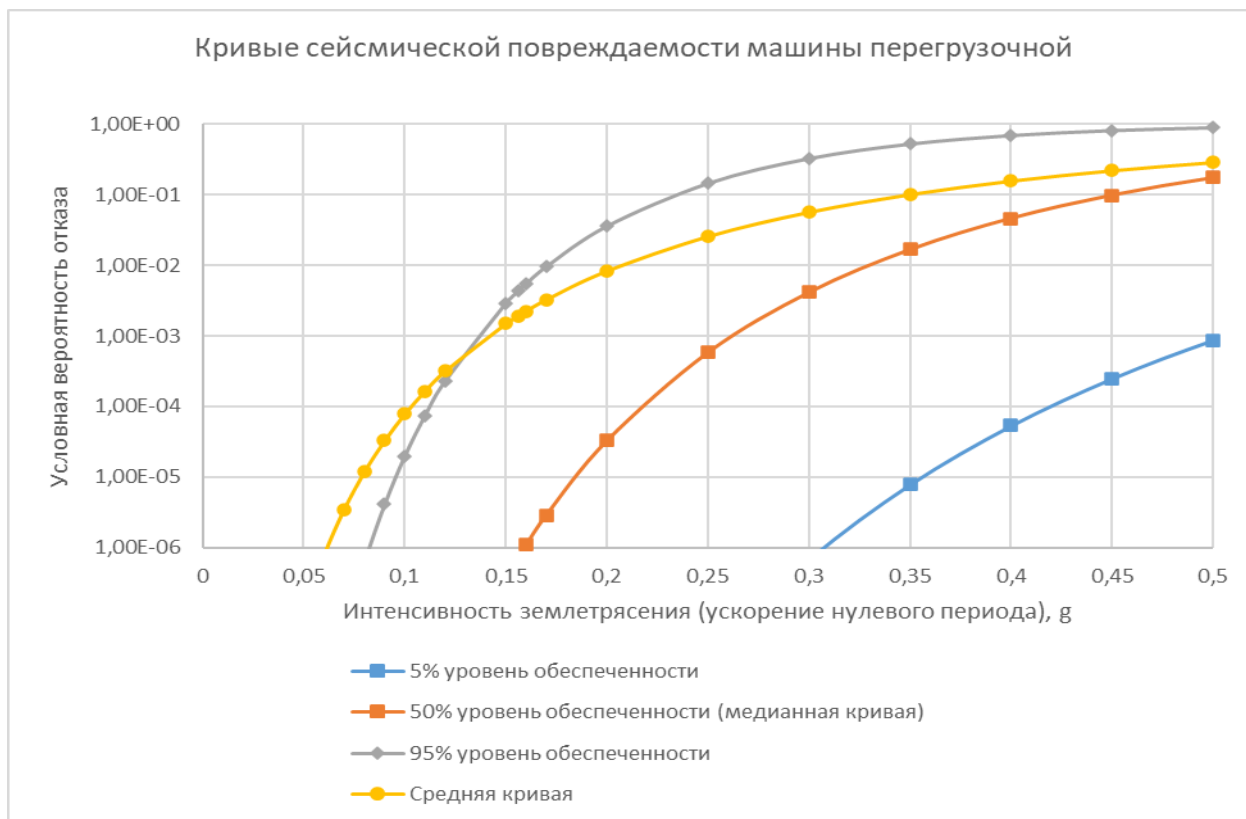


Рисунок 1 – Кривые сейсмической повреждаемости для МП

Далее следует учесть вероятность того, что землетрясение застанет МП во время транспортно-технологических операций. Такая вероятность может быть определена как:

$$Q_T = T_{ТТО} / T_{кампания} \quad (1)$$

где $T_{ТТО}$ – это длительность транспортно-технологических операций, в которых участвует МП. Консервативно принимается равной 1 месяцу, но при необходимости может быть уточнена путём оценки средней длительности операций для конкретного энергоблока.

$T_{кампания}$ – интервал между перегрузками топлива (длительность кампании). Для ВВЭР-1000 в настоящий момент используется 18-месячный топливный цикл.

Консервативно можно предположить, что любое повреждение МП во время перегрузки приводит к падению её частей в активную зону и/или бассейны выдержки, т.е. повреждению топлива, а, следовательно, тяжёлой аварии. Очевидно, что это может быть не так, но доказать обратное крайне затруднительно из-за неопределённости такого сценария.

Итого вероятность тяжёлой аварии с падением разрушенных частей МП в активную зону и/или бассейн выдержки может быть оценена как:

$$Q = Q_T \cdot \sum_i (F_i \cdot P_i) \quad (2)$$

где F_i – это повторяемость землетрясения интенсивностью i , определяемая по кривой сейсмической опасности;

P_i – условная вероятность повреждения МП землетрясением интенсивностью i , определяемая по средней кривой сейсмической повреждаемости (см. рис. 1).

Результаты расчета вероятности сейсмического повреждения МП и падения её частей в активную зону или бассейн выдержки при транспортно-технологических операциях

представлены в таблице 2. Результаты представлены для землетрясений различной интенсивности в соответствии с принятым в ВАБ Ростовской АЭС разбиением кривой сейсмической опасности.

Таблица 2 - Результаты расчета вероятности сейсмического повреждения МП

Номер сейсмического интервала	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
Ускорение нулевого периода, g	0,03	0,05	0,08	0,10	0,15	0,18	0,22
F_i , Повторяемость землетрясения, 1/год	1,1E-03	2,0E-04	2,3E-05	9,6E-06	1,2E-06	3,3E-07	8,1E-08
P_i , Условная вероятность повреждения МП	3,0E-10	9,5E-08	1,3E-05	7,2E-05	1,4E-03	4,6E-03	1,4E-02
$F_i \cdot P_i$, Вероятность повреждения без учёта длительности операций, 1/год	3,3E-13	1,9E-11	3,1E-10	6,9E-10	1,6E-09	1,5E-09	1,1E-09
Q, Суммарная вероятность тяжелой аварии из-за падения МП с учётом длительности операций, 1/год:	2,89E-10						

Таким образом, даже при консервативной оценке, возможно продемонстрировать, что вероятность падения частей разрушенной МПС-В-1000-4 в активную зону и/или бассейн выдержки весьма мала.

Аналогичный подход к расчёту может быть использован для определения вероятности тяжёлых аварий из-за сейсмического повреждения другого транспортно-технологического оборудования, например мостовых кранов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ROS-3-RA.001-01 Изм. 1. Ростовская АЭС, Блок №3. Анализ показателей надежности систем и элементов важных для безопасности в соответствии с РБ-100-15. Книга 1. Анализ надёжности машины перегрузочной. ООО «Риск Монитор», Всеволожск, 2024 г.
2. Лапкис, А. А. Особенности продления срока эксплуатации перегрузочных машин энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 / А. А. Лапкис, В. Н. Никифоров, О. Ю. Пугачева // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 1(18). – С. 95-103. – EDN VVBZQF.
3. РНАТ.503251.005 РР1. Машина перегрузочная МПС-В-1000-4 УХЛ4.2. Расчет прочности. ЗАО «Диаконт», СПб, 2011 г.
4. СТО 95 12060-2019 «Станции атомные. Эксплуатация зданий, сооружений, систем и элементов. Методика оценки граничной сейсмостойкости». АО «Концерн Росэнергоатом», М., 2019.

УДК 504.054; 504.3.054; 539.16.04

АКТУАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ И СБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Шаповалов А.С., Орлов М.Ю., Тимофеев Н.Б., Никитин Д.А., Коршунков А.В.
Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и
радиационной безопасности», г. Москва, Россия
shapovalov@secnrs.ru

Аннотация. В работе представлен краткий обзор текущего состояния нормативной базы в области нормирования выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду. Рассмотрены основополагающие подходы к разработке нормативов допустимых выбросов и нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ.

Ключевые слова: объекты использования атомной энергии, радиоактивные вещества, выбросы радиоактивных веществ, сбросы радиоактивных веществ, окружающая среда, облучение населения.

THE CURRENT STATE OF SYSTEM OF STATE REGULATION OF AIRBORNE AND LIQUID RADIOACTIVE DISCHARGES TO THE ENVIRONMENT

Shapovalov A.S., Orlov M.Yu., Timofeev N.B., Nikitin D.A., Korshunkov A.V.

*Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, Moscow, Russia
shapovalov@secnrs.ru*

Abstract. The paper provides a brief overview of the current state of the regulatory framework in the field of regulating of airborne and liquid radioactive discharges to the environment. The fundamental approaches to the development of drafts for discharge limits of radioactive substances are considered.

Keywords: nuclear facilities, radioactive substances, airborne discharges of radioactive substances, liquid discharges of radioactive substances, environment, public exposure.

Выбросы радиоактивных веществ (далее – РВ) в атмосферный воздух и сбросы РВ в водные объекты являются значимыми факторами с точки зрения формирования радиационного воздействия на население и окружающую среду (далее – ОС) при нормальной эксплуатации объектов использования атомной энергии (далее – ОИАЭ). При этом, вклад выбросов и сбросов РВ в облучение населения является преобладающим в сравнении с долговременной компонентой облучения, обусловленной воздействием захороненных радиоактивных отходов [1].

В соответствии с подходами, рекомендованными в документах МАГАТЭ GSR Part 3 «Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Safety Standards» и GSG-9 «Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment», организациями, эксплуатирующими ОИАЭ, должны соблюдаться ограничения по активности радионуклидов, поступающих в ОС с выбросами и сбросами. Такие ограничения, а также подходы к их разработке, устанавливаются регулирующим органом. Аналогичные подходы приняты и в российском законодательстве (Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ, Постановление Правительства Российской Федерации от 02.02.2024 № 99).

Разработка нормативов допустимых выбросов (далее – НДВ), нормативов допустимых сбросов (далее – НДС), согласно «Правилам разработки и установления нормативов допустимых выбросов радиоактивных веществ, нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ, а также выдачи разрешений на выбросы радиоактивных веществ, разрешений на сбросы радиоактивных веществ», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 02.02.2024 № 99 (далее – Правила), осуществляется организациями, эксплуатирующими стационарные источники выбросов и (или) сбросов РВ. Следует отметить, что область действия Правил не ограничивается только лишь организациями, эксплуатирующими ОИАЭ. Разработка НДВ РВ и (или) НДС РВ может потребоваться и в отношении промышленных объектов, не связанных с использованием атомной энергии, но эксплуатирующих стационарные источники выбросов и (или) сбросов РВ. Разработанные проекты НДВ РВ и НДС РВ являются предметом экспертизы, организуемой регулирующим органом.

При разработке НДВ РВ и НДС РВ, согласно Правилам, должны применяться методики и (или) методы, утверждаемые Ростехнадзором. Система нормативно-методических документов, регламентирующих порядок разработки нормативов, а также содержащих рекомендации по оформлению проектов НДВ РВ, проектов НДС РВ и документов с данными инвентаризации, которые являются исходными данными для разработки нормативов, включают в себя методики [2, 3], а также ряд руководств по безопасности – РБ-085-21 «Рекомендации по содержанию документов, обосновывающих

нормативы предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух и нормативы допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты», РБ-106-21 «Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух», РБ-126-21 «Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты» (рисунок 1).

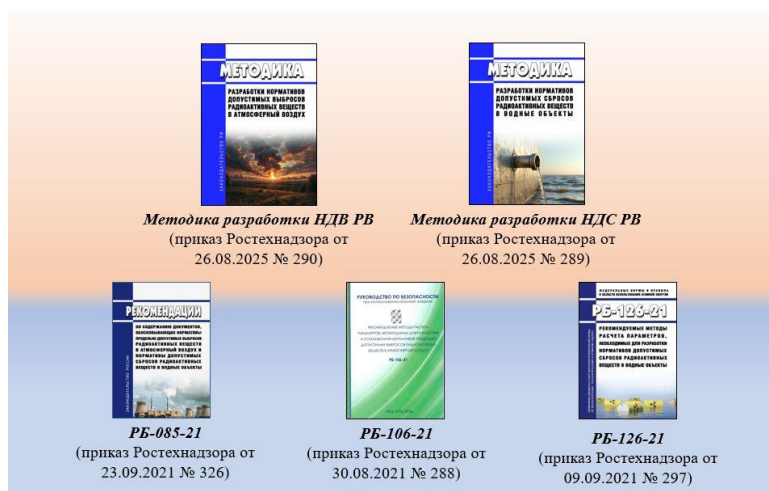


Рисунок 1 – Система нормативно-методических документов по вопросам разработки НДВ РВ и НДС РВ

В соответствии с методиками [2, 3] установление нормативов требуется только в отношении тех источников, выбросы (сбросы) которых создают годовую эффективную дозу облучения населения «без учета рассеивания» более 10 мкЗв/год. Этот универсальный критерий позволяет обеспечить учет всех значимых (с точки зрения радиационного воздействия) источников выбросов (сбросов), не производя при этом сложных математических вычислений, моделирующих перенос РВ в ОС, как это рекомендовано в РБ-106-21 и РБ-126-21. Такой подход следует практике «итерационного» процесса, рекомендованной МАГАТЭ в документе SRS-19 «Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment», которая предполагает, что упрощенные консервативные оценки (оценка дозы «без учета рассеивания») могут быть использованы для принятия решения о необходимости нормирования конкретного источника, а последующие более сложные оценки (оценка дозы «с учетом рассеивания»), используются уже в случае превышения указанного выше критерия, в частности, для расчетов значений НДВ РВ и НДС РВ.

Нормирование применяется в отношении выбросов (сбросов) радионуклидов, включенных в «Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды», утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.10.2023 № 2909-р (далее – Перечень). При этом для каждого конкретного нормируемого источника перечень нормируемых радионуклидов допускается ограничивать радионуклидами из Перечня, формирующими совокупный (в порядке убывания величины) 99 %-ный вклад в годовую эффективную дозу для населения [2, 3].

Разработка НДВ РВ и НДС РВ, в соответствии с положениями методик [2, 3], осуществляется исходя из обеспечения соблюдения следующих условий: 1) непревышение квот от установленных в СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009) дозовых пределов для населения, выделенных на облучение от выбросов РВ и от сбросов РВ; 2) недопущение накопления РВ в объектах ОС (почва, вода открытых водоемов, донные отложения, сельскохозяйственная продукция и др.) свыше допустимых уровней, установленных нормативными актами. Помимо указанных выше условий, в случае разработки НДС РВ, в соответствии с методикой [3], должно также выполняться условие

непревышения содержания РВ в сбрасываемой среде критерия отнесения к жидким радиоактивным отходам (далее – ЖРО), установленного постановлением Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 № 1069, что обусловлено запретом на сброс ЖРО в водные объекты, установленным в статье 51 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

В то время как методики [2, 3] содержат лишь общее описание основных, обязательных к соблюдению, требований к разработке нормативов, руководства по безопасности РБ-106-21 и РБ-126-21 содержат уже детальное описание методологии расчетов, а также все необходимые для их выполнения справочные величины, что оставляет разработчикам проектов НДВ РВ и НДС РВ свободу в выборе используемых расчетных моделей.

Система государственного нормирования выбросов и сбросов РВ в Российской Федерации успешно выполняет свои функции. Около 100 организаций, эксплуатирующих стационарные источники выбросов и сбросов РВ, охвачены действием выданных разрешений [4], а установленные нормативы соблюдаются [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курьин А.В., Поляков Р.М., Понизов А.В., Фелицын М.А., Шаповалов А.С. и др. Комплексный сравнительный анализ безопасности реализации открытого и замкнутого ядерных топливных циклов в Российской Федерации. Методология и результаты. Труды НТЦ ЯРБ. - М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2021 г. – 59 с.: ил.
2. Методика разработки нормативов допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух: утв. приказом Ростехнадзора от 26.08.2025 № 290.
3. Методика разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты: утв. приказом Ростехнадзора от 26.08.2025 № 289.
4. Реестр выданных разрешений на выбросы радиоактивных веществ в атмосферный воздух и разрешений на сбросы радиоактивных веществ в водные объекты. Официальный сайт Ростехнадзора. URL: <https://gosnadzor.ru/nuclear/reestr/?ysclid=mnha9wb62m734639216> (дата обращения: 21.04.2026).
5. Справки, ежегодники по загрязнению ОС. Официальный сайт ФГБУ «НПО «Тайфун» URL: <https://www.rpatyphoon.ru/products/pollution-media.php?ysclid=mmw7j90yv9640994420> (дата обращения: 21.04.2026).

УДК 504.65: 004.9

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЭКОРАД И ОПЫТ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКАХ НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ И ОЦЕНКИ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ОИАЭ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ИХ СУЩЕСТВОВАНИЯ

Титкова Л.Д.

*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук
г. Москва, Россия
titkova@ibrae.ac.ru*

Аннотация. Программный комплекс ЭКОРАД [1], разработанный в ИБРАЭ РАН в составе расчётно-прогностического комплекса КОРИДА и аттестованный в Ростехнадзоре (2024 г.), предназначен для расчёта нормативов допустимых сбросов (НДС) радиоактивных веществ в водные объекты и оценки доз облучения населения при водопользовании. В составе аттестованной версии – два модуля: «Экорад-ДС» (расчёт НДС) и «Экорад-Аква» (оценка доз). Для действующей Белоярской АЭС выполнен расчёт НДС: проведено ранжирование радионуклидов (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{95}Nb), определены лимитирующие критерии – загрязнение донных отложений и отнесение к жидким радиоактивным отходам. Для задач долговременной безопасности на примере ППЗРО с использованием результатов геомиграционного моделирования проведена оценка доз. Показано, что в первые десятки тысяч лет определяющий вклад вносит ^{99}Tc , в долгосрочной перспективе – ^{237}Np и изотопы урана, критическим путём являются потребление овощей и питье воды.

Ключевые слова: ЭКОРАД, нормативы допустимых сбросов, дозы облучения населения, Белоярская АЭС, ППЗРО, долговременная безопасность.

THE ECORAD SOFTWARE PACKAGE AND THE EXPERIENCE OF ITS APPLICATION FOR ASSESSING PERMISSIBLE DISCHARGE STANDARDS OF RADIONUCLIDES INTO WATER BODIES AND PUBLIC EXPOSURE DOSES FROM NUCLEAR FACILITIES AT DIFFERENT STAGES OF THEIR LIFECYCLE

Titkova L.D.

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

titkova@ibrae.ac.ru

Abstract. The Ecorad software package, developed at IBRAE RAN as part of the KORIDA predictive modeling complex and certified by Rostekhnadzor (2024), is designed to calculate permissible discharge standards (PDS) of radioactive substances into water bodies and assess public exposure doses during water use. The certified version includes two modules: Ecorad-DS (PDS calculation) and Ecorad-Aqua (dose assessment). PDS calculation was performed for the operating Beloyarsk NPP: radionuclides (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{95}Nb) were ranked, and the limiting criteria were identified – bottom sediment contamination and classification of the discharge as liquid radioactive waste. For long-term safety tasks, a dose assessment based on geomigration modeling results is presented using a near-surface disposal facility (trench and above-ground types) as an example. It is shown that in the first tens of thousands of years, ^{99}Tc makes the dominant contribution; in the long term, ^{237}Np and uranium isotopes dominate; the critical exposure pathways are vegetable consumption and drinking water.

Keywords: Ecorad, Ecorad-Aqua, Ecorad-DS, permissible discharge limits, public exposure doses, Beloyarsk NPP, radioactive waste disposal, near-surface disposal facility, long-term safety.

Объекты использования атомной энергии (ОИАЭ) на всех стадиях жизненного цикла должны обеспечивать радиационную безопасность населения. Для водных объектов это означает соблюдение установленных дозовых квот и выполнение нормативов допустимых сбросов (НДС). В рамках Федеральной целевой программы в ИБРАЭ РАН выполнялся комплекс научно-исследовательских работ по созданию практической методологии комплексного обоснования безопасности объектов ядерного наследия и пунктов захоронения радиоактивных отходов (РАО), включая разработку и внедрение системы расчётно-прогностических кодов. В составе этого комплекса работ для оценки радиационного воздействия на человека и окружающую среду разработан программный комплекс ЭКОРАД [2]. ЭКОРАД предназначен для расчёта нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты и оценки доз облучения населения при различных сценариях водопользования и аттестован в Ростехнадзоре в 2024 году (регистрационный номер 629) [3]. Программный комплекс принадлежит к числу компонентов расчётно-прогностического комплекса КОРИДА.

В состав аттестованной версии входят два расчётных модуля: «Экорад-ДС» и «Экорад-Аква», реализующие единую схему путей облучения человека при водопользовании (внешнее – купание, рыболовство, пребывание на пляже, на пойме, на орошаемых землях; внутреннее за счет – потребления питьевой воды, рыбы, растительной и мясомолочной продукции, ингаляции).

В основе расчётного модуля «Экорад-ДС» лежат положения двух нормативных документов: «Методики разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей» (утверждена приказом Ростехнадзора № 289 от 2025 г.) [4], а также руководства по безопасности РБ-126-21.

Для действующей Белоярской АЭС выполнен расчёт нормативов допустимых сбросов. На первом этапе с помощью модуля «Экорад-Аква» проведено ранжирование радионуклидов по вкладу в годовую дозу облучения населения. Установлено, что нормированию подлежат четыре радионуклида: ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{95}Nb , суммарный вклад которых составляет не менее 99 %. Для каждого из них рассчитаны значения допустимого сброса по всем критериям, предусмотренным методикой. $\text{ДС}_{\text{доз}}$ - дозовое ограничение (обеспечивает не превышение установленной квоты облучения населения по всем путям водопользования), $\text{ДС}_{\text{пв}}$ - питьевое

ограничение, ДС_{до} - ограничение по донным отложениям (предотвращает накопление радионуклидов выше уровня неограниченного использования), ДС_{оа}- критерий обращения с отходами (исключает отнесение сбросных вод к жидким радиоактивным отходам). В соответствии с методикой, среди 4-х критериев установление НДС должно быть выполнено путем выбора наименьшего из них: согласно расчётам, это ДС_{оа} для ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ⁹⁵Nb и ДС_{до} для ⁶⁰Co. При установленных таким образом НДС годовая доза на критическую группу населения не превышает дозовой квоты 50 мкЗв/год, установленной для атомных станций согласно СП АС-03.

Модуль «Экорад-Аква» позволяет оценивать дозы при текущем, ретроспективном и прогнозном загрязнении водных объектов. В «Экорад-Аква» реализованы принципы расчета миграции радионуклидов в компонентах окружающей среды и по пищевым цепочкам, а также оценки доз, изложенные в рекомендациях МАГАТЭ (GSR Part 3, SRS № 19, SRS № 472, SRS № 422).

Для задач долговременной безопасности выполнена оценка доз облучения населения на примере пункта приповерхностного захоронения радиоактивных отходов (ППЗРО) траншейного и наземного типа в Челябинской области. С использованием результатов геомиграционного моделирования, полученных с помощью программного комплекса GeRa [5], для сценария фермерского водопользования выполнена оценка доз на период до 100 000 лет. На основе расчета можно сделать вывод, что в сценарии нормальной эволюции для наземного варианта размещения максимальная эффективная доза населения составляет 63 мкЗв/год (пик через 51 тыс. лет), для траншейного варианта – 117 мкЗв/год (пик через 45 тыс. лет). Критическими путями облучения являются потребление овощей, выращенных на орошаемых землях, и питьевая вода. Основной вклад в первые десятки тысяч лет вносит ⁹⁹Tc, в долгосрочной перспективе – ²³⁷Np и изотопы урана.

Программный комплекс ЭКОРАД успешно применяется на различных стадиях существования ОИАЭ: для расчёта НДС действующих АЭС на примере Белоярской АЭС и для прогноза долговременной безопасности ППЗРО. Комплекс позволяет оценивать допустимые сбросы с учётом всех регламентированных критериев, определять критические радионуклиды и пути облучения, а также обосновывать соблюдение нормативных уровней безопасности для ППЗРО, установленных в СанПиН и ФНП Ростехнадзора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аракелян А.А., Блохин А.И., Блохин П.А. и др. Развитие программного комплекса КОРИДА и опыт его применения при решении задач обращения с ОЯТ и РАО // Радиоактивные отходы. 2022. № 3 (20). С. 107-116.
2. Титкова Л.Д. Разработка модуля «Экорад-Почва» в ПС ЭКОРАД // Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2025», секция «Почвоведение», Москва, 11-25 апреля 2025 г.
3. Программа для расчета нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты и оценки дозовых нагрузок на население при различных сценариях водопользования (ЭКОРАД), регистрационный номер 629 от 28.11.2024.
4. Методика разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей. Утв. приказом Ростехнадзора от 26 августа 2025 г. № 289.
5. Капырин И.В. Расчетные коды для гидрогеологического моделирования в задачах оценки безопасности ОИАЭ. // Радиоактивные отходы, 2022, №2 (19), с.105-115.

УДК 621.311

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ СОВМЕСТНОГО РАЗВИТИЯ ВИЭ И АЭС

Худойбердиев М.Э.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия
MKhudoiberdiev1004@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются современные методы информационной поддержки при оценке устойчивости электроэнергетических систем (ЭЭС) в условиях цифровой трансформации электроэнергетики. Проведён анализ особенностей функционирования современных энергосистем, характеризующихся интеграцией возобновляемых источников энергии, распределённой генерации, интеллектуальных сетей Smart Grid и цифровых систем управления. Показано, что развитие цифровых технологий и увеличение объёмов обрабатываемой информации существенно изменяют подходы к мониторингу, анализу и прогнозированию режимов работы энергосистем.

Ключевые слова: устойчивость, силовая электроника, АЭС инерция энергосистемы, переходные процессы, методы оценки устойчивости, переходная устойчивость, информационно-аналитическая поддержка.

COMPARATIVE ANALYSIS OF STABILITY ASSESSMENT METHODS FOR ELECTRIC POWER SYSTEMS UNDER THE INTEGRATED DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES AND NUCLEAR POWER PLANTS

Khudoyberdiev M.E

National Research Nuclear University «MEPhI»,

Moscow, Russia

MKhudoyberdiev1004@gmail.com

Abstract. The paper examines modern methods of information support for electric power system (EPS) stability assessment under the conditions of digital transformation of the electric power industry. An analysis of the operational features of modern power systems characterized by the integration of renewable energy sources, distributed generation, Smart Grid technologies, and digital control systems is carried out. It is shown that the development of digital technologies and the increasing volume of processed data significantly transform approaches to monitoring, analysis, and forecasting of power system operating conditions.

Keywords: stability, power electronics, nuclear power plants, power system inertia, transient processes, stability assessment methods, transient stability, information and analytical support.

В последние годы, в связи с необходимостью декарбонизации экономики, в электроэнергетических системах (ЭС) наблюдается тенденция роста доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которые характеризуются наличием силовой электроники и преобразовательных систем, что принципиально отличает их от традиционных источников энергии [1]. В условиях такой трансформации, ключевое значение приобретают методы, основанные на измерениях, позволяющие прогнозировать и оценивать характеристики устойчивости ЭС, и определять их критические значения.

Особую актуальность данному направлению придаёт параллельное развитие атомной генерации в составе ЭС, поскольку её совместная эксплуатация с ВИЭ формирует сложные переходные режимы и требует совершенствования существующих методов оценки устойчивости [2]. Целью настоящей работы является проведение сравнительного анализа существующих методов оценки устойчивости электроэнергетических систем, выявление их ограничений и определение направлений их совершенствования в условиях совместной интеграции ВИЭ и атомной генерации.

Существующие методы оценки устойчивости разрабатывались для ЭС с преобладанием синхронной генерации и обладают ограниченной применимостью в условиях роста силовой электроники [3]. Эти методы в ряде случаев обладают ограниченными возможностями интеграции данных в режиме реального времени, недостаточной скоростью обработки информации и ограниченной способностью прогнозирования аварийных и переходных режимов.

В связи с этим возникает необходимость совершенствования методов информационной поддержки на основе применения интеллектуальных алгоритмов анализа данных, цифровых платформ мониторинга и современных вычислительных технологий.

Методы статической устойчивости характеризуются высокой вычислительной эффективностью, однако не позволяют адекватно учитывать быстрые нелинейные процессы. Методы переходной устойчивости обеспечивают более точное описание динамики системы,

но требуют значительных машинных ресурсов и не ориентированы на оперативную оценку в режиме реального времени [4].

Одним из широко применяемых методов к оценке устойчивости электроэнергетических систем являются методы, основанные на анализе энергетических функций и прямом методе Ляпунова. Данные методы позволяют оценивать устойчивость энергосистем без необходимости полного численного интегрирования дифференциальных уравнений переходных процессов, что особенно актуально при анализе сложных многомашинных систем в условиях высокой динамичности режимов работы [5].

Применение спектральных разложений функций Ляпунова позволяет выявлять критические взаимодействия между модами колебаний, определять доминирующие динамические компоненты и оценивать влияние снижения инерции энергосистем на устойчивость переходных процессов. Данные подходы особенно актуальны для современных энергосистем с высокой долей генерации на основе силовой электроники и возобновляемых источников энергии.

Однако высокая вычислительная сложность построения функций Ляпунова и энергетических функций для многомашинных энергосистем со сложной структурой взаимосвязей и большим количеством режимных параметров ограничивает применение данного метода в условиях увеличения размерности энергосистемы. Дополнительным ограничением является необходимость использования упрощённых математических моделей энергосистемы, что может снижать точность оценки устойчивости в условиях современных энергосистем с высокой долей генерации на основе силовой электроники и возобновляемых источников энергии [6].

Методы прямого анализа переходной устойчивости на основе определения управляющих неустойчивых точек равновесия с использованием траекторий псевдоаварийных режимов основан на оценке энергетического запаса между вычисленной критической точкой равновесия и послеаварийным состоянием энергосистемы, что позволяет выполнять предварительный анализ устойчивости при коммутационных и аварийных событиях [7]. Вместе с тем применение этих методов сопровождается рядом ограничений, связанных с высокой вычислительной сложностью для многомашинных энергосистем и ограниченной адаптивностью к быстроизменяющимся режимам современных энергосистем с низкой инерцией.

Рассмотренные ограничения свидетельствует о том, что в существующих методах оценки устойчивости ЭС отсутствует единый методический подход, позволяющий одновременно учитывать низкоинерционность ВИЭ и высокоинерционные свойства атомной генерации, что определяет необходимость разработки интегрированных методов оценки устойчивости с использованием аппарата предсказания на базе полномасштабных тренажеров АЭС.

Проведённый анализ методов оценки устойчивости электроэнергетических систем показал, что цифровая трансформация электроэнергетики, сопровождающаяся широким внедрением ВИЭ, распределённой генерации, силовой электроники и интеллектуальных систем управления, существенно изменяет характер динамических процессов в энергосистемах и повышает требования к обеспечению их устойчивости и надёжности функционирования.

Показано, что дальнейшее развитие методов оценки устойчивости электроэнергетических систем должно быть направлено на интеграцию интеллектуальных алгоритмов обработки данных, совершенствование систем поддержки принятия решений и разработку гибридных информационно-аналитических платформ, обеспечивающих повышение точности прогнозирования режимов работы энергосистем и устойчивости к динамическим возмущениям в условиях снижения инерции энергосистем и роста доли генерации на основе силовой электроники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Giannuzzi GM, Mostova V, Pisani C, Tessitore S, Vaccaro A. Enabling Technologies for Enhancing Power System Stability in the Presence of Converter-Interfaced Generators. *Energies*. 2022; 15(21):8064.
2. Kröger, Wolfgang & Nan, Cen. (2018). Power systems in transition. 10.4324/9781315186313-3.
3. Ulbig, Andreas & Borsche, Theodor & Andersson, Göran. (2013). Impact of Low Rotational Inertia on Power System Stability and Operation. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-Papers Online)*. 19.
4. Барсков В. В., Бубнов А. В., Кириченко А. Н. Особенности практического применения методов оценки устойчивости электроэнергетической системы // Омский научный вестник. 2020. № 6 (174). С. 46–51.
5. Yadykin I.B. and Iskakov A.B. Energy Approach to Analysis of Stability of the Linear Stationary Dynamic Systems//Automation and Remote Control, 2016. T.77. №12.
6. Milano F., Dörfler F., Hug G., Hill D.J., Verbič G. Foundations and challenges of low-inertia systems // Proceedings of the Power Systems Computation Conference (PSCC). – Dublin, Ireland, 2018. – P. 1–25.
7. Owusu-Mireku R., Chiang H.-D. Direct transient stability analysis using controlling unstable equilibrium points // Electric Power Systems Research. – 1995. – Vol. 34, No. 1. – P. 17–25.

УДК 621.039, 519.216, 519.213

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ГОДОВОЙ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГООБЛОКОВ АЭС НАРЯДУ С ДЕТЕРМИНИРОВАННЫМ УЧЁТОМ ВОЗМОЖНОЙ НЕДОВЫРАБОТКИ

Мозговой А.А.¹, Цыхлер Л.В.², Егорова В.П.³, Поваров П.В.⁴

¹ Нововоронежский политехнический институт филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Нововоронеж, Россия

^{2,3,4} Волгодонский инженерно-технический институт – филиал

Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия

¹MozgovoyAla@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Аннотация. В работе рассмотрен новый подход к планированию годовой выработки электроэнергии на АЭС. Описан современный детерминированный подход к планированию, который не учитывает многие незначительные события, влияющие на недовыработку. Предложено применения вероятностного подхода для планирования выработки электроэнергии с применением логарифмически-нормального распределения. В рамках работы проведены расчеты основных статистических параметров, в том числе погрешности. Данные расчеты позволят оценивать моду, медиану и мат. ожидание энерговыработки АЭС.

Ключевые слова: недовыработка, АЭС, детерминированный, вероятностный, распределение, мат. ожидание, дисперсия, СКО, погрешность

APPLICATION OF A PROBABILISTIC MODEL IN THE PLANNING OF ANNUAL PRODUCTION OF NUCLEAR POWER PLANT UNITS, ALONG WITH A DETERMINISTIC ACCOUNT OF POSSIBLE UNDERPRODUCTION

Mozgovoy A.A.¹, Tsyhler L.V.², Egorova V.P.³, Povarov P.V.⁴

¹Novovoronezh Polytechnic Institute, branch of the National Research Nuclear University MEPhI,

Novovoronezh, Russia

^{2,3,4}Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”

Volgodonsk, Russia

¹MozgovoyAla@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Abstract. The paper considers a new approach to planning annual electricity generation at nuclear power plants. A modern deterministic approach to planning is described, which does not take into account many small events that affect underperformance. It is proposed to apply a probabilistic approach to planning electricity generation using a logarithmic-normal distribution. As part of the work, calculations of the main statistical parameters, including errors, were carried out. These calculations will allow you to estimate the mode, median and checkmate. waiting for nuclear power plant power output.

Keywords: underworking, NPP, deterministic, probabilistic, distribution, mat. expectation, variance, error

В действующей методике по формированию перспективных планов производства электроэнергии на АЭС [1] учет неплановой недовыработки производится

детерминированными выражениями. Данный подход не учитывает вероятностный характер недовыработок, связанных со случайными событиями во время эксплуатации, такие как:

- перепростой в ППР;
- некачественный ремонт оборудования важного для безопасности АЭС;
- ошибки оперативного персонала.

При планировании выработки электрической энергии [1] АЭС (в том числе для энергоблоков, поставляющих мощность по ДПМ) с применением детерминированного метода неплановая недовыработка оборудования рассчитывается по формуле (1):

$$N_{откл} = N_{уст.факт} \cdot k_{нар} \cdot k_{расч} \quad (1)$$

где $N_{уст. факт}$ – установленная мощность энергоблока, МВт;

$k_{нар}$ – коэффициент нарушений, принимаемый как нормативное значение, рассчитанное статистически за период 3–5 лет;

$k_{расч}$ – коэффициент, учитывающий время нахождения блока в ремонте неплановом простое (неплановый останов реактора, частичное снижение мощности при работающем реакторе, превышение сроков ремонта во время ППР).

Данный подход учитывает крупные редкие события, но размер недовыработки зависит также от более мелких событий, к которым относят, например перепростой в ППР из-за некачественного ремонта и ошибок персонала.

При расчёте $k_{нар}$ за 3–5 лет и малом числе отказов (например, один серьёзный отказ за период) среднее значение оказывается неустойчивым. Добавление или исключение одного года может изменить коэффициент в несколько раз.

Кроме того, действующая методика не позволяет также рассчитать следующие практически важные показатели:

- вероятность превышения заданного порога недовыработки;
- объём резерва, необходимый для обеспечения заданного уровня надёжности;
- риск одновременного отказа на нескольких энергоблоках.

Для рассмотрения вариантов прогнозирования недовыработки предлагается определить вид распределения данных для расчета и графического представления недовыработки. Рассмотрены наиболее часто используемые виды распределений:

- гамма-распределение;
- распределение Вейбулла;
- нормальное распределение;
- логарифмически-нормальное распределение.

Гамма-распределение нашло широкое применение в теории надежности и в задачах резервирования, которое показывает время безотказной работы. Так как в предлагаемой вероятностной модели необходимо оценить влияние самого отказа на выработку электроэнергии, применение гамма-распределения в настоящей работе не целесообразно.

Распределение Вейбулла – это распределение экстремальных значений, которое описывает поведение минимальных значений выборки и имеет строго ограниченные границы. Так как в предлагаемой вероятностной модели исходные данные не ограничены ни в количестве, ни в значениях величин, то применение распределения Вейбулла невозможно.

Нормальное распределение имеет ряд существенных ограничений и недостатков при моделировании реальных процессов, одно из которых – чувствительность к выбросам. Так как в предлагаемой вероятностной модели в исходные данные входят и редкие крупные отказы, которые можно квалифицировать как выброс данных в выборке, и он является доминирующим фактором в расчетах, то распределение уже не будет нормальным.

В этом случае рекомендуют использовать другие законы распределения, например, логнормальное распределение.

Логнормальное распределение наиболее подходит для планирования по следующим признакам:

- недовыработка не может быть отрицательной;

- реальные данные по отдельным годам свидетельствуют о недовыработке ниже средних значений, а данные за несколько лет – значительно выше;
- редкие крупные отказы систем и их отдельного оборудования приводят к выбросам, вероятность которых убывает медленнее, чем при нормальном распределении;
- так как недовыработка формируется как произведение множества независимых случайных факторов (частота отказов, длительность ремонта, глубина снижения мощности), то согласно центральной предельной теореме для произведения логарифм недовыработки стремится к нормальному распределению;
- модель имеет всего два параметра (μ и σ), которые легко оцениваются по годовым данным за 3–5 лет методом моментов или максимального правдоподобия;
- логнормальное распределение позволяет в явном виде рассчитывать медиану, среднее, квантили без численного интегрирования.

Функция логарифмически-нормального распределения отражена в выражении (2).

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Проведен анализ неплановой недовыработки для 4 энергоблока НВАЭС по фактическим данным с 2010 по 2025 год и для 4-7 энергоблоков НВАЭС по фактическим данным с 2020 по 2025 год.

Установлено, что как сами данные выработки, так и логарифм этих данных также подчиняются нормальному закону распределения, при этом логнормальное распределение дает кратно меньшую погрешность. В сводной таблице 1 отражены результаты статистической оценки, проведённой в соответствии с требованием нормативных документов [2], [3].

Таблица 1 – Статистические показатели массивов недовыработки электроэнергии НВАЭС за рассмотренные периоды

Блоки/ Вид распределения	Годы	Мат. ожидание	СКО относительная, %	СКО, абсолютная
4 блок, нормальное распределение	2010-2025	45,07 млн. кВт*ч	146,80	66,16 млн. кВт*ч
4 блок, логнормальное распределение	2010-2025	2,63	71,046	1,87
4-7 блок, нормальное распределение	2020-2025	263,53 млн. кВт*ч	92,89	244,77 млн. кВт*ч
4-7 блок, логнормальное распределение	2020-2025	4,92	31,39	1,54

Предлагаемый метод вероятностного анализа позволяет:

- выполнять прогнозные расчеты плановой выработки электроэнергии на следующий планируемый год с применением риск-ориентированного подхода недовыработки электроэнергии;
- осуществлять ежедневный учет плановой выработки электроэнергии и планируемой и непланируемой недовыработки электроэнергии в течение текущего года;
- проводить вероятностный анализ фактических данных, полученных за прошедший год, для целей корректировки накопленных результатов.

Статистическая обработка одного массива данных вероятностным методом даёт разные результаты, в зависимости от применяемого алгоритма обработки и субъективной интерпретации исходных событий недовыработки.

Указанная неопределенность может быть минимизирована путём последовательной систематизации причин недовыработки на всех энергоблоках российских АЭС, а также исследованием и формализацией дополнительных критериев планирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МР 1.1.4.04.1753-2023. Формирования перспективных планов производства электроэнергии на атомных станциях.
2. ГОСТ Р 50779.10-2000. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
3. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений.

УДК 621.039.5

МАНЕВРЕННЫЙ РЕЖИМ КУРСКОЙ АЭС-2: ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ К ПОДТВЕРЖДЕНИЮ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Шаповалов К.Н.¹, Лапкис А.А.²

¹Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Курская атомная станция», г. Курчатова, Россия

²Волгодонский инженерно-технический институт – филиал

Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия

¹Kest879@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу проектной возможности работы энергоблока Курской АЭС-2 в маневренном режиме. Рассматриваются результаты опытно-промышленной эксплуатации, в ходе которой блок устойчиво функционирует на 100% мощности в заданных параметрах. На основе успешных испытаний и расчетных данных обосновывается вывод о готовности блока к работе в маневренном режиме в соответствии с проектом, несмотря на отсутствие текущей эксплуатационной необходимости из-за дефицита электроэнергии в сети.

Ключевые слова: Курская АЭС-2, маневренный режим, опытно-промышленная эксплуатация, проектные расчеты, ядерная безопасность, маневренные характеристики, энергосистема.

MANEUVERING MODE OF KURSK NPP-2: FROM THEORETICAL CALCULATIONS TO CONFIRMATION OF DESIGN CHARACTERISTICS

Shapovalov K.N.¹, Lapkis A.A.²

¹Branch of JSC Rosenergoatom Concern Kursk Nuclear Power Plant, Kurchatov, Russia

²Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"

Volgodonsk, Russia

Kest879@mail.ru¹

Abstract. The article is devoted to the analysis of the design possibility of operation of the Kursk NPP-2 power unit in maneuvering mode. The results of pilot operation are considered, during which the unit stably operates at 100% power within the specified parameters. Based on successful tests and calculated data, the conclusion about the unit's readiness to operate in maneuvering mode in accordance with the design is substantiated, despite the lack of current operational necessity due to the electricity shortage in the grid.

Keywords: Kursk NPP-2, maneuvering mode, pilot operation, design calculations, nuclear safety, maneuvering characteristics, power system.

Современная электроэнергетика сталкивается с вызовом, связанным с ростом доли нестабильных возобновляемых источников (солнечных и ветровых) и неравномерностью потребления. В этих условиях способность атомных станций работать в маневренном режиме – оперативно изменять мощность в соответствии с графиком нагрузки энергосистемы – становится не просто конкурентным преимуществом, а системообразующим фактором. Именно такой подход заложен в проект нового поколения Курской АЭС-2 с реакторными установками ВВЭР-ТОИ (водо-водяной энергетический реактор типовой оптимизированный информатизированный). В статье рассмотрено, насколько теоретические расчеты маневренности подтверждаются результатами текущего этапа опытно-промышленной эксплуатации (ОПЭ) первого блока[1].

Создание Курской АЭС-2 изначально велось с учетом современных требований к гибкости. В техническом проекте заложена возможность работы блока в суточном и недельном графиках нагрузки с изменением мощности в диапазоне от 50% до 100% от номинальной. Теоретические расчеты, выполненные проектным институтом и научным

руководителем – Курчатовским институтом, показали, что:

- активная зона реактора сохраняет устойчивость параметров при изменении мощности;
- системы управления защитой (СУЗ) обеспечивают требуемую скорость разогрева и расхолаживания без нарушений пределов безопасной эксплуатации[2];
- топливные циклы рассчитаны на компенсацию ксеноновых колебаний, возникающих при маневрировании.

Таким образом, маневренный режим для Курской АЭС-2 – не вынужденное отступление от базового режима, а штатная проектная опция. Однако любое проектное решение требует физического подтверждения на реальном оборудовании.

В настоящее время блок №1 Курской АЭС-2 находится в стадии опытно-промышленной эксплуатации. Это ответственный этап, в ходе которого проверяется соответствие фактических параметров работы оборудования проектным значениям, отрабатываются регламенты и готовится персонал. Ключевым наблюдением текущего периода является следующее: блок устойчиво несет нагрузку на 100% номинальной мощности в течение длительного времени.

Все системы – от реакторной установки до турбогенератора и вспомогательного оборудования – функционируют в заданных проектных параметрах. По данным системы внутриреакторного контроля, нейтронно-физические характеристики активной зоны полностью соответствуют расчетным. Теплогидравлические параметры первого и второго контуров находятся в допустимых пределах. Испытания, проведенные на этапе ОПЭ, подтвердили надежность работы основного и резервного оборудования.

Более того, успешно выполнены отдельные тестовые маневры (небольшие изменения мощности), предусмотренные программой пусконаладочных работ. Они показали, что системы автоматического регулирования адекватно реагируют на управляющие воздействия, а температурные напряжения в оборудовании не превышают допустимых значений. Однако полноценный выход блока на длительную эксплуатацию в маневренном режиме в настоящий момент не требуется.

Сложившаяся ситуация в объединенной энергосистеме Центра России характеризуется устойчивым дефицитом генерирующей мощности. Спрос на электроэнергию опережает вводы новых генераций, а вывод устаревших мощностей (в том числе блоков Курской АЭС первого поколения) создает напряженный баланс. В таких условиях каждый мегаватт базовой мощности востребован для покрытия нагрузки.

Поэтому на данном этапе нет необходимости переводить блок Курской АЭС-2 в маневренный режим с циклическими изменениями нагрузки. Блок работает в наиболее экономичном и предсказуемом базовом режиме на 100% мощности, максимально насыщая сеть дешевой и экологически чистой электроэнергией. Это не означает, что проектная возможность маневрирования не будет востребована в будущем – при изменении структуры генерации или баланса мощности. Но в текущих условиях приоритетом является выдача максимальной энергии.

Наиболее важный научно-практический вывод, который можно сделать на основе результатов опытно-промышленной эксплуатации, заключается в следующем: стабильная работа блока на номинальной мощности в полном соответствии с расчетными параметрами является надежным основанием для утверждения о его готовности к работе в маневренном режиме.

Эта логика базируется на фундаментальных принципах ядерной физики и теплогидравлики[3]:

1. Принцип консервативности расчетов. Проектные запасы и пределы безопасной эксплуатации при маневрировании закладываются с учетом всех переходных процессов. Если блок безаварийно работает в стационарном режиме на 100% мощности – самом интенсивном с точки зрения тепловых нагрузок на топливо и оборудование, – то он тем более способен выдерживать режимы с пониженной мощностью, где тепловые потоки и механические напряжения ниже или сопоставимы.

2. Успешное моделирование переходных процессов. На этапе проектирования и подготовки ОПЭ были выполнены многовариантные расчеты на специализированных кодах (например, КОРСАР/ГП, РАТЕГ). Эти расчеты показали, что все контролируемые параметры (температура оболочек твэлов, давление в первом контуре, запас до кризиса теплообмена) остаются в пределах нормы при изменении мощности со скоростью до 5% номинала в минуту. Фактическая работа блока на 100% мощности подтвердила точность этих моделей.

3. Результаты тестовых маневров. Хотя длительной эксплуатации в маневренном режиме не ведется, выполненные кратковременные изменения мощности (например, в рамках испытаний систем регулирования) продемонстрировали корректную работу автоматики, регулирующих стержней и питательных систем. Никаких отклонений, не предусмотренных проектом, зафиксировано не было[4].

4. Состояние оборудования. Отсутствие замечаний по вибрации, герметичности, тепловым расширениям при работе на 100% мощности свидетельствует о высоком качестве монтажа и настройки. Это является косвенным, но весомым подтверждением того, что оборудование выдержит циклические термомеханические нагрузки маневренного режима.

Курская АЭС-2 представляет собой современный энергоблок, спроектированный с учетом требований к гибкости и маневренности. В настоящее время, в период опытно-промышленной эксплуатации, блок устойчиво работает на 100% мощности в заданных параметрах, что обусловлено объективным дефицитом электроэнергии в сети. Отсутствие эксплуатационной необходимости переводить блок в маневренный режим не отменяет его проектной возможности.

Напротив, успешные испытания, точное соответствие всех параметров расчетным значениям и безаварийная работа на максимальной мощности позволяют с высокой степенью уверенности утверждать: блок Курской АЭС-2 будет работать в маневренном режиме так же успешно, как и на постоянной мощности, полностью соответствуя проекту и расчетным обоснованиям. Это подтверждает правильность инженерных решений, заложенных в проект ВВЭР-ТОИ, и демонстрирует готовность российской атомной энергетики к работе в условиях изменяющегося энергорынка и интеграции нестабильных возобновляемых источников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аминов, А. З. АЭС с ВВЭР: режимы, характеристики, эффективность / А. З. Аминов, В. А. Хрусталева, А. С. Духовенский, А. И. Осадчий. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Булавкин Г.В. Режимы работы и эксплуатация АЭС: учебное пособие. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2023. – 254 с. – ISBN 978-5-00062-585-9.
3. Булавкин, Г. В. Режимы работы и эксплуатация АЭС: учебное пособие / Г. В. Булавкин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина. – Иваново: Ивановский гос. энергетический ун-т им. В. И. Ленина, 2023. – 254 с. – ISBN 978-5-00062-585-9.
4. Ученые «Росатома» подтвердили надежность эксплуатации ядерного топлива ВВЭР большой мощности в маневренном режиме // Пресс-служба АО «ТВЭЛ». – 2024. – 15 июля.

УДК 621.039.586+551.515.3

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СМЕРЧЕОПАСНОСТИ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ПРИМЕРЕ КУРСКОЙ АЭС

Юдичева В.А.¹, Каранов А.А.², Тарасенко А.В.³

^{1,3}Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия

^{1,2,3}ООО «РИСК МОНИТОР», г. Всеволожск, Россия

Аннотация. В работе рассмотрено изменение смерчеопасности в районах размещения АЭС за последние несколько десятилетий. На примере Курской АЭС выполнена оценка смерчеопасности района размещения станции с учетом современных метеорологических данных и актуальной информации о зарегистрированных случаях смерчей. По результатам оценки было выявлено, что в районе размещения Курской АЭС стало регистрироваться больше смерчей. Сделан вывод, что старые работы по оценке смерчеопасности могут значительно её недооценивать по сравнению с актуальными данными.

Ключевые слова: АЭС, смерч, торнадо, смерчеопасность, внешние воздействия, изменение климата, вероятностный анализ безопасности, ВАБ, безопасность АЭС

THE ASSESSMENT OF CHANGES IN TORNADO HAZARD AT THE NUCLEAR POWER PLANTS SITES FOR THE KURSK NPP EXAMPLE

Yudicheva V.A.¹, Karanov A.A.², Tarasenko A.V.³

^{1,3} *Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU), Saint Petersburg, Russia*

^{1,2,3} *"RISK MONITOR" LLC, Vsevolozhsk, Russia*

Abstract. The paper describes the changes in tornado activity in the areas of nuclear power plants over the past few decades. The paper assesses the tornado hazard in the plant's location area based on modern meteorological data and current information about recorded tornadoes on the example of the Kursk nuclear power plant. The assessment showed an increase in the number of recorded tornadoes in the area of the Kursk nuclear power plant. It was concluded that earlier tornado hazard assessments might significantly underestimate the current level of hazard compared with updated observational data.

Keywords: NPP, tornado, tornado risk, external hazard, climate change, probabilistic safety assessment, PSA, probabilistic risk assessment, PRA, NPP safety

В последние десятилетия исследования экстремальных природных воздействий, включая смерчи, приобретают всё большую актуальность в связи с изменением климата и опасностью их воздействия на техногенные системы, такие как атомные электростанции (далее АЭС). Однако прямая связь между увеличением частоты возникновения смерчей и глобальным изменением климата остается неопределенной. Атмосферные условия, влияющие на формирование смерчей, могут усиливаться на фоне роста температуры воздуха в теплый период года [1]. Результаты работ в данной области свидетельствуют о том, что современная угроза смерчей существенно недооценивается общественностью и требует систематической оценки и прогнозирования [2]. При этом значительная часть наблюдаемых изменений может быть связана с развитием систем мониторинга и видеофиксации смерчей. В связи с этим, возникает необходимость переоценки смерчеопасности в районах размещения АЭС.

Особый интерес представляют энергоблоки, находящиеся в эксплуатации уже длительное время и имеющие более низкий уровень устойчивости к внешним воздействиям по сравнению с современными проектами АЭС. Поэтому в качестве объекта исследования был выбран район размещения Курской АЭС с энергоблоками типа РБМК-1000. Согласно РБ-022-01, данный регион относится к зоне с повышенной смерчеопасностью «ІД» в пределах европейской части России [3]. Также стоит отметить, что в г. Льгов, расположенном в непосредственной близости от Курской АЭС (на расстоянии около 30 км), в 2022 году был зарегистрирован смерч интенсивности F2, разрушивший несколько частных жилых домов и опоры ЛЭП [4].

Сведения о смерчах, зарегистрированных до 2001 года, могут быть найдены в РБ-022-01 [3]. В таблице 1 представлен перечень зарегистрированных смерчей в зоне радиусом 200 км вокруг промплощадки Курской АЭС.

Таблица 1 – Перечень смерчей, зафиксированных в зоне вокруг Курской АЭС до 2001 года

Дата	Координаты	Класс	Дата	Координаты	Класс	Дата	Координаты	Класс
01.03.1905	50 N 34 E	2	03.06.1965	51 N 38 E	0	02.07.1971	50 N 36 E	2
12.08.1937	52 N 37 E	0	03.06.1965	51 N 37 E	1	01.07.1974	50 N 36 E	1
31.07.1957	52 N 36 E	0	27.07.1965	51 N 38 E	0	01.07.1974	51 N 38 E	0
14.08.1961	52 N 38 E	1	19.07.1970	52 N 37 E	1	03.06.1975	51 N 34 E	0
Всего смерчей			12					

Данные по смерчам за период с 2002 по 2025 гг. были обновлены по Европейской базе данных экстремальных метеорологических явлений (European Severe Weather Database) [5].

Результаты отбора приведены на рисунке 1 и в таблице 2.

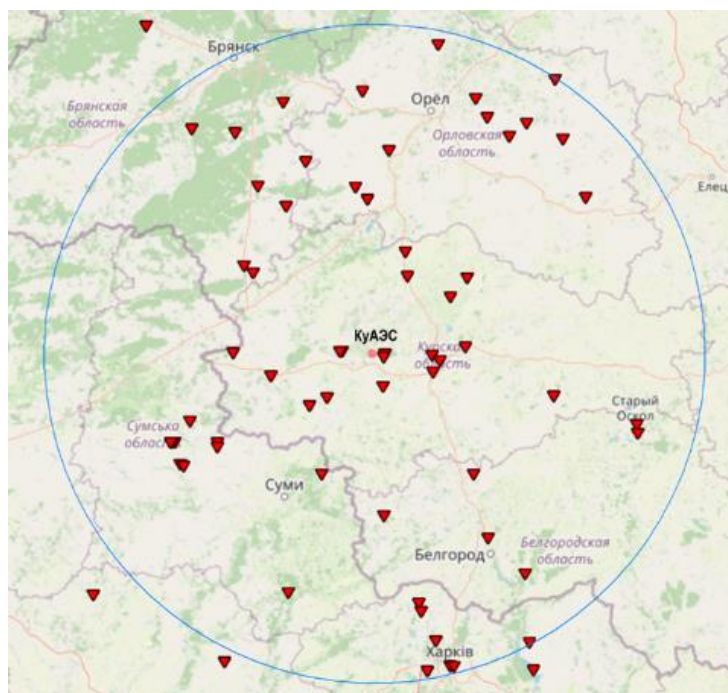


Рисунок 1 – Смерчи, зафиксированные в двухсоткилометровой зоне вокруг Курской АЭС за период с 2002 по 2025 г (включительно)

Таблица 2 – Краткая характеристика смерчей, зафиксированных в двухсоткилометровой зоне вокруг Курской АЭС за период с 2002 по 2025 г (включительно)

Дата	Координаты	Класс	Дата	Координаты	Класс	Дата	Координаты	Класс
06.05.2024	51.64 N 36.14 E	0,5	05.06.2017	53.07 N 35.47 E	1	09.07.2009	49.97 N 36.23 E	0
01.10.2022	52.85 N 34.38 E	0,5	05.09.2016	53.31 N 36.13 E	1	23.05.2009	50.28 N 35.98 E	0
21.09.2022	51.66 N 35.66 E	0	23.05.2016	49.94 N 36.03 E	0	17.07.2008	51.25 N 37.85 E	0
18.09.2022	51.67 N 36.08 E	1,5	28.07.2015	51.98 N 36.23 E	0,5	16.08.2006	50.38 N 34.83 E	1
18.09.2022	51.69 N 35.30 E	2,5	11.07.2015	51.20 N 33.83 E	0	09.08.2006	52.51 N 37.40 E	1
18.09.2022	51.40 N 35.02 E	1	29.06.2015	50.32 N 35.96 E	0	09.08.2006	52.08 N 36.38 E	1
18.09.2022	51.32 N 33.98 E	1	26.06.2015	51.08 N 33.90 E	1,5	08.08.2006	52.22 N 35.84 E	1
18.09.2022	51.20 N 33.85 E	3	22.06.2015	52.11 N 34.53 E	1	08.08.2006	51.30 N 37.84 E	1
20.07.2022	52.56 N 35.41 E	0,5	22.06.2015	52.15 N 34.45 E	1	08.08.2006	50.80 N 35.66 E	1
09.07.2022	51.18 N 34.22 E	1	22.06.2015	53.01 N 34.79 E	1	16.07.2006	52.57 N 34.57 E	1
12.05.2022	52.09 N 35.86 E	1	05.10.2014	51.68 N 35.67 E	1	12.05.2006	52.90 N 36.89 E	0
13.06.2021	51.20 N 34.22 E	1	02.06.2013	51.44 N 35.17 E	1	15.07.2005	53.03 N 36.45 E	1
08.06.2021	52.93 N 36.55 E	1	02.06.2013	51.69 N 35.28 E	1	14.07.2004	52.83 N 36.74 E	2
04.06.2020	51.03 N 35.12 E	1	26.08.2012	53.13 N 37.14 E	2	11.07.2004	52.87 N 34.00 E	1
01.06.2020	50.68 N 36.56 E	2	26.06.2012	49.97 N 36.26 E	1	24.05.2004	52.70 N 34.98 E	2
29.05.2020	51.50 N 35.65 E	1	14.06.2012	50.48 N 36.88 E	1	01.09.2003	51.03 N 36.43 E	1
29.05.2020	52.82 N 37.20 E	2	14.06.2011	50.11 N 36.11 E	1	01.09.2003	51.45 N 37.13 E	1
25.05.2019	51.20 N 33.82 E	1	07.07.2010	51.58 N 36.08 E	0	15.07.2003	51.68 N 34.36 E	3
09.05.2019	51.56 N 34.69 E	1	25.05.2010	52.46 N 34.81 E	1	15.06.2003	52.50 N 35.52 E	1
21.07.2018	51.72 N 36.37 E	0	25.05.2010	51.07 N 33.93 E	1	-	-	-
30.06.2017	52.76 N 35.70 E	1	18.05.2010	50.10 N 36.92 E	1	-	-	-
Всего смерчей				61				

По результатам анализа данных после 2001 года стоит отметить, что общее количество зарегистрированных смерчей значительно увеличилось (61 смерч за последние

25 лет по сравнению с 12 за весь остальной период наблюдений). Также увеличилось число зарегистрированных смерчей интенсивностью более 1 по шкале Фудзиты (10 смерчей за последние 25 лет с по сравнению с 2 за весь остальной период наблюдений). Причиной этому могут являться как изменение климата, так и развитие систем мониторинга, фото и видеофиксации смерчей.

Наглядно проанализировать изменения статистики зарегистрированных смерчей можно при помощи построения кривых смерчеопасности. На рисунке 2 представлены кривые смерчеопасности, оцененные по данным до 2001 года и по полному периоду наблюдений (до 2025 года) согласно методике из Приложения 7 РБ-022-01 [3].

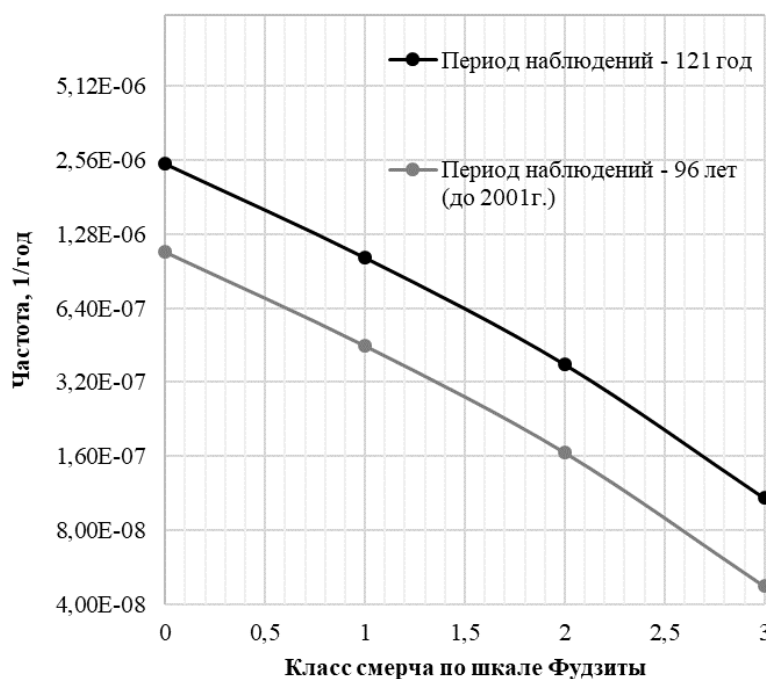


Рисунок 2 – Кривые смерчеопасности

По построенным кривым видно, что смерчеопасность района размещения Курской АЭС сейчас значительно превышает оценки 25-летней давности. Следовательно, смерчеопасность Курской области и близлежащих регионов размещения АЭС может быть недооценена, если работы по её анализу выполнялись в 2000-х и 2010-х годах. Таким образом, при последующих работах по обоснованию безопасности объектов использования атомной энергии, учитывая указанное расхождение оценок смерчеопасности, необходимо использовать более современные данные.

Также отдельно следует рассмотреть вопрос применимости данных из периода наблюдений до 2001 года, поскольку, возможно, он более не является репрезентативным для реального уровня смерчеопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тетерин А.Ф. Смерчи в Челябинской области и в районе размещения ФГУП "Производственное объединение "Маяк" // Вопросы радиационной безопасности. 2016. № 3 (83). С. 25-35. EDN: WTPQZH.
2. Tornadoes in Northern Eurasia: From the Middle Age to the Information Era / A. Chernokulsky, M. Kurgansky, I. Mokhov [et al.] // Monthly Weather Review. – 2020. – Vol. 148, No. 8. – P. 3081-3110. – DOI 10.1175/MWR-D-19-0251.1. – EDN HDVJPW.
3. Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии. РБ-022-01. Госатомнадзор России. Москва, 2001.
4. Санникова, Г. В. Анализ синоптических процессов возникновения смерчей в Курской области и близлежащих районах / Г. В. Санникова // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2023. – № 2(388). – С. 93-113. – DOI 10.37162/2618-9631-2023-2-93-113. – EDN CUSMSM.
5. European Severe Weather Database // European Severe Storms Laboratory [Электронный ресурс]. URL: <https://eswd.eu/> (дата обращения: 01.03.2026)

СЕКЦИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ АЭС

УДК 621.791

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ
ДУГОВОГО РАЗРЯДА С ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА
ХАРАКТЕРИСТИКИ КАПЛЕПЕРЕНОСА
ПРИ СВАРКЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Бурдаков Е.С.¹, Бурдаков С.М.², Подрезов Н.Н.³

¹*Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск,
г. Волгодонск, Россия*

^{2,3}*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
г. Волгодонск, Россия*

¹*konanxxxx@mail.ru*

Аннотация. Стальные конструкции находят широкое применение при изготовлении и монтаже каркасов зданий промышленных объектов энергетики, что позволяет сократить сроки их возведения, а это предопределяет не только удешевление строительства, но и быстрее введение в эксплуатацию производственных мощностей.

Следует отметить, что характеристики переноса электродного металла в сварочную ванну оказывают в некоторых случаях определяющее влияние на технологические свойства дуги, такие как: перенос, разбрызгивание металла сварочной ванны; формирование шва и другие.

В данной работе на основании осциллограмм сварочного тока и напряжения были получены и проанализированы такие параметры, как длительность импульсов коротких замыканий каплепереноса, базовый и пиковый сварочный ток в момент короткого замыкания при переходе капли в ванну при комбинированном питании от источника постоянного тока и в режиме с параллельно подключенным к нему дополнительным генератором который формирует сигнал QPS_40: $U_{QPS_40}=80,0В$, $f_{QPS_40}=40,0кГц$.

Приводятся результаты расчетов силы тяжести, электро-динамической силы, силы реактивного давления паров металла, силы поверхностного натяжения, действующие в процессе сварки на каплю расплавленного металла при переходе в ванну.

Проведен анализ результатов оценки полученных результатов для исследованных режимов. Можно отметить, что снижение пикового тока в режиме 120А с QPS_40 свидетельствует о процессе сварки пригодном для работы с тонким металлом, в неудобных положениях, при повышенных требованиях к качеству шва. В этом режиме будет уменьшение ширины зоны термического влияния, величины остаточных сварочных деформаций. Анализ суммы сил действующих на каплю показал, что во всех режимах идет гарантированный отрыв капли. Снижение длительности коротких замыканий в исследуемых режимах с QPS_40 говорит о получении более устойчивого горения дуги, снижении разбрызгивания, повышении производительности процесса сварки. Это является важным положительным моментом при сварке стальных конструкций строящихся ТЭС и АЭС.

Ключевые слова: Стальные конструкции, удешевление строительства, ручная дуговая сварка, характеристики переноса электродного металла, базовый сварочный ток, пиковый ток, сварной шов, процесс сварки, высокочастотное воздействие на дугу, сила тяжести, сила пинч-эффекта, сила реактивного давления паров металла, сила поверхностного натяжения.

**STUDY OF INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FORCES OF ARC DISCHARGE
WITH HIGH-FREQUENCY IMPACT ON DROP TRANSFER CHARACTERISTICS
WHEN WELDING STEEL STRUCTURES**

Burdakov E.S.¹, Burdakov S.M.², Podrezov N.N.³

¹*«Атоммаш» the branch of «AEM-technologies» JSC in Volgodonsk,
Volgodonsk, Russia*

^{2,3}*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
Volgodonsk, Russia*

¹*konanxxxx@mail.ru*

Abstract. Steel structures are widely used in the manufacture and installation of building frames for industrial energy facilities, which makes it possible to reduce the time for their construction, and this determines not only the reduction in the cost of construction, but also the fastest commissioning of production facilities.

It should be noted that the characteristics of the transfer of electrode metal into the welding bath in some cases have a decisive influence on the technological properties of the arc, such as: transfer, spraying of the metal of the welding bath; weld formation and others.

In this work, based on the oscillograms of the welding current and voltage, such parameters as the duration of the drop transfer short circuit pulses, the base and peak welding current at the time of a short circuit during the transition of a drop into a bath with combined power supply from a direct current source and in a mode with an additional generator connected in parallel to it were obtained and analyzed which generates a QPS_40 signal: $U_{QPS_40} = 80.0B$, $f_{QPS_40} = 40.0kHz$.

Results of calculations of gravity force, electro-dynamic force, force of reactive pressure of metal vapors, forces of surface tension acting in process of welding on drop of molten metal at transition into bath are given.

The results of evaluation of the obtained results for the studied modes were analyzed. It can be noted that a decrease in peak current in the 120A mode with QPS_40 indicates a welding process suitable for working with thin metal, in inconvenient positions, with increased requirements for weld quality. In this mode, there will be a decrease in the width of the heat-affected zone, the value of residual welding deformations. Analysis of the sum of the forces acting on the drop showed that in all modes there is a guaranteed separation of the drop. Reducing the duration of short circuits in the studied modes with QPS_40 indicates a more stable arcing, reduced spattering, and increased efficiency of the welding process. This is an important positive moment when welding steel structures of thermal power plants and nuclear power plants under construction.

Keywords: Steel structures, construction cost reduction, manual arc welding, electrode metal transfer characteristics, basic welding current, peak current, weld seam, welding process, high-frequency impact on arc, gravity force, pinch effect force, reactive metal vapor pressure force, surface tension force.

Стальные конструкции находят широкое применение при изготовлении и монтаже каркасов зданий промышленных объектов энергетики, что позволяет сократить сроки их возведения, а это предопределяет не только удешевление строительства, но и быстрее вступление в эксплуатацию производственных мощностей.

Неотъемлемой частью изготовления, сборки и монтажа стальных конструкций является обеспечения их эксплуатационной надежности, зависящей от технологических свойств сварочной дуги при ручной дуговой сварке (РДС). Следует отметить, что характеристики переноса электродного металла в сварочную ванну оказывают в некоторых случаях определяющее влияние на технологические свойства дуги, такие как: перенос, разбрызгивание металла сварочной ванны; формирование шва и другие [1].

Прохождение электрического тока через дугу вызывает появление электромагнитных сил, влияющих на процесс переноса металла. Поэтому исследование влияния электромагнитных сил дугового разряда на характеристики каплепереноса при РДС стальных конструкций, является актуальной задачей. Наиболее важным проявлением электромагнитных сил в сварочной дуге является сжимающее действие электрического тока, так называемый пинч-эффект [2, 3].

Применение дополнительного высокочастотного воздействия на дуговой разряд постоянного тока частотой 40кГц (QPS_40) повышает его устойчивость при РДС [4]. Предлагается оценить влияние QPS_40 на электромагнитные силы дугового разряда и характеристики каплепереноса при РДС.

В данной работе на основании осциллограмм сварочного тока и напряжения были получены и проанализированы такие параметры, как длительность импульсов коротких замыканий каплепереноса— $\tau_{к.з.}$, базовый сварочный ток— $I_{св.}$, пиковый ток в момент короткого замыкания при переходе капли в ванну— $I_{св.п.}$. Питание дуги вели от источника постоянного тока ВДУ-504, и с параллельно подключенным к нему дополнительным генератором, выдающим сигнал—QPS_40, со следующими параметрами: $U_{QPS_40}=80,0B$, $f_{QPS_40}=40,0кГц$. Сварной шов получали в нижнем положении на стальных образцах (марка стали Ст3) прямоугольной формы 200,0×200,0мм толщиной 12,0мм с применением QPS_40 и без. Использовался электрод УОНИИ 13/45 Ø 3,0мм. Эксперименты проведены на токах I_d : 100, 120А. Допустим, что в процессе сварки на каплю расплавленного металла при переходе в ванну могут действовать: сила тяжести, электро-динамическая сила (пинч-эффект), реактивное давление паров металла, сила поверхностного натяжения [5]. Сила тяжести.

$$F_{\text{тяж}} = \frac{4}{3} \pi \cdot r_k^3 \cdot \rho \cdot g, \quad (1)$$

где r_k – радиус капли, м;

$\rho=7800$ – плотность стали, кг/м³;

$g=9,81$ – ускорение свободного падения, м/с².

Сила пинч-эффекта действующая на каплю может быть определена по [3].

$$F_{\Pi} = 10^{-7} \cdot I^2 \cdot \ln \frac{r_c}{r_s}, \quad (2)$$

где r_c – радиус столба дуги, м;

r_s – радиус электрода, м.

Сила реактивного давления паров металла [5].

$$F_p = k \cdot I^2, \quad (3)$$

где $k=3 \times 10^{-8}$ – коэффициент реактивного давления, Н/А².

Сила поверхностного натяжения металла [3], Н.

$$F_{\text{пв.}} = 2\pi \cdot r_{\text{ш}} \cdot \sigma, \quad (4)$$

где, $r_{\text{ш}}=0,0005$ – радиус шейки в момент отрыва капли, м;

$\sigma=1,2$ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м.

Определение критериев по указанным формулам проведем с помощью обработки осциллограмм сварочного тока и напряжения в ptc©MathCad.

При ведении сварочного процесса в режиме $I_{\text{св.100A}}=100\text{A}$, $I_{\text{св.п.100A}}=190\text{A}$, $U_{\text{д.100A}}=22\text{В}$: $\tau_{\text{к.з.100A}}=0,022\text{с}$, $F_{\text{тяж.100A}}=2,2 \times 10^{-3}\text{Н}$, $F_{\text{п.100A}}=3,84 \times 10^{-3}\text{Н}$, $F_{\text{р.100A}}=1,08 \times 10^{-3}\text{Н}$, сумма сил $F_{\Sigma.100A}=5,12 \times 10^{-3}\text{Н}$, сила поверхностного натяжения $F_{\text{пв.}}=3,8 \times 10^{-3}\text{Н}$. Так как $F_{\text{пв.}} < F_{\Sigma.100A}$ отрыв капли гарантирован. В аналогичном режиме с QPS_40 $I_{\text{св.100A}}=100\text{A}$, $I_{\text{св.п.100A}}=272\text{A}$, $U_{\text{д.100A}}=23\text{В}$: $\tau_{\text{к.з.100A}}=0,018\text{с}$, $F_{\text{тяж.100A}}=1,31 \times 10^{-3}\text{Н}$, $F_{\text{п.100A}}=3,78 \times 10^{-3}\text{Н}$, $F_{\text{р.100A}}=2,22 \times 10^{-3}\text{Н}$, сумма сил $F_{\Sigma.100A}=7,31 \times 10^{-3}\text{Н}$. Так как $F_{\text{пв.}} < F_{\Sigma.100A}$ отрыв капли гарантирован с большей вероятностью.

В режиме без QPS_40 $I_{\text{св.120A}}=120\text{A}$, $I_{\text{св.п.120A}}=190\text{A}$, $U_{\text{д.120A}}=24\text{В}$, $\tau_{\text{к.з.120A}}=0,025\text{с}$, $F_{\text{тяж.120A}}=1,87 \times 10^{-3}\text{Н}$, $F_{\text{п.120A}}=1,84 \times 10^{-3}\text{Н}$, $F_{\text{р.120A}}=1,08 \times 10^{-3}\text{Н}$, сумма сил $F_{\Sigma.120A}=4,79 \times 10^{-3}\text{Н}$. Так как $F_{\text{пв.}} < F_{\Sigma.120A}$ отрыв капли гарантирован. С QPS_40, $I_{\text{св.п.120A}}=242\text{A}$, $U_{\text{д.120A}}=25\text{В}$, $\tau_{\text{к.з.120A}}=0,022\text{с}$, $F_{\text{тяж.120A}}=1,08 \times 10^{-3}\text{Н}$, $F_{\text{п.120A}}=2,99 \times 10^{-3}\text{Н}$, $F_{\text{р.120A}}=1,76 \times 10^{-3}\text{Н}$, сумма сил $F_{\Sigma.120A}=5,83 \times 10^{-3}\text{Н}$. Так как $F_{\text{пв.}} < F_{\Sigma.120A}$ отрыв капли гарантирован.

При использовании QPS_40 $I_{\text{св.100A}}=100\text{A}$ идет увеличение $I_{\text{св.п.100A}}$ в 1,4 раза и снижение $\tau_{\text{к.з.100A}}$ в 1,2 раза, что говорит о формировании капли меньших размеров, отделение и переход в ванну идет быстрее, процесс становится более мелкокапельным. Анализ суммы сил действующих на каплю показал, что во всех режимах идет гарантированный отрыв капли. Например, для режима 100A рост $F_{\Sigma.100A}$ в 1,4 раза при использовании QPS_40 может свидетельствовать о снижении вероятности зависания капли. При пиковом токе снижение $\tau_{\text{к.з.}}$ в исследуемых режимах с QPS_40 говорит о получении более устойчивого горения дуги, снижении разбрызгивания, повышении производительности процесса сварки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хромченко, Ф.А. Надежность сварных соединений труб котлов и паропроводов / Ф.А.Хромченко.– Москва: Энергоиздат, 1982. –120с.
2. Хренов К.К. Электрическая сварочная дуга / К.К. Хренов.– Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1949.– 203с.
3. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. М.: Машиностроение, 1970. 335 с.

4. Бурдаков С.М., Орехов М.И. Анализ способов повышения и критериев оценки устойчивости сварочного дугового разряда / С.М. Бурдаков, М.И. Орехов // Инженерный вестник Дона – 2016. – №2 – URL : <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3594> (дата обращения: 15.05.2026).
5. Павлюк, С. К. Силовое воздействие на капли электродного металла для управления их переходом в сварочную ванну при сварке оцинкованных сталей / С. К. Павлюк, А. В. Лупачев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2010. – № 2. – С. 115-123. – EDN UPMTH.

УДК 692.113

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ АЭС НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Гейдарова А.Н., Смолевский М.А.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
axinyageidarova@yandex.ru*

Аннотация. В работе проведен сравнительный анализ несущей способности и экономической эффективности применения новых методов устройства свайных фундаментов на вечномерзлых грунтах при строительстве объектов атомной энергетики (на примере Кольской АЭС). Рассмотрены технологии формирования буронабивной сваи на опорной грунтобетонной плите, сваи с встроенной системой сезонного охлаждения, сваи с опорным металлическим элементом. Рассмотрена эффективность методов при растеплении грунтов основания.

Ключевые слова: вечномерзлые грунты, новые технологии, свайный фундамент, АЭС, несущая способность, струйная цементация, буропускная свая, сезонное охлаждение, технико-экономическое сравнение.

COMPARATIVE ANALYSIS OF NEW TECHNOLOGIES FOR CONSTRUCTING PILE FOUNDATIONS FOR NUCLEAR POWER PLANTS ON PERMAFROST SOILS

Geidarova A.N., Smolevskiy M.A.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"
Volgodonsk, Russia
axinyageidarova@yandex.ru*

Abstract. The paper considers a comparative analysis of the bearing capacity and economic efficiency of applying new methods for constructing pile foundations on permafrost soils during the construction of nuclear power facilities (using the Kola NPP as a case study) has been carried out. The technologies of forming a bored pile on a supporting soil-concrete pad, a pile with a built-in seasonal cooling system, and a pile with a supporting metal element are considered. The effectiveness of the methods under the thawing of foundation soils is evaluated.

Keywords: permafrost soils, new technologies, pile foundation, nuclear power plant, bearing capacity, jet grouting, drill-and-drop pile, seasonal cooling, techno-economic comparison.

Строительство и эксплуатация объектов атомной энергетики, таких как Кольская АЭС, расположенных в зоне распространения вечномерзлых грунтов, отличаются повышенными требованиями к техническим характеристикам и надежности оснований. Помимо этого, в районе г. Полярные Зори, происходит сезонное оттаивание грунтов основания, которое значительно усложняет задачу возведения фундаментов атомных станций. Оттаивание грунтов основания ведет за собой потерю несущей способности свай.

1. Метод возведения свай с грунтобетонной опорной пятой (Патент RU 2813086 С1). Технология предполагает локальное оттаивание массива грунта вечномерзлых грунтов с помощью паропрогрева паровыми иглами, формирование буронабивной сваи или буронабивной сваи отличающийся тем, что после паропрогрева формируют опорную грунтобетонную плиту в виде грунтобетонного массива, смешанного с цементным раствором и пропитанного высокопроницаемым раствором на основе микроцементов, при этом формирование опорной грунтобетонной пяты осуществляют бурением лидерной скважины

далее через сопло осуществляют под давлением 450-500 атм подачу цементно-водной суспензии и сжатого воздуха и путем обратного хода при этом создают в пределах объема опорной грунтобетонной пяты однородную пористую грунтоцементную смесь, затем вертикально на всю глубину объема опорной пяты устанавливают инъекционную манжетную трубу, в стенках которой через определенный интервал расположены отверстия с упругими манжетами, через эту трубу осуществляют под давлением 5 атм нагнетание высокопроницаемого раствора на основе микроцементов, после затвердевания формируют тело сваи путем опирания на пяту по типу жесткая заделка опирают в опорную грунтобетонную пяту буроинъекционную сваю или буронабивную сваю.[2] Массив грунта не сохраняют в оттаянном состоянии, а он затвердевает до проектных значений, обеспечивающих необходимую несущую способность свайного основания как в растепленном, так и в замороженном грунте с последующим переходом в замороженное состояние.

2. Буроопускной способ с металлической свайей и расширенным опорным элементом (Патент RU 2320821 C1). Метод предусматривает установку металлической сваи выполняемой в виде ствола с расширенной нижней частью, проходящей в скважину и состоящей из жестко прикрепленного к нижнему концу ствола сваи горизонтального опорного элемента из металлического листа и металлических вертикальных ребер жесткости, размещенных на верхней поверхности опорного элемента радиально относительно продольной оси ствола сваи и жестко прикрепленных к стволу и опорному элементу, а перед установкой металлической сваи в скважину на дно пробуренной скважины укладывают выравнивающий слой из щебня, или гравия, или песка, который уплотняют путем сбрасывания сваи в скважину с высоты, достаточной для уплотнения материала выравнивающего слоя расширенной нижней частью сваи, затем устанавливают металлическую сваю в скважину и послойно заполняют пространство между стволом сваи и поверхностью скважины талым или мерзлым грунтом, извлеченным из скважины, причем слои мерзлого грунта отогревают в скважине до талого состояния с помощью паровых игл или других нагревателей, после укладки каждого слоя талый грунт в пространстве между стволом сваи и поверхностью скважины уплотняют трамбованием, а после уплотнения верхнего слоя грунта, заполняющего пространство между стволом сваи и поверхностью скважины, сваю оставляют ненагруженной до смерзания ее с окружающим массивом вечномерзлого грунта.[3].

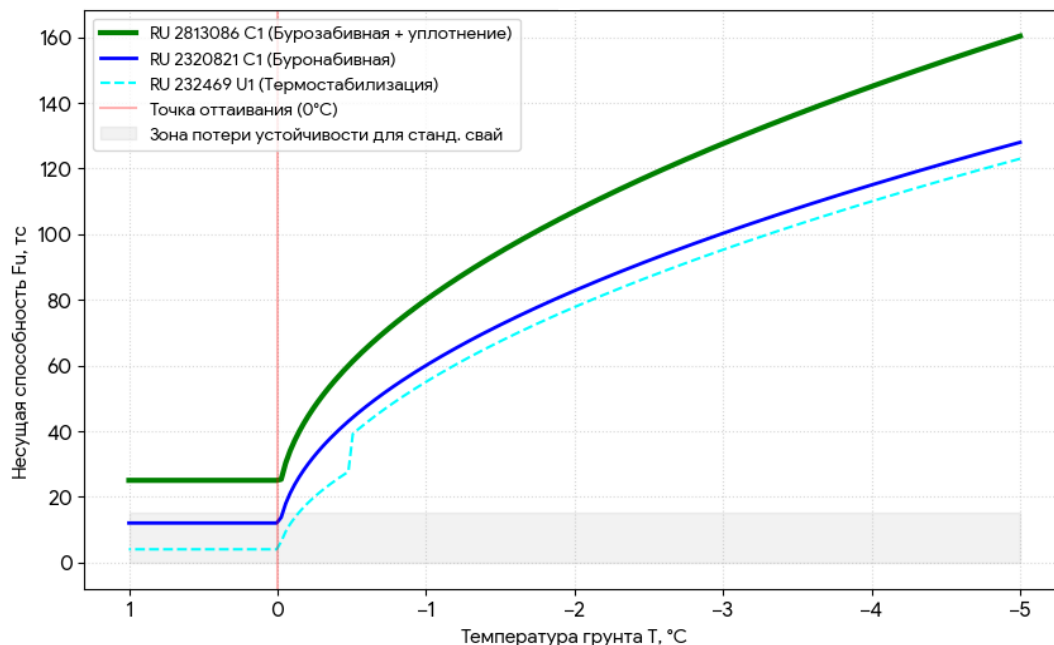
3. Буроопускная свая с сезонной системой охлаждения. Буроопускная свая железобетонная, со встроенной системой охлаждения, представляет собой бетонную конструкцию, продолговатую по длине круглой формы сечения с расширенной пятой сферической формы с металлическим армированием трубчатой конфигурации и цилиндрическим расширением с прослойкой утеплителя у оголовка сваи. Буроопускная свая оснащена сезонной системой охлаждения, выполненной в виде заполненной хладагентом замкнутой системы стальных труб, U-образной формы с расширением в сферическом основании сваи, полностью выполняющих роль армирования конструкции. Метод направлен на предотвращение деградации мерзлоты под воздействием эксплуатационных тепловыделений от зданий АЭС, создавая надежное основание.

Примерами аварийных ситуаций вызванных деградацией вечной мерзлоты могут стать: реакторная установка в Удаоляне (Тибет). В районе распространения вечной мерзлоты на Цинхай-Тибетском нагорье была зафиксирована просадка фундамента энергетического реактора. Исследование показало, что причиной стала деградация многолетнемерзлых грунтов в основании. Разлив дизельного топлива в Норильске на ТЭЦ-3, основной причиной стала разгерметизация резервуара в следствие проседания свайного основания, вызванного таянием вечной мерзлоты.

Сравнение несущих способностей фундаментов возведенных различными способами дает такой результат: Метод с свайей на грунтобетонной пяте значительно превосходит остальные как в условиях мерзлого грунта, так и в условиях его растепления. Принципиальное преимущество метода в том, что несущая способность при деградации

мерзлоты теряется в меньшей мере, относительно других способов[2]. Буроопускная свая в мерзлом грунте, согласно данным СП[1], эффективно работает за счет смерзания сои с грунтами основания, но оттаивание приводит к резкому снижению несущей способности сваи.

Зависимость несущей способности свай устроенных рассматриваемыми методами показана на рисунке 1.



Рисунок

1 – График зависимости несущей способности от температуры грунтов основания

Несмотря на самую высокую начальную стоимость, метод грунтобетонной пяты демонстрирует лучшую экономическую эффективность в долгосрочной перспективе для объектов с высокими требованиями к безопасности, таких как АЭС. Это объясняется исключением рисков и затрат на возможное усиление фундаментов при деградации вечной мерзлоты. Буроопускной метод из имеет самую низкую приведенную стоимость при гарантированном сохранении мерзлоты, однако его экономическая привлекательность нивелируется высокими рисками при растеплении, недопустимыми для АЭС. Метод с сезонным охлаждением занимает промежуточную позицию, позволяя управлять состоянием основания.

В результате анализа выяснилось что, наилучшим решением для устройства свайного фундамента объектов атомной энергетики является комбинирование метода сваи с опорной грунтобетонной пятой метода устройства в свае системы сезонного охлаждения. Сочетание этих методов обеспечит высокие эксплуатационные характеристики, снизит риск недопустимых просадок основания и обеспечит необходимую надежность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 25.13330.2020 «СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» - Минстрой России, 2020 – 124 с.
2. Патент № 2813086 C1 Российская Федерация, МПК E02D 27/35. Способ возведения свайных и столбчатых фундаментов в зоне вечной мерзлоты : № 2023106587 : заявл. 21.03.2023 : опубл. 06.02.2024.
3. Патент № 2320821 C1 Российская Федерация, МПК E02D 27/35. Буроопускной способ возведения свайного фундамента в вечномерзлом грунте : № 2006134101/03 : заявл. 21.09.2006 : опубл. 27.03.2008.
4. Патент на полезную модель RU 232469 U1. Буроопускная свая с сезонной системой охлаждения для вечномерзлых грунтов. – 2025.
5. Таргулян Ю.О. Устройство свайных фундаментов в вечномерзлых грунтах. – Ленинград: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1978. – с. 76-101.

МОНИТОРИНГ ФИЗИЧЕСКОГО ТРУДА СИСТЕМОЙ SOLUT ATOMIC НА ОСНОВЕ НОСИМЫХ УСТРОЙСТВ

Заяров Ю.В., Алексеенко А.В.

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия

YVZayarov@mephi.ru

Аннотация. В работе описывается система SOLUT ATOMIC автоматизированного контроля физического труда при строительстве объектов атомной отрасли. Основным элементом системы являются носимые устройства «умные часы», оснащённые акселерометром, гироскопом, барометром, магнитометром и опционально пульсометром. Сигналы с датчиков классифицируют действия работника на двух уровнях: агрегированные операции (работа, простой, перемещение) и элементарные действия (сверление, сварка, переноска грузов, курение и др.). При обнаружении неподвижности устройство направляет вибросигнал и предлагает работнику выбрать причину простоя из предустановленного перечня. Использование системы позволило увеличить рост производительности труда на 20–28% при сроке окупаемости 6–8 месяцев.

Ключевые слова: носимые устройства, умные часы, распознавание действий, простои, производительность труда, SOLUT ATOMIC.

MONITORING OF PHYSICAL LABOR BY THE SOLUT ATOMIC SYSTEM BASED ON CARRIED DEVICES

Zayarov Y.V., Alekseenko A.V.

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"

Volgodonsk, Russia

YVZayarov@mephi.ru

Abstract. The paper describes the SOLUT ATOMIC system for automated monitoring of physical labor during the construction of nuclear facilities. The main element of the system is a wearable "smartwatch" equipped with an accelerometer, gyroscope, barometer, magnetometer, and optionally a heart rate monitor. The signals from the sensors classify the worker's actions at two levels: aggregated operations (work, downtime, and movement) and elementary actions (drilling, welding, carrying loads, smoking, etc.). When the device detects inactivity, it sends a vibration signal and prompts the worker to select a reason for the downtime from a predefined list. The use of the system has led to a 20-28% increase in labor productivity, with a payback period of 6-8 months.

Keywords: wearable devices, smart watches, action recognition, downtime, labor productivity, SOLUT ATOMIC.

Традиционные методы учёта рабочего времени при выполнении физического труда за счет организации выборочных хронометражных наблюдений и видеоконтроля с последующим продолжительным и рутинным ручным анализом не обеспечивают непрерывного и масштабируемого сбора данных. Кроме того, традиционные методы не позволяют определять какими являются причины простоев (организационные, технологические, субъективные) без дополнительного опроса персонала или анализа документов [3, 4]. Сотрудниками холдинга «ТИТАН-2» предложена система SOLUT ATOMIC, устраняющая указанные недостатки за счет непрерывного сбора данных с носимых устройств и их автоматической классификации [1, 2]. Настоящая работа содержит техническое описание системы непрерывного сбора данных, анализ эффективности и перспектив ее развития.

Система SOLUT ATOMIC построена по принципу «полного цикла»: включает разработку носимого устройства, создание алгоритмов распознавания сигналов датчиков, а также методологическое сопровождение на площадке заказчика. В корпус носимого устройства интегрированы датчики: трёхосный акселерометр (измерение линейных ускорений), трёхосный гироскоп (угловая скорость), барометр (относительное изменение высоты), магнитометр (ориентация в пространстве относительно магнитного поля Земли).

Частота опроса датчиков для распознавания кратковременных операций (сверление, затягивание крепежа) составлять не менее 50–100 Гц для акселерометра и гироскопа.

В работе системы применена двухуровневая обработка данных с датчиков. На первом уровне определяются категории деятельности: целевая работа, технологический простой, перемещение между зонами, выполнение ремонтных операций. На втором уровне распознаются элементарные действия – сверление, сварка, работа гаечным ключом, переноска грузов, курение, бездействие и другие. Это позволяет определить отсутствие целевой деятельности, а затем уточнять её характер.

Одной из ключевых особенностей системы является возможность не только выявить факт простоя, но и определять его причину. При выявлении отсутствия целевых движений носимые устройства включают вибросигнал и выводят на экран меню возможных перечней: «ожидание материалов», «оформление документации», «ремонт оборудования», «регламентированный отдых», «иная причина». Работник сообщает причину простоя, что позволяет провести анализ потерь рабочего времени: логистика, снабжение, организация труда [5].

Система апробирована на строительстве АЭС «Аккую» с охватом более 10 000 работников. По данным холдинга «ТИТАН-2» [2], через шесть месяцев после начала эксплуатации зафиксирован рост интегральной производительности труда на 28%, срок окупаемости инвестиций в систему составил 6 месяцев.

Однако, при практической эксплуатации системы выявлены следующие проблемы. Во-первых, датчики не всегда надёжно дифференцирует технологически близкие движения (например, затягивание крепежа гаечным ключом и трещоткой). Для повышения точности требуется дообучение моделей. Во-вторых, вибросигнализация и запрос на выбор причины простоя воспринимаются частью работников как избыточный контроль. Поэтому необходима разъяснительная работа с персоналом и привязка результатов мониторинга к системе материального стимулирования [1, 2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Группа «ЛАНИТ». Комплексные IT-решения для промышленности [Электронный ресурс]. – URL: <https://lanit.ru/> (дата обращения: 20.04.2026). – (методологические аспекты внедрения и описания партнёрства).
2. Холдинг «ТИТАН-2». Строительство атомных электростанций и промышленных объектов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.titan2.ru/> (дата обращения: 04.05.2026). – (цифровые показатели по объектам АЭС «Аккую», «Эль-Дабба», ЦКП «СКИФ», ЛАЭС-2).
3. Носимые устройства в промышленности: обзор технологий и кейсов применения // Цифровизация промышленности. – 2024. – № 3. – С. 45–58. – (сравнение степеней защиты IP, анализ стандартов IP68).
4. Козлов Д.В., Фролова Е.Н. Повышение производительности труда на основе данных с датчиков движения: метаанализ исследований // Инженерный вестник. – 2023. – Т. 12, № 4. – С. 112–125. – (обоснование достижимых пределов роста производительности 15–30%).
5. Никитин С.А. (отв. ред.) Системы мониторинга персонала в условиях опасных производств: требования к безопасности и защите данных. – М.: Энергоатомиздат, 2022. – 174 с. – (раздел 3.2 – регламенты развёртывания on-premise на объектах атомной энергетики).

УДК 624.042.7:621.311.25

ИННОВАЦИОННАЯ ИНТЕГРАЦИЯ СЕЙСМОЗАЩИТЫ И УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ АЭС В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ СЕЙСМИКИ

Кулягина С. С.

*Акционерное общество «Институт «Оргэнергострой», г. Волгодонск, Россия
Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова,
г. Новочеркасск, Россия
kkulyagina.1979@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы сейсмоизоляции и укрепления фундаментов. Данная работа посвящена обзору и анализу инновационных методов интеграции сейсмоизолирующих систем и технологий упрочнения фундаментов, которые дают сейсмическую стойкость сооружения при землетрясениях свыше 9 баллов.

Ключевые слова: сейсмостойкость АЭС, сейсмоизоляция, упрочнение фундаментов, магнитореологическая жидкость, периодические фундаменты, метаматериалы, геополимеры.

INNOVATIVE INTEGRATION OF SEISMIC PROTECTION AND FOUNDATION STRENGTHENING FOR NPPs UNDER HIGH SEISMIC CONDITIONS

Kulyagina S. S.

*Joint-Stock Company "Institute "Orgenergostroy", Volgodonsk, Russia
Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russia
kkulyagina.1979@gmail.com*

Abstract. The article examines modern methods of seismic isolation and foundation strengthening. It describes innovative methods that, in combination with one another, provide seismic resistance of the structure during earthquakes exceeding magnitude 9.

Keywords: seismic resistance of NPPs, seismic isolation, foundation strengthening, magnetorheological fluid, periodic foundations, metamaterials, geopolymers.

Строительство АЭС в зоне с высокой сейсмической активностью (до 9 баллов) требует особых конструктивных решений. В настоящее время существует российский проект поколения 3+ (ВВЭР-1200), который предполагает сейсмостойкость в 9 баллов и включает следующие конструктивные решения, например, упорная ферма шахты реактора, предназначенная для удержания корпуса реактора при сейсмическом воздействии. Однако проблема полного предотвращения повреждений при проектных и запроектных нагрузках остаётся актуальной. Также события, развернувшиеся на АЭС Фукусима-1, АЭС Онагава и других станциях, которые в какой-то степени подверглись влиянию сильной сейсмической активности, доказывают необходимость разработки систем, сейсмически устойчивых очень высоким нагрузкам. В связи с этим возрастает актуальность разработки и интеграции инновационных сейсмоизолирующих систем и технологий строения фундаментов, способных обеспечить высокий уровень надёжности критических объектов [1].

Для начала рассмотрим адаптивную систему, использующую магнитореологические жидкости. Она способна за миллисекунды обратимо менять вязкость под действием магнитного поля. В контексте атомных станций предлагается оснастить гибкий сейсмоизолирующий слой между фундаментной плитой и блоками ядерного острова адаптивными гидравлическими опорами, содержащими данную жидкость. Датчики сейсмической активности будут передавать сигнал на систему управления магнитным полем, которая в свою очередь будет повышать вязкость и жёсткость опор при нарастании амплитуды волн. Прямое регулирование трения и демпфирования позволит эффективно поглощать как низкочастотные, так и высокочастотные сейсмические импульсы [2].

Далее рассмотрим концепцию «трёхмерных периодических фундаментов», которая основана на использовании эффекта запрещённых зон в периодических средах. Фундаментная плита в данном случае конструируется как сложная многослойная структура из чередующихся материалов с отличающейся жёсткостью и плотностью, образующая периодическую решётку в трёх измерениях. Этот тип фундамента способен эффективно подавлять (фильтровать) сейсмические волны в широком диапазоне частот и может служить надёжным сейсмоизоляционным основанием для малых модульных реакторов и для зданий ядерного острова [3].

Следующая инновация связана с разработкой сейсмических метаматериалов для фундаментной зоны. Это метаматериалы обладают особым свойством – отрицательным коэффициентом Пуассона, что делает их ауксетиками. Благодаря этому свойству, они способны радикально менять распределение напряжений при сжатии или растяжении. При укладке таких блоков непосредственно под фундаментной плитой возникает эффект

«волновода», то есть сейсмические волны огибают защищаемую зону или перераспределяются таким образом, что нагрузки на конструкцию падают на 60–80%. Учёными уже предложили разнообразные конфигурации (топологии) резонансных и ауксетических метаматериалов, которые могут защитить особо ответственные объекты [4].

Вместо традиционной цементации можно использовать метод инъекционного укрепления отдельных участков основания с применением геополимерных материалов. Эффективность химического закрепления грунтовых массивов в сейсмически активных районах доказана учеными. В отличие от цементации, которая создает твердый монолит, геополимерные инъекции на основе алюмосиликатных материалов (таких как: летучая зола, шлак, красный шлам) с щелочными активаторами позволяют усилить локальный разуплотнённый участок фундамента, сохраняя природную нелинейную демпфирующую способность окружающего грунта. Такой подход повышает несущую способность конкретных зон основания без полного превращения его в монолит, что способствует поглощению части сейсмической энергии за счёт пластических деформаций нетронутого грунта [5], [6].

Каждый из описанных методов в отдельности не обеспечивает полной сейсмической безопасности, однако их интеграция позволяет сформировать трёхуровневую систему защиты фундаментов.

Нижний уровень (грунтовое основание). Для обеспечения устойчивости грунта вблизи критически важных объектов (в радиусе 30-50 метров) будут локально укрепляться ослабленные участки с помощью геополимеров. Это позволит управлять деформациями при сейсмических воздействиях низкой и средней интенсивности, избегая полной замены грунта.

Средний уровень (фундаментная плита). Фундаментная плита будет сконструирована из чередующихся трехмерных периодических структур или блоков метаматериала с отрицательным коэффициентом Пуассона. Эта комбинация обеспечит фильтрацию сейсмических волн в широком спектре частот и направлений, функционируя без подвижных элементов.

Верхний уровень (адаптивные опоры). Между фундаментом и надземной частью будут располагаться адаптивные опоры. Они представляют собой регулируемые гидравлические системы с магнитореологической жидкостью, предназначенные для гашения остаточных с длинным периодом колебаний и осуществления точечной коррекции положения.

Данная конструкция сочетает в себе элементы пассивной и адаптивной защиты. Метаматериалы и периодические структуры эффективно подавляют пиковые нагрузки, в то время как магнитореологические опоры (MR-опоры) в реальном времени корректируют свои демпфирующие свойства в ответ на сейсмическое воздействие, тем самым минимизируя риск возникновения резонансных явлений.

Рассмотренные инновационные методы сейсмозащиты характеризуются новизной и эффективным подавлением колебаний. Некоторые из них выделяются отсутствием движущихся элементов и экологической безопасностью. Но при всех положительных моментах они имеют ряд минусов и ограничений, которые нельзя оставить без внимания. Например, данные технологии пока не применяются на атомных электростанциях и требуют экспериментов и наблюдений при их интеграции в данную сферу строительства, недостаточно изучена их радиационная стойкость, отсутствуют стандарты расчёта согласно СНиП и ГОСТ, их сложно адаптировать к климатическим и геологическим условиям площадки, а также высокая стоимость их внедрения в строительство. Не менее важной проблемой остается несовместимость некоторых технологий с существующими системами мониторинга и управления сейсмической изоляции, что требует поисков либо еще более современных методов, которые смогут эффективно работать вместе, либо полной или частичной их замене. Также важно отметить, что ни один из рассмотренных методов пока не прошел сертификацию в органах ядерной безопасности и не получил подтверждение использования в строительстве АЭС, что делает их практическое применение пока

невозможным. Поэтому необходимы дальнейшие исследования и экспериментальные испытания для подтверждения их эффективности и безопасности использования.

Таким образом, для строительства атомных электростанций в зонах повышенной сейсмической активности необходимы новые современные решения и методы, которые способны предотвратить критические разрушения и возникновение чрезвычайных ситуаций. Рассмотренные в данной статье концепции взаимодополняют друг друга, а их комплексная работа в виде трёхуровневой системы позволяет эффективно справляться с горизонтальными и вертикальными сейсмическими воздействиями при экстремальных значениях. Тем не менее, основной проблемой данных методов является отсутствие данных о долговечности этих материалов при радиационном воздействии и циклических нагрузках, недостатком соответствующих проектных стандартов, и отсутствием опыта использования этих материалов в данной сфере строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная корпорация «Росатом», АО «Атомстройэкспорт». На энергоблоке №1 АЭС «Эль-Дабаа» в Египте смонтирована упорная ферма. – 2025. – URL: <https://ase-ec.ru/for-journalists/news/2025/oct/na-energobloke-1-aes-el-dabaa-v-egipte-smontirovana-upornaya-ferma/> (дата обращения: 04.04.2026).
2. YU Guojun, WEN Xixi, LIU Yu, SU Bo. “A type of Magneto-Rheological Materials (MRMs) and Self-Decoupling Magneto-rheological (SDMR) damper” // Applied Mechanics and Materials Vol. 865. – 2017. – С. 4-6.
3. Y. Yiqin, M. Yi-Lung, and others, OSTI (Office of Scientific and Technical Information). Development of Seismic Isolation Systems Using Periodic Materials (DE-AC05-00OR22725). – 2014. – С. 2-3.
4. Доклад о разработке ауксетических метаматериалов для атомных станций (СПбПУ). – 2024. – URL: nticenter.spbstu.ru (дата обращения: 04.05.26).
5. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Ученые Политеха представили новую систему сейсмоизоляции для АЭС. –2025 – URL: research.spbstu.ru (дата обращения: 04.05.26).
6. Kramer, Steven L. Geotechnical Earthquake Engineering / Steven L. Kramer. – Prentice Hall, 1996. – С. 245.

УДК 69

УРБАНИЗАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГОРОДОВ: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Орехов М.И.

*Волгодонской инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
MIOrekhov@mephi.ru*

Аннотация: Работа посвящена комплексному изучению процесса урбанизации современных городов - их истории, предпосылкам формирования урбанизации как науки, а также её плюсам и минусам и перспективам развития. В исследовании рассмотрены эволюция городов с момента их зарождения до настоящего времени, анализируются ключевые исторические этапы развития городских поселений.

Ключевые слова: урбанизация, город, урбанистика, городское население, устойчивое развитие, урбанист.

URBANIZATION OF MODERN CITIES: CHALLENGES AND PROSPECTS

Orekhov M.I.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”
Volgodonsk, Russia
MIOrekhov@mephi.ru*

Abstract: This work is devoted to a comprehensive study of the urbanization process of modern cities, including their history, the preconditions for the development of urbanization as a discipline, as well as its pros and cons and development prospects. The study examines the evolution of cities from their inception to the present day, analyzing key historical stages in the development of urban settlements.

Keywords: urbanization, city, urban studies, urban population, sustainable development, urbanist.

Урбанизация - это процесс повышения значимости роли городов в современном мире. Население деревень, развиваясь и совершенствуясь, переезжает жить в города, чтобы обеспечить себе более высокий уровень жизни и получить больше возможностей для развития и самореализаций. Также он сопровождается изменением социальных отношений в сельской местности, находящихся вблизи городов. Наука, которая изучает развитие городских сообществ и систем, называется – урбанизацией [1]. Строго говоря, урбанизация – это пересечение разных научных сфер, изучающих города.

Мы наблюдаем глобальный рост современных городов с широким кругом функционального назначения: курортные, промышленные, торговые, научные и смешанные.

Рост городского населения в мире выглядит следующим образом:

- 1950 год – 20% мирового населения (2,5 млрд. чел.);
- 2025 год – 50% мирового населения (8,2 млрд. чел.);
- 2050 год – 68% мирового населения

Эксперты называют дюжину причин урбанизации в городах - это обеспечение работой, достойной оплатой труда, благоустроенным жильём, отвечающего современным требованиям, обучение в высших и средних учебных заведениях, торговые, медицинские услуги, развитая транспортная инфраструктура, современный развитый сервис, социальные отношения, культура, экология и экономика [2].

Разделение на сельское и городское население – результат длительного исторического процесса, запущенного разделением труда и ростом производительности. На заре своего зарождения, города являлись центрами ремёсел, власти, что обладало притягивающим свойством для миграции жителей сёл и деревень. Сегодня этот объективный процесс продолжается, совершенствуется, хотя границы между «городом» и «селом» постепенно размываются [4].

Перспективами урбанизации являются:

- Рост городского населения;
- социальные изменения;
- экологические проблемы;
- технологические достижения;
- глобализация.

Вместе с тем урбанизация несет в себе следующие вызовы:

- Проблемы с жильём;
- экологические проблемы;
- социальные проблемы;
- транспортные проблемы.

Урбанизация – это сложный процесс с множеством положительных факторов и последствий, отрицательно, влияющих на гармоничное развитие и жизнь «горожанина». Она приносит как положительные изменения в жизнь людей, так и серьезные вызовы для общества и окружающей среды [3]. Целью, для создания комфортной городской среды, способствующей развитию общества, является понимание самого процесса урбанизации. Для будущих поколений уже разрабатываются стратегии устойчивого развития городов, которые учитывают как экономические, так и социальные аспекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартенев И. В., Лебедева Н. А. Урбанизация: современное состояние и перспективы развития / И. В. Бартенев, Н. А. Лебедева. – М. : Научный мир, 2017.
2. Ковалёв А. С., Смирнова Т. В. Социальные аспекты урбанизации в России / А. С. Ковалёв, Т. В. Смирнова. – СПб. : Издательство РГПУ им. А. И. Герцена, 2018.
3. Лебедев В. Н., Тихомиров А. А. Экологические проблемы современных городов / В. Н. Лебедев, А. А. Тихомиров. – Екатеринбург: Уральский университет, 2019.
4. Федотова Е. В., Соловьёв Д. А. Глобализация и урбанизация: вызовы XXI века / Е. В. Федотова, Д. А. Соловьёв. – Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2020.

ОБЗОР И ИССЛЕДОВАНИЕ ОРИЕНТИРОВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ РАССТОЯНИЙ СВЕТОДАЛЬНОМЕРОМ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА

Пимшина Т.М.¹, Пимшин И.Ю.²

¹Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Россия

²ООО «Научно-производственная фирма «Инженерная геодезия»,

г. Ростов-на-Дону, Россия

¹pimshina.tat@yandex.ru

Аннотация. В работе дано описание различных геодезических отражателей. Приведены результаты исследования влияния положения отражателей на точность измерений расстояний светодальномером электронного тахеометра. Сделан вывод, что оценка инструментальных погрешностей приборов ведет к повышению объективности их результатов измерений.

Ключевые слова: виды трипельпризмных и уголкового отражателей, электронный тахеометр, светодальномер, точность, погрешности в измерении углов и расстояний.

REVIEW AND RESEARCH OF GEODETIC REFLECTORS ORIENTATION ON THE ACCURACY OF DISTANCE MEASUREMENTS BY A LIGHT RANGEFINDER OF AN ELECTRONIC TOTAL STATION

Pimshina T.M.¹, Pimshin I.Yu.²

¹Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia;

²LLC "NPF "Engineering Geodesy" Rostov-on-Don, Russia

¹pimshina.tat@yandex.ru

Abstract. The paper describes various geodetic reflectors. The results of the study of the influence of the reflector position on the accuracy of distance measurements by the light rangefinder of the electronic total station are given. It is concluded that the assessment of instrumental errors of the devices leads to an increase in the objectivity of their measurement results.

Keywords: types of triplet-prismatic and corner reflectors, electronic total station, light rangefinder, accuracy, errors in measuring angles and distances.

В настоящее время в производство все больше внедряются координатные средства измерений, поскольку они позволяют формировать и контролировать любую геометрию объекта с прецизионной точностью. В геодезии таким универсальным прибором является электронный тахеометр, измеряющий координаты точек в полярной системе координат [1].

Для возвращения сигнала (лазерного луча) светодальнометра электронного тахеометра используют геодезические отражатели различных форм и размеров:

1. Многопризмные системы (сборки) трипельпризмных отражателей (рис. 1, а) предназначены для отражения слабого сигнала на значительных дистанциях.

2. Круговые отражатели предназначены для возвращения сигнала при любом его положении и применяются для работы с роботизированными электронными тахеометрами:

– на базе круговой сборки из нескольких трипельпризмных отражателей (рис. 1, б);

– на основе собранной единой трипельпризмной системы отражателей (рис. 1, в);

– на основе вехи с круговой отражающей пленкой в комплекте с диодами (рис. 1, г).

3. Стандартный (обычный) трипельпризмный отражатель (рис. 1, д).

4. Сферический (шаровидный) трипельпризмный отражатель (рис. 1, е).

5. Сферический уголкового отражатель предназначен для измерения расстояний с максимальной точностью. В трипельпризмных отражателях сигнал светодальномера, попав на призму, дважды преломляется от передней грани и трижды отражается внутри от её зеркальных боковых граней. Угловые отражатели полностью исключают данные погрешности, поскольку применяют сборку зеркал с внешним отражением (рис. 1, ж).

6. Специальные отражающие световозвращающие пленки (рис. 1, з).

7. Без отражателя, применение диффузионного отражения лазерного луча (сигнала) светодальномера прибора от самой поверхности контролируемого объекта (рис. 1, и). Точность измерения ниже, чем при использовании вышеперечисленных систем, поскольку зависит от множества факторов: цвета и шероховатости поверхности, угла отражения и т. д.

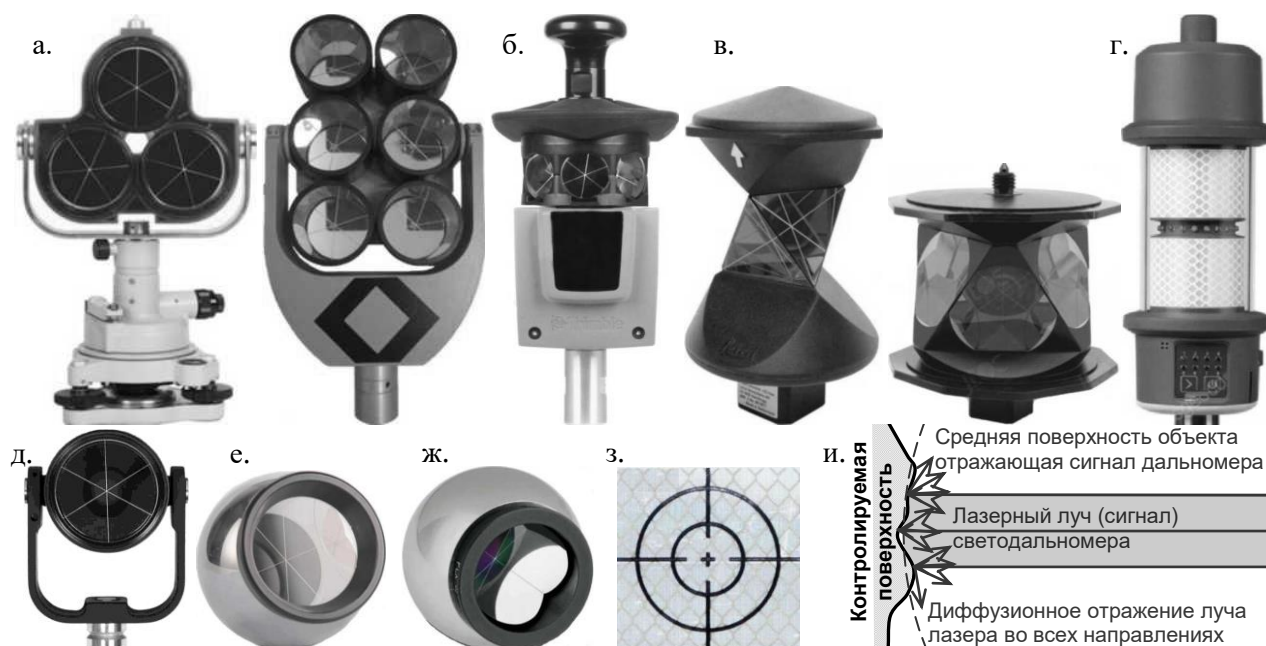


Рисунок 1 – Виды (типы) геодезических отражателей: а. многопризменные системы; б. в. г. круговые; д. стандартные; е. сферические; ж. сферические уголковые; з. пленочные; и. поверхность объекта

Прохождение сигнала светодальномера в трипелъпризменном отражателе происходит с задержкой в зависимости от её геометрических размеров, типа стекла и т. д. В связи с этим в измеренные расстояния вводят поправки: за метеоусловия, постоянную поправку светодальномера и положение самой призмы. При нестрогом ориентировании отражателя относительно визирной (энергетической) оси прибора могут возникать погрешности в измерении углов и расстояний. Поэтому целью данной работы является исследование влияния положения различных отражателей на точность измерений тахеометром [2, 3].

Для исследования использовался высокоточный роботизированный электронный тахеометр Trimble S6 с точностью измерения углов $1''$ и расстояний $\pm(0,8 \text{ мм} + 1,0 \text{ ppm})$.

Исследования выполнялись в следующей последовательности [4]:

- электронный тахеометр и трегер с закрепленным на нем отражателем на штативах устанавливались на равной высоте для минимизации влияния на измерения вертикальных углов;

- после этого прибором производились многократные определения горизонтальных углов и горизонтальных проложений (расстояний) на отражатель, строго сориентированного на визирную ось трубы тахеометра, эти результаты принимались за истинные значения;

- затем аналогичные действия производились при максимально возможном развороте работающего отражателя, который фиксировался при помощи того же прибора;

- далее полученный интервал между истинным и критическим (крайним) положением работающего отражателя делился на несколько частей, и выполнялись все измерения при каждом его положении, эти результаты считались за значения с погрешностями;

- вышеописанные действия выполнялись для отражателей многообразных видов, при их разном положении относительно трегера (с постоянной поправкой за положение призмы -30 мм и 0 мм) на расстоянии 5 и 105 метров между прибором и призмой.

Величины угловых $\Delta\beta_i$ и линейных ΔD_i перемещений, вызванных разворотом отражателя, вычислялись как разности значений с погрешностями и их истинных величин.

Результаты исследования влияния разворота различных отражателей на точность измерений электронным тахеометром представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты погрешностей в углах и расстояниях при разворотах различных отражателей

Вид (тип) отражателя	Обычная призма с поправкой -30 мм	Обычная призма с поправкой 0 мм	Мини-призма с поправкой -30 мм	Мини-призма с поправкой 0 мм	Круговой отражатель (рис. 1, б) с поправкой 0 мм	Сферический трипель-призменный отражатель с поправкой -30 мм	Сферический угловой отражатель с поправкой 0 мм	Пленочный отражатель с поправкой 0 мм
Ошибки при разворотах и дистанциях								
$\Delta\beta, \Delta S - 10^\circ, 5 \text{ м}$	1,6', 1 мм	5', 2 мм	1', 0,6 мм	1,8', 1 мм	0,4', 0,5 мм	14'', 0,1 мм	0'', 0 мм	1'', 0,3 мм
$\Delta\beta, \Delta S - 10^\circ, 105 \text{ м}$	4'', 1 мм	12'', 2 мм	3'', 0,5 мм	4'', 1 мм	1'', 0,6 мм	1'', 0,2 мм	0'', 0 мм	1'', 0,2 мм
$\Delta\beta, \Delta S - 20^\circ, 5 \text{ м}$	6,3', 1 мм	10', 5 мм	2,1', 1 мм	3,7', 2 мм	0,8', 1 мм	14'', 0,2 мм	0'', 0 мм	2'', 0,5 мм
$\Delta\beta, \Delta S - 20^\circ, 105 \text{ м}$	7'', 1,5 мм	26'', 5 мм	6'', 1 мм	7'', 1,5 мм	2'', 1 мм	1'', 0,3 мм	0,2'', 0,1 мм	3'', 0,4 мм
$\Delta\beta, \Delta S - 30^\circ, 5 \text{ м}$	4,7', 2 мм	15', 8 мм	3', 1,5 мм	5,4', 3 мм	1,1', 1,2 мм	21'', 0,3 мм	0'', 0 мм	2'', 0,6 мм
$\Delta\beta, \Delta S - 30^\circ, 105 \text{ м}$	10'', 2 мм	40'', 7 мм	9'', 1,4 мм	10'', 2 мм	3'', 1,3 мм	2'', 0,4 мм	0,3'', 0,2 мм	3'', 0,4 мм
$\Delta\beta, \Delta S - 40^\circ, 5 \text{ м}$	6,3', 3 мм	20'', 10 мм	4,2', 2 мм	7,3', 3 мм	1,5', 1,5 мм	28'', 0,5 мм	0'', 0 мм	3'', 0,5 мм
$\Delta\beta, \Delta S - 40^\circ, 105 \text{ м}$	13'', 3 мм	53'', 9 мм	11'', 2 мм	14'', 3 мм	4'', 1,6 мм	2'', 0,6 мм	0,4'', 0,3 мм	3'', 0,7 мм

Результатом данного исследования стали, следующие выводы:

1. Расположение узловой точки отражателя относительно его крепления значительно влияет на точность угловых и линейных измерений. При этом следует отметить, что чем большее расстояние между прибором и отражателем, тем меньше угловые погрешности.

2. От габаритного размера самой трипельпризмы во многом зависят величины угловых и линейных погрешностей при различных разворотах отражателя относительно линии визирования электронного тахеометра.

3. На точность определения кругового отражателя в меньшей степени влияет его разворот. Однако данные отражатели относительно сложнее использовать для выполнения высокоточных измерений, поскольку затруднено их точное ориентирование на прибор.

4. Любые развороты (в пределах диапазона работы) сферического углового и пленочного отражателя относительно линии визирования прибора практически не влияют на его точность измерения углов и расстояний.

Оценка влияния различных инструментальных погрешностей приборов и их приспособлений ведет к повышению объективности результатов измерений, что должно положительно сказываться на производстве геодезических работ при строительстве и эксплуатации объектов АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р 51774-2001 Тахеометры электронные. Общие технические условия. – М: ИПК издательство стандартов, 2001. – 12 с.
- Пимшина Т.М. Метрологическое эталонирование высокоточных электронных тахеометров при помощи лазерного трекера прецизионной точности / Т.М. Пимшина, Д.М. Арсеньев, И.Ю. Пимшин // Глобальная ядерная безопасность. – 2020. № 4 (37) – С. 53-59.
- Губеладзе А.Р. Методика эталонирования электронных дальномеров и тахеометров / А.Р. Губеладзе Г.А. Науменко, Л.Ф. Литвинова, И.Г. Гайрабеков, И.Ю. Пимшин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – Специальный выпуск. – С. 113-116.
- Пимшин И.Ю. Исследование зависимости погрешностей взятия отсчетов геодезическими электронными приборами от расстояния между прибором и визирной целью / И.Ю. Пимшин, Т.М. Пимшина // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство» (ТРАНСПОРТ-2016). 12-15 апреля 2016 г. – Ростов-на-Дону : ФГБОУ ВО РГУПС, 2016. – С.101-103.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ УКРУПНЁННОЙ СБОРКИ И МОНТАЖА ГЕРМЕТИЧНОЙ ОБЛИЦОВКИ ВНУТРЕННЕЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ АЭС

Сапельников А.Ф., Грушко И.С.

*Южно-Российский государственный политехнический университет имени М. И. Платова,
г. Новочеркасск, Россия
tolik.sapelnikov@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматриваются технологические решения укрупнённой сборки и монтажа герметичной облицовки внутренней защитной оболочки (ВЗО) реакторного здания АЭС на примере энергоблока №3 Ленинградской АЭС-2. Описана последовательность монтажа сегментов первого яруса в диапазоне отметок $-1,250...+9,400$ м, особенности применения тяжёлой грузоподъёмной техники, требования к геодезическому контролю и контролю качества сварных соединений согласно нормам ядерной безопасности. Показано, что метод укрупнённой сборки на стапеле повышает геометрическую точность конструкции и снижает производственные риски при монтаже в стеснённых условиях реакторного здания.

Ключевые слова: АЭС, внутренняя защитная оболочка, герметичная облицовка, укрупнённая сборка, монтаж, ядерная безопасность, ЛАЭС-2, сварочный контроль, геодезия.

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR ENLARGED ASSEMBLY AND INSTALLATION OF THE HERMETIC LINER OF THE NUCLEAR POWER PLANT INNER CONTAINMENT

Sapelnikov A.F., Grushko I. S.

*Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russia
tolik.sapelnikov@gmail.com*

Abstract. The article discusses technological solutions for enlarged assembly and installation of the hermetic liner of the inner containment (IC) of a nuclear power plant reactor building, using Unit 3 of Leningrad NPP-2 as an example. The sequence of installing first-tier liner segments within elevation marks $-1.250...+9.400$ m is described, along with the features of heavy lifting equipment application, geodetic control requirements, and quality control of welded joints in accordance with nuclear safety standards. It is shown that the enlarged assembly method on a slipway increases the geometric accuracy of the structure and reduces production risks during installation in confined conditions of the reactor building.

Keywords: nuclear power plant, inner containment, hermetic liner, enlarged assembly, installation, nuclear safety, Leningrad NPP-2, welding control, geodesy.

Сооружение атомных электростанций относится к наиболее технологически сложным и ответственным направлениям современного строительства. По данным годового отчёта Госкорпорации «Росатом» за 2024 год, портфель зарубежных проектов корпорации составляет 41 энергоблок в 11 странах, что соответствует первому месту в мире по объёму заказов на сооружение АЭС [1]. Столь масштабное строительство предъявляет повышенные требования к технологиям возведения ключевых конструкций реакторных зданий – в первую очередь защитных оболочек, от надёжности которых непосредственно зависит ядерная и радиационная безопасность объектов.

Внутренняя защитная оболочка (ВЗО) реакторного здания АЭС является барьером локализации, предотвращающим выход радиоактивных веществ за пределы здания реактора. Герметичная металлическая облицовка ВЗО выполняет функцию последней физической преграды, обеспечивая газо- и водонепроницаемость железобетонной конструкции в нормальных и аварийных режимах эксплуатации [2]. Нарушение её герметичности недопустимо ни при каких условиях, что обуславливает жёсткие требования к качеству строительно-монтажных работ.

Монтаж герметичной облицовки ВЗО относится к особо сложным видам строительно-монтажных работ: высокие требования к геометрической точности и качеству сварных соединений диктуют применение специально разработанных технологических решений, обоснованных нормами ядерной безопасности. Цель настоящей работы – анализ таких решений на примере первого яруса ВЗО строящегося энергоблока №3 Ленинградской АЭС-2 (ЛАЭС-2).

Объект – реакторное здание энергоблока №3 ЛАЭС-2, атомной электростанции поколения «3+» с реактором ВВЭР-1200 единичной мощностью 1 200 МВт(э).

Защитная оболочка реакторного здания ЛАЭС-2 – двойная железобетонная конструкция: наружная оболочка воспринимает внешние динамические воздействия (в том числе падение самолёта), внутренняя является барьером локализации и рассчитана на удержание избыточного давления при максимальной проектной аварии (МПА). Нормами НП-010-16 установлены допустимые суточные утечки через оболочку, не превышающие 0,1 % от массы среды при давлении МПА, что непосредственно определяет требования к герметичности облицовки [2].

Герметичная облицовка ВЗО представляет собой металлическую конструкцию из листовой стали толщиной 8 мм, выполняющую функцию несъёмной опалубки при бетонировании. Первый ярус охватывает отметки от –1,250 до +9,400 м и включает:

- цилиндрические монтажные сегменты SGM0/360 (SGM0/360-1), SGM30–SGM330 (SGM30-1–SGM330-1);
- поддерживающие каркасы – горизонтальные и вертикальные фермы, обеспечивающие пространственную жёсткость;
- закладные детали, трубные проходки инженерных систем;
- каналообразователи системы предварительного напряжения железобетонной оболочки (СПЗО).

Суммарная масса конструкций первого яруса составляет порядка 227 т [3], что определяет необходимость применения тяжёлой грузоподъёмной техники и специальной схемы строповки.

До начала укрупнительной сборки все поступающие металлоконструкции проходят входной контроль: проверяются сопроводительная документация (паспорта, сертификаты на материалы, акты заводского контроля), отсутствие механических повреждений и дефектов антикоррозионного покрытия, а также геометрические параметры сегментов (диаметр, отклонение образующей, плоскостность стыкуемых кромок). Элементы, не прошедшие входной контроль, к монтажу не допускаются.

Укрупнённая сборка ведётся на специально сооружённом стапеле строительной площадки. Метод позволяет перенести основной объём сварочных работ в контролируемые условия, повысить геометрическую точность конструкции и сократить время производства работ в стеснённом пространстве реакторного здания [4].

Стапель представляет собой металлическую опорную конструкцию, установленную на уплотнённом основании. Его опорные поверхности выставляются по высотным отметкам с точностью ± 2 мм; на стапеле наносится разбивка осей симметрии и контрольных рисков, служащих базой для геодезического контроля. Жёсткость стапеля обеспечивает восприятие нагрузок от собираемых конструкций без недопустимых деформаций основания.

Последовательность укрупнительной сборки:

- доставка сегментов автотранспортёром г/п 30 т в зону действия крана;
- кантование сегмента SGM0/360 двумя кранами: основной – Liebherr LTM 1200-5.1 (г/п 200 т), страхующий – КС-45721 (г/п 25 т);
- установка сегментов на стапеле, выравнивание монтажными подкладками, раскрепление до расстроповки;
- сборка и сварка соединений сегментов, монтаж каркасов, закладных деталей, каналообразователей СПЗО;
- геодезический контроль после каждого этапа: неплоскостность облицовки – не более 20 мм; отклонение проходов – не более ± 5 мм.

Операционный контроль геометрии ведётся поэтапно: после установки каждого сегмента выполняется инструментальная проверка его положения в плане и по высоте, соосности со смежными сегментами и зазоров в стыках под сварку. Допускаемый зазор в стыке – не более 2 мм. Выявленные отклонения устраняются до начала сварки путём регулировки положения сегмента монтажными подкладками.

Монтаж укрупнённого яруса выполняется гусеничным краном Zoomlion ZCC32000 SWDB 66/36 (длина стрелы 102,0 м, г/п 3 200 т) – одним из наиболее мощных строительных кранов в мире, предназначенных для работы с тяжёлыми негабаритными конструкциями на объектах атомной энергетики. Для строповки применяется специальная траверса г/п 400 т, обеспечивающая равномерное распределение нагрузки по точкам захвата и сохранение геометрической неизменяемости конструкции при подъёме.

Схема монтажа предусматривает строго регламентированную последовательность: строповка яруса, плавный подъём, горизонтальное перемещение в проектный створ, опускание и ориентирование относительно разбивочных осей. До расстроповки конструкция закрепляется на закладных деталях; стыковка с облицовкой на отм. –1,250 выполняется соединительной полосой шириной 250 мм с последующей сваркой. По завершении монтажа выполняется геодезическая исполнительная съёмка; допускаемое отклонение – $\pm 1,5$ мм на 1 м высоты.

Контроль качества сварных соединений облицовки ВЗО осуществляется в соответствии с ПНАЭ Г-10-031-92 и ПНАЭ Г-10-032-92. Швы соединений листов относятся к категории «НД» (п. 3.1.1 ПНАЭ Г-10-032-92). Укрупнение листов выполняется двусторонней сваркой с полным проваром, шов С12 по ГОСТ 5264-80; электроды – тип Э-42А по ГОСТ 9467-75. Все сварочные материалы подлежат входному контролю с проверкой сертификатов и условий хранения.

К сварке допускаются только аттестованные сварщики с удостоверением НАКС по группе «СК» согласно ПБ 03-273-99. Перед началом работ каждый сварщик выполняет контрольные образцы для механических испытаний; без положительных результатов допуск к сварке не предоставляется.

Система контроля трёхуровневая: входной контроль (документация, материалы, конструкции) → операционный (в процессе каждого соединения) → приёмочный (по завершении этапа). Приёмочный контроль включает ВИК всех швов, ультразвуковой контроль по ГОСТ Р 55724-2013 и механические испытания контрольных образцов. Результаты оформляются актами освидетельствования скрытых работ.

Результатом данного исследования стали, следующие выводы:

Проведённый анализ технологических решений, применяемых при строительстве энергоблока №3 ЛАЭС-2, позволяет сформулировать следующие выводы.

- метод укрупнённой сборки на стапеле обеспечивает соблюдение жёстких геометрических допусков норм ядерной безопасности и существенно снижает производственные риски при монтаже в стеснённых условиях реакторного здания.
- применение крана Zoomlion ZCC32000 г/п 3 200 т совместно со специальной траверсой г/п 400 т обеспечивает безопасный монтаж цельного яруса массой 227 т с сохранением геометрической неизменяемости конструкции.
- трёхуровневая система контроля качества сварных соединений обеспечивает герметичность облицовки ВЗО, необходимую для безопасной эксплуатации АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Итоги деятельности Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» за 2024 год [Электронный ресурс] / Госкорпорация «Росатом». – Москва, 2025. – URL: <https://www.report.rosatom.ru/ar2024> (дата обращения: 13.05.2026).
2. НП-001-15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. – Москва : ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2015. – 56 с.
3. На площадке сооружения 3-го энергоблока ВВЭР-1200 Ленинградской АЭС-2 установили первый ярус внутренней защитной оболочки здания реактора [Электронный ресурс] / Управление коммуникаций

Ленинградской АЭС // Росэнергоатом. – 2025. – URL: <https://www.rosenergoatom.ru/zhurnalislam/news/49000/> (дата обращения: 08.04.2026).

4. Нестерчук, Ю. А. Организация и выполнение СМР при строительстве энергоблоков №3 и №4 Ленинградской АЭС-2 [Электронный ресурс] : презентация / Ю. А. Нестерчук. – 2025. – URL: <https://conf.atomsro.ru/wp-content/uploads/2025/05/004-T2.pdf> (дата обращения: 08.04.2026).

УДК 69.001.5

ПРОСТРАНСТВО БЕЗОПАСНОСТИ: НЕЙРОАРХИТЕКТУРА В ЦЕНТРАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОТРУДНИКОВ АЭС – УЧАСТНИКОВ СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ

Ткачев В.Г., Кузьменко Т.А.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
VGTkachev@mephi.ru*

Аннотация. Рассмотрены основные подходы к проектированию реабилитационных центров для военнослужащих – от соблюдения нормативных требований до применения терапевтических материалов, технологий и цветовых решений, способствующих физическому и психическому восстановлению пациентов.

Ключевые слова: реабилитационный центр, акустически-активные фасады, интерактивные стеклянные фасады, биодинамическое освещение, проектирование, строительство, фотокаталитические покрытия (диоксид титана), биофильный дизайн, цветовая гамма интерьера.

SECURITY SPACE: THE NEUROLOGICAL ARCHITECTURE IN THE REHABILITATION CENTERS OF NUCLEAR POWER PLANTS PARTICIPATING IN A SPECIAL MILITARY OPERATION

Tkachev V.G., Kuzmenko T.A.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”
Volgodonsk, Russia
VGTkachev@mephi.ru*

Abstract. The main approaches to designing rehabilitation centers for military personnel are considered - from compliance with regulatory requirements to the application of therapeutic materials, technologies and color solutions that promote physical and mental recovery of patients.

Keywords: rehabilitation center, acoustically active facades, interactive glass facades, biodynamic lighting, design, construction, photocatalytic coatings (titanium dioxide), bio-based design, color scheme of the interior.

С первых дней специальной военной операции помощь её участникам находится в числе безусловных государственных приоритетов. Чтобы оперативно направлять на восстановление сотрудников атомных электростанций, вернувшихся с боевых задач, формируются профильные координационные структуры. Эти реабилитационные центры создаются именно для работников госкорпорации «Росатом», которые нуждаются в полноценном курсе восстановления после полученных физических и психологических травм. Лечебные учреждения, в том числе и военные госпитали, становятся все более и более технологическими и в меньшей степени архитектурными объектами, а жесткая структура, заданная ограждающими стенами, очень быстро становится «мала». [1] При проектировании такого центра для сотрудников АЭС – участников СВО – ключевое внимание уделяется адаптируемым, легко трансформируемым пространствам и применению новейших реабилитационных технологий. Только такой комплексный подход позволяет эффективно решать задачи медицинского и психологического оздоровления людей, которые, защищая интересы страны, одновременно остаются частью стратегической атомной отрасли.

При проектировании этих центров отделочные материалы подбираются не по эстетическим, а по психофизиологическим критериям. Дерево даёт тепло и напоминает о

доме. Матовый камень и керамика без блеска создают устойчивость и убирают тревожные блики. Пробка, войлок и фактурная штукатурка помогают прервать начинающуюся паническую атаку. В жилых комнатах, столовых и общих зонах полностью отсутствуют гляцевые поверхности. Зеркальный блеск может усугублять ощущение нереальности происходящего, что подтверждено научными данными.

Принцип естественной тяги к природе, то есть биофилии, реализован через ряд решений. Благодаря уходу за фитостенами (вертикально высаженным растениям) в зонах отдыха у человека стимулируется забота о себе, что положительно сказывается на оздоровительном процессе, делая это решение не только красивым декором, но и помощником для медицинского персонала в организации досуга и психологической поддержки. Также крупноформатные изображения лесов, морей или гор помогают справиться с чувством замкнутости, расширяя визуальное пространство. Исследования, проведенные за последние 5 лет, показывают корреляцию между контактом (прямым или опосредованным) с природой и снижением уровня кортизола. В среднем кортизол у испытуемых снижался на 15-20%, а наибольший эффект так называемая «природная таблетка» имела у испытуемых, которые меньше занимались физической активностью, что соответствует поведению пациентов в реабилитационных центрах. Не менее важную роль играет и световой режим: в нейроархитектурном сооружении предлагается использовать биодинамическое освещение, имитирующее естественный цикл света. Утром холодный свет температурой 5000-6500 К естественным образом снижает выработку мелатонина и способствует пробуждению, однако он не подходит для длительного воздействия, так как при длительном воздействии может вызывать усталость. Днем, особенно в рабочих зонах, ванных и кабинетах оптимальным выбором будет освещение порядка 4000 К, т.н. нейтральный свет, так как он не утомляет глаза и не искажает восприятие. Вечером теплый свет (2700-3000 К) подготавливает организм ко сну за счет расслабляющего эффекта. Однако важно давать человеку и возможность выбора и самостоятельного контроля: для этого предусматривается индивидуальный блок управления освещением.

Помимо внутреннего наполнения на самочувствие влияет и внешнее оформление, то есть фасад здания. Еще до входа в здание он должен создавать ощущение безопасности. Для этого предпочтителен белый цвет фасада. Важно также создать чувство единства с природой и внешним миром, что улучшает не только физическое, но и психологическое восстановление после травмирующих событий. Очень важным здесь является ассоциативность: деревянная отделка ассоциируется с домом, вертикальные сады создают постоянную связь с природой (биофилия), а панорамные окна соединяют внутреннее пространство с окружающим миром. Электрохромное стекло за счёт плавной смены прозрачности создает и эффект присутствия, одновременно не лишая личного пространства и чувства безопасности, необходимого для участников специальной военной операции. Параллельно акустические панели на фасаде снижают уровень уличного шума на 15-20 дБ, для пациентов с повышенной чувствительностью к звукам «купол акустической защиты» является приоритетным. Отечественный опыт использования фотокаталитического покрытия на основе диоксида титана показал, что под воздействием ультрафиолета разлагаются органические вещества в воздухе, обеспечивая самоочищение и защиту от инфекций. [2].

Однако использование белого для внутренней отделки снижает положительное влияние, создавая ощущение стерильности и отчужденности, тем самым напоминая о полевых госпиталях и связанных с ними травматическими событиями. Основные критерии выбора цветов для покраски стен – это успокаивающий эффект, улучшение качества сна, создание ассоциации с домом и уютом, при этом не создавая пространственных искажений, уменьшающих пространство, поддержка положительного влияния биофилии, чтобы обеспечить психическую стабильность пациентов в стрессовый период лечения и адаптации. Согласно теории цвета, для внутренней отделки в реабилитационных центрах для сотрудников атомной отрасли предлагается использовать тон и насыщенность цветов, которые более присущи природной среде. Под данные критерии подходят приглушенные зеленые оттенки в палатном отделении и холлах, теплые бежево-песочные тона в кабинетах

психологов, бледно-голубые и лавандовые оттенки, а также деревянные элементы отделки в качестве защитных накладок, фактурные акценты в зонах отдыха. Подобное также поможет визуально разделить пространства для улучшения навигации и информативности для посетителей. В зонах длительного пребывания пациентов не рекомендуется использование насыщенных красных и оранжевых цветов.

Рекомендуется использовать акриловые и силикатные краски, которые не растворяются под воздействием воды, что делает их оптимальным выбором для медицинских учреждений, где проводятся регулярные влажные уборки помещений. В процедурных и перевязочных используются матовые керамические покрытия на всю высоту стен. В операционных и палатах интенсивной терапии обязательны антибликовые покрытия [3].

Для сотрудников АЭС, прошедших через боевые действия, необходим реабилитационный центр, где забота о психологическом благополучии стоит наравне с техническими требованиями к строительству. Важно создать пространство, которое не только соответствует техническим требованиям, но и использует современные подходы контроля и лечения различных нарушений физического и ментального здоровья, чтобы помочь этим людям восстановиться и вернуться к профессиональной деятельности в атомной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бонкало, Т. И. Комплексная реабилитация участников специальной военной операции на Украине: дайджест январь-февраль 2023 [Электронный ресурс] / Т. И. Бонкало. – Электрон. текстовые дан. – Москва: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2023. – 39 с. – URL: <https://niioz.ru/upload/iblock/7f4/7f4d0d46e26b352c373cee7c257668d2.pdf> (дата обращения: 14.04.2026). – Текст: электронный.
2. Саломатина, Е. В. Наноструктурированный диоксид титана в полимерных матрицах как эффективный фотокатализатор для самоочищающихся покрытий [Текст] / Е. В. Саломатина, С. Д. Зайцев, Л. А. Смирнова // РОСКАТАЛИЗ. V Российский конгресс по катализу: сборник тезисов. – Новосибирск: Институт катализа СО РАН, 2025. – С. 239 (дата обращения: 20.04.2026). – Текст: электронный.
3. СП 158.13330.2014: Свод правил. Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования. – Приказ Минстроя России от 18 февраля 2014 г. № 58/пр. – 145 с. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/454/58pr%20приказ%20и%20СП%20медицинских%20организаций.pdf> (дата обращения: 01.04.2026). – Текст: электронный.

УДК 621.039.58:624.012.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВОЗМОЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА СООРУЖЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ ОЧЕНЬ НИЗКОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ РОСТОВСКОЙ АЭС

Умрихин В.Ю., Кузин С.А.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
slava-2774@mail.ru*

Аннотация. В данной статье выполнен анализ физико-механических характеристик тяжёлого бетона применительно к строительству сооружения временного хранения отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов (ОНАО) на промплощадке Ростовской АЭС. Рассмотрены требования к прочности, морозостойкости, водонепроницаемости и радиационной стойкости. Проведено сравнение паспортных данных бетона с расчётными эксплуатационными нагрузками. Предложены технические решения по корректировке состава бетона.

Ключевые слова: бетон, сооружение временного хранения, ОНАО, Ростовская АЭС, прочность, морозостойкость, радиационная стойкость, долговечность.

DETERMINATION OF CONCRETE PROPERTIES IN ASSESSING THE FEASIBILITY OF CONSTRUCTING A TEMPORARY STORAGE FACILITY FOR RADIOACTIVE WASTE AT THE ROSTOV NPP

Umrigin V.Yu., Kuzin S.A.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"
Volgodonsk, Russia
slava-2774@mail.ru*

Abstract. This article presents the results of analyzing the physical and mechanical properties of heavy concrete necessary to justify

This article presents an analysis of the physical and mechanical characteristics of heavy concrete for the construction of a temporary storage facility for spent nuclear fuel and radioactive waste at the Rostov NPP site. The requirements for strength, frost resistance, water impermeability and radiation resistance are considered. The concrete specification data are compared with the design operational loads. Technical solutions for concrete mix adjustment are proposed.

Keywords: concrete, temporary storage facility, radioactive waste, Rostov NPP, strength, frost resistance, radiation resistance, durability.

Безопасное временное хранение отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и других радиоактивных отходов (ОЯО) – одна из приоритетных задач при эксплуатации атомных станций. Пожалуй, трудно переоценить её значимость.

Для Ростовской АЭС, как и для других АЭС России, актуален вопрос строительства дополнительных сооружений временного хранения (СВХ): нужно разгрузить существующие бассейны выдержки и увеличить общий запас мощности по обращению с ОЯО, иначе скоро станет тесно.

Основным конструкционным материалом при возведении таких сооружений служит тяжелый бетон, он несет на себе не только нагрузку, но и защитную – биологическую экранирующую функцию. Вопрос в том, какие именно свойства у этого бетона должны быть; на этапе предпроектной оценки это часто решает успех технико-экономического обоснования [1].

Цель работы – анализ требуемых и фактических характеристик бетона, чтобы обосновать возможность строительства СВХ ОЯО на площадке Ростовской АЭС (коротко и по существу).

Основные требования к бетону для сооружений временного хранения ОЯО

Согласно нормативным документам (НП-019-15, СП 131.13330), бетон для СВХ должен удовлетворять следующим критериям:

1. Прочность на сжатие – не менее В25 (М350) для несущих конструкций и В40 (М500) для защитных элементов перекрытий.

2. Морозостойкость – не ниже F200 для конструкций, контактирующих с внешней средой, где возможно циклическое замораживание/оттаивание (климатическая зона Ростовской АЭС характеризуется перепадами температур).

3. Водонепроницаемость – не ниже W12 для предотвращения миграции влаги и возможного выноса радионуклидов.

4. Радиационная стойкость – сохранение прочностных свойств при интегральной дозе облучения до 10^6 Гр без снижения класса более чем на 15 %.

5. Плотность – не менее 2400 кг/м^3 для обеспечения эффективного ослабления гамма-излучения [2].

Методика определения свойств

Для оценки возможности строительства были проанализированы данные стандартных испытаний бетона, применяемого при сооружении ответственных объектов Ростовской АЭС (здания реакторного отделения, вспомогательных корпусов). Отбор образцов (кубы $150 \times 150 \times 150$ мм и цилиндры $\varnothing 150 \times 300$ мм) производился из контрольных партий заводского изготовления. Испытания включали:

– определение предела прочности при сжатии и растяжении на гидравлическом прессе П-2000;

- определение морозостойкости методом ускоренного замораживания-оттаивания;
- определение водонепроницаемости на приборе ВВ-2;
- оценку радиационной стойкости по методике, имитирующей длительное воздействие гамма-излучения (источник Со-60).

Результаты и их обсуждение.

Испытания показали (таблица 1), что бетон марок В30-W12-F200, производимый местными заводами (Ростов-Дон, Волгодонск), может быть рекомендован для СВХ при условии корректировки рецептуры в части содержания пластифицирующих добавок.

Таблица 1 – Сравнение требуемых и фактических характеристик бетона

Параметр	Требование (для СВХ)	Фактическое значение (В30)	Соответствие
Прочность сжатие, МПа	$\geq 32,7$ (В25)	38,2	Да
Морозостойкость, циклы	$\geq F200$	F220	Да
Водонепроницаемость	$\geq W12$	W14	Да
Плотность, кг/м ³	≥ 2400	2460	Да

По прочности для несущих стен запас есть – 38,2 МПа вместо требуемых 32,7. А вот для перекрытий, где нужно 39,2 МПа, фактическое значение 38,2 – это 97,5 % от нормы. Разница небольшая, но формально класс В30 не дотягивает до В40. На практике это значит либо увеличивать толщину перекрытий, либо требовать от завода бетон чуть выше класса – например, В35. Второе проще и дешевле, пожалуй.

По плотности – 2460 кг/м³. Для тяжёлого бетона это нормально, но для радиационной защиты – на нижней границе допустимого. Расчёт дал линейный коэффициент ослабления гамма-излучения при 1,25 МэВ (типичное излучение кобальта-60) около 0,08 см⁻¹. Чтобы снизить мощность дозы за стеной до нормативных 2,5 мкЗв/ч, нужна толщина бетона примерно 0,9-1,1 метра. То есть практически – стены около метра; это реализуемо, но материал и стоимость растут.

По радиационной стойкости образцы сохранили 92 % исходной прочности после набора дозы $5 \cdot 10^5$ Гр, что выше нормативных 85 %. Значит за 50 лет при реальных уровнях облучения бетон вряд ли потеряет несущую способность – хорошая новость.

Закключение

Испытания и сверка с нормами показывают следующее. Строительство сооружения временного хранения радиоактивных отходов на площадке Ростовской АЭС технически возможно с использованием тяжёлого бетона местного производства. По прочности, морозостойкости и водонепроницаемости бетон класса В30 подходит для несущих конструкций. Но для защитных перекрытий, где норма требует В40, фактическая прочность 38,2 МПа немного не дотягивает; это не катастрофа, но придётся либо в ТЗ поднять класс бетона, либо усилить конструкцию.

По радиационной защите ситуация сложнее. При плотности 2460 кг/м³ стены из обычного тяжёлого бетона должны иметь толщину около метра. Это можно сделать, но расход материалов и цена вырастают. А что если комбинировать: основные стены из обычного бетона ~1 м, а локальные экраны над наиболее активными отходами – из баритового бетона плотностью от 3000 кг/м³? Тогда локальную толщину можно снизить до 0,5–0,6 м и общую массу защитных элементов уменьшить – куда разумнее.

Радиационная стойкость В30 подтверждена экспериментально: после дозы $5 \cdot 10^5$ Гр образцы сохранили 92 % прочности. Для полной уверенности в 50-летнем ресурсе рекомендуется дополнительное испытание до накопленной дозы 10^7 Гр, но уже сейчас можно сказать, что деградация бетона за расчётный срок вряд ли станет лимитирующим фактором.

Таким образом, результаты пригодны для рабочего проектирования сооружения временного хранения ОНАО на Ростовской АЭС. В техническое задание на поставку бетона следует включить уточнённые требования: для перекрытий – класс не ниже В35; для локальных защитных элементов – плотность не менее 3000 кг/м³ за счёт баритового или магнетитового наполнителя. Простое и экономичное решение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов, В.В. Радиационно-защитные бетоны для объектов обращения с РАО / В.В. Тарасов, С.А. Марков. – М.: Издательство МИФИ, 2020. – 156 с.
2. НП-019-15. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности. – М.: Госатомнадзор, 2015. – 34 с.
3. Баженов, Ю.М. Технология бетонов для ядерных объектов / Ю.М. Баженов. – СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2018. – 112 с.
4. Отчет по обследованию конструкционных материалов Ростовской АЭС. Инв. № 567-АТХ. – Волгоград: филиал АО «Атомтехэнерго», 2022. – 89 с.

УДК 528.482

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ СЛОЖНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ БАШЕННОГО ТИПА

Яковлев В.В., Наumenко Г.А.

*ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
galishka@mail.ru*

Аннотация: В докладе представлены результаты исследований по современным методам обследования сооружений башенного типа, подробно разобраны недостатки существующих нормативных документов в этой области. Даны рекомендации по организации мониторинга мачт связи на открытой не застроенной местности.

Ключевые слова: сборные металлические конструкции, мониторинг сооружений башенного типа.

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR CARRYING OUT GEODETIC SURVEYS OF COMPLEX TOWER-TYPE METAL STRUCTURES

Yakovlev V. V., Naumenko G. A.

*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
galishka@mail.ru*

Abstract: The report presents the results of research on modern methods of inspecting tower-type structures and provides a detailed analysis of the shortcomings of existing regulatory documents in this field. Recommendations are given for organising monitoring of communication towers in open, undeveloped areas.

Keywords: prefabricated metal structures, monitoring of tower-type structures.

В настоящее время глобальная задача покрытия территории страны с заданной плотностью сетью вышек РЛС решается достаточно успешно. В соответствии с этим увеличивается объем работ по контролю технического состояния данных эксплуатируемых сооружений башенного типа.

Вопрос об определении геометрических параметров отклонений от проектного положения сложных сборных металлических конструкций мачт связи и ЛЭП, телевизионных антенн, парашютных вышек и др. до настоящего времени остаётся открытым. Нет единого подхода к обеспечению качественного контроля технического состояния и обеспечения эксплуатационной надёжности таких сооружений [2].

Методика определения отклонений от проектного положения, представленная устаревшей инструкцией 1980г. [1], не соответствует современным требованиям к качеству окончательной геодезической продукции. А именно, отсутствие контрольных измерений и представления деформационных характеристик в чётко ориентированной системе координат для анализа динамических изменений в положении конструкций.

Непосредственно, геодезический контроль включает следующие основные определения: вертикальность ствола – т.е. крен башни, прямолинейность поясов башни и угловых вертикальных её элементов, отклонений прямолинейности решеток башен относительно проектного положения, осадки и др. деформации.

В связи с этим, исходной плановой основой может служить на застроенной

территории геодезическая сеть, состоящая не менее чем из трёх опорных пунктов, закреплённая светоотражающими плёнками, для решения обратной комбинированной засечки, обеспечивающей точность определений 2-3мм или сеть из трёх пунктов, ориентированная относительно существующих однозначно направленных объектов. На незастроенной территории направление системы координат рекомендуется выбирать по расположению обязательных ограждающих конструкций участка расположения радиорелейной станции.

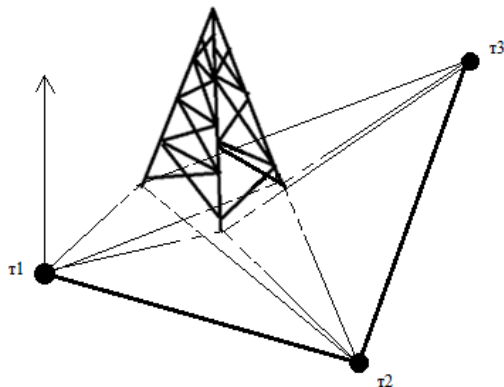


Рисунок 1 – Схема расположения точек съемочного обоснования

Для контроля начального направления оси X (см рис.1) выбранной системы координат относительно ориентированного металлического ограждения к направлению на север, рекомендуется использовать определение направления магнитного меридиана с помощью геодезической буссоли, что надёжнее, или мобильного приложения «Компас». Точность привязки к магнитному азимуту составляет 15–30'.

Определенно важной проблемой при наблюдении за металлическими конструкциями башенного типа является сложность в наведении, а именно в конкретной точке наведения для снятия отсчёта. Сложность представляют различные варианты сечений несущих стоек, представленных на рисунке 2 (а–в).

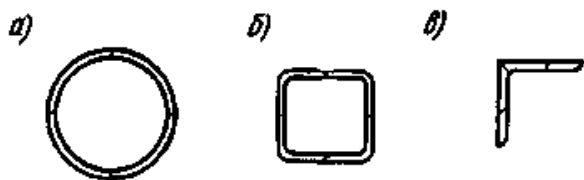


Рисунок 2 – Схемы сечений опор мачт связи
а) круглое сечение; б) квадратное сечение; в) угловое сечение

Для круглого сечения, даже с использованием тахеометра, для определения центров опор рекомендуется использование углового способа решения прямой многократной засечки. Вариант использования менее перспективного координатного способа возможен при наличии схемы антенной опоры с указанием диаметров несущих стоек на каждом контролируемом сечении.

Для остальных сечений необходима индивидуальная методика выполнения мониторинга любых конструкций мачт как с треугольным, так и квадратным основанием. И для этого должен отдельно разрабатываться проект производства геодезических работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по эксплуатации антенных сооружений радиорелейных линий связи / Минсвязи СССР. – Москва, 1980. – 30 с.
2. Яковлев В. В. Исследование методов геодезических наблюдений за техническим состоянием сложных металлических конструкций мачт связи / В.В. Яковлев, И.Г. Гайрабеков, А.В. Яковлев // Строительство и архитектура : материалы конференции, Ростов-на-Дону, 2021 г.

СЕКЦИЯ
КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ И ТЕРРИТОРИЯХ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ:
СОЦИОКУЛЬТУРНЫЙ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
И ПРАВОВОЙ АСПЕКТЫ

УДК [378.1:331.108]:621.039.58

ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ТРАЕКТОРИЯ
«ВХОДА В ПРОФЕССИЮ»: ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПИЛОТНОГО
ПРОЕКТА В ВИТИ НИЯУ МИФИ

Руденко В.А., Евдошкина Ю.А.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ»*

г. Волгодонск, Россия

YAEvdoshkina@mephi.ru

Аннотация. В статье представлен опыт Волгодонского инженерно-технического института – филиала НИЯУ МИФИ по внедрению и развитию курса «Культура безопасности» для всех уровней высшего и среднего профессионального образования. Раскрываются предпосылки создания курса, его место в образовательных программах, компетентностная модель, педагогические методы и интерактивные технологии, включая VR-тренажеры, кейс-метод, тренинги и проективные методики. Показана связь курса с требованиями предприятий Госкорпорации «Росатом». Отдельное внимание уделяется признанию опыта ВИТИ на отраслевом уровне – открытию проекта АО «Концерн Росэнергоатом» по разработке и апробации обучающего курса для опорных вузов и ссузов в городах присутствия АЭС.

Ключевые слова: культура безопасности, педагогическая модель, практико-ориентированное обучение, VR-тренажёр, компетенции, Росатом, опережающая подготовка кадров, ядерное мышление.

FORMATION OF A SAFETY CULTURE AS A TRAJECTORY OF “ENTRY INTO THE
PROFESSION”: EXPERIENCE OF IMPLEMENTING A PILOT PROJECT AT THE VETI
NRNU MEPhI

Rudenko V.A., Evdoshkina Yu.A.

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”

Volgodonsk, Russia

YAEvdoshkina@mephi.ru

Abstract. This article presents the experience of the Volgodonsk Engineering and Technical Institute, a branch of the National Research Nuclear University MEPhI, in implementing and developing the "Safety Culture" course for all levels of higher and secondary vocational education. It discusses the prerequisites for the course's development, its place in educational programs, the competency-based model, pedagogical methods, and interactive technologies, including VR simulators, case studies, training sessions, and projective methods. The course's connection to the requirements of Rosatom State Corporation enterprises is demonstrated. Particular attention is given to the recognition of VITI's expertise at the industry level, through the launch of a project by Rosenergoatom Concern JSC to develop and test a standard course for flagship universities and colleges in cities with nuclear power plant operations.

Keywords: safety culture, pedagogical model, practice-oriented learning, VR simulator, competencies, Rosatom, advanced personnel training, nuclear thinking.

Активная деятельность человека в современных условиях придала особый смысл проблемам безопасности. Персонал атомных станций постоянно участвует в программах обучения, направленных на развитие и совершенствование культуры безопасности. Однако до недавнего времени вузы, осуществляющие подготовку специалистов для атомной отрасли, практически не включали в учебные планы специальных курсов по формированию компетенций в области культуры безопасности. Это противоречие между требованием

обеспечения безопасности и недостаточной разработанностью педагогических технологий послужило отправной точкой для разработки и внедрения курса «Культура безопасности» в ВИТИ НИЯУ МИФИ.

Волгодонский инженерно-технический институт находится в уникальной экосистеме: рядом расположены действующая Ростовская АЭС и предприятие машиностроительного дивизиона «Атоммаш». Эта среда формирует так называемую «ядерную ДНК» безопасности с первых дней обучения. Кроме того, в 2012–2014 гг. институт выступал разработчиком профессиональных стандартов атомной отрасли, что позволило точно соотнести содержание образовательных программ с реальными требованиями предприятий. Собеседования представителей ГК «Росатом» со студентами выпускных курсов также подтвердили, что вопросы ценностной ориентации, ответственности, самосознания и целевых установок выходят на первый план при трудоустройстве.

В настоящее время дисциплина «Культура безопасности» внедрена во все уровни подготовки ВИТИ НИЯУ МИФИ. В основу курса положен компетентностный подход, согласованный с требованиями Концерна «Росэнергоатом». Содержание курса дифференцировано по уровням подготовки.

Для бакалавров и специалистов лекционный блок включает темы: концепция культуры безопасности на опасных производственных объектах; взаимосвязь организационной культуры и культуры безопасности; организация и проведение инструктажей; роль человеческого фактора, ошибки и нарушения; оценка риска в профессиональной деятельности; безопасное поведение на рабочем месте; поведенческий аудит безопасности; инструменты предотвращения ошибок персонала. Каждая лекция подкреплена практическим занятием. Студенты работают с кейсами на тренинге «Как работают ценности Росатома», участвуют в тренингах «Эффективная командная работа» и «Эффективная коммуникация» на базовой кафедре «Атомные электрические станции» (учебно-тренировочное подразделение Ростовской АЭС), анализируют реальные протоколы происшествий с составлением диаграмм событий и причинных факторов, осваивают «Методику 5 шагов безопасного поведения» на интерактивном VR-тренажёре в Цифровом проектно-технологическом полигоне, а также участвуют в карточном тренинге «Риск-игра» на знание знаков безопасности и действий в критических ситуациях.

Для магистрантов программа имеет управленческий уклон. Лекции посвящены лидерству в вопросах культуры безопасности, деятельности института уполномоченных по культуре безопасности, психологическим и организационным аспектам человеческого фактора, управлению безопасностью на основе оценок рисков. Практические занятия включают тренинги «Инструменты руководителя-лидера», «Ситуационное руководство», практикум по коучинговому подходу с использованием VR-тренажёра и тренинг «Коммуникативные техники руководителя-лидера».

На очередном отраслевом форуме под руководством первого заместителя Генерального директора АО «Концерн Росэнергоатом» Джумбери Леонтовича Ткебучава было принято стратегическое решение: создать апробированный курс по культуре безопасности для вузов и колледжей во всех городах присутствия атомной отрасли. За основу этого проекта был предложен уже готовый, работающий опыт ВИТИ НИЯУ МИФИ.

По результатам пилотной апробации дисциплины «Культура безопасности» в ВИТИ НИЯУ МИФИ выявлены как единые концептуальные основы, так и значимые различия в структуре курса для разных уровней образования. Объединяющим началом выступает модульный принцип (лекция + практика) и общий тематический контур: концепция культуры безопасности, оценка рисков, человеческий фактор, поведенческий аудит безопасности и коммуникации. Однако при сопоставимом наборе тем на программах высшего образования делается акцент на психолого-управленческих аспектах (тесты на тип личности, модель GROW, коучинг, анализ гормонального влияния), тогда как в техникуме смещает фокус на прикладные алгоритмы – чек-лист «5 минут перед сменой», карту рисков, VR-тренажёр, карточную игру «РИСКигра» и разбор аварий по шкале ИНЕС.

Такая дифференциация обусловлена целевыми группами: будущие инженеры и управленцы должны понимать глубинные механизмы поведения и выстраивать систему безопасности, а выпускники техникума – линейный персонал – обязаны мгновенно и безошибочно применять правила в повседневной работе. Именно поэтому практико-ориентированность курса в СПО становится критическим фактором «входа в профессию»: отработка навыков на симуляторах и игровых моделях сокращает адаптационный период на производстве, формирует устойчивые поведенческие привычки и снижает риск травматизма. Первые итоги проекта подтверждают, что насыщение практическими инструментами значительно повышает вовлечённость студентов и их готовность к реальным условиям рискогенного производства.

При реализации курса наряду с академическими формами обучения применяются инновационные методики и интерактивные технологии: лекции-дискуссии, лекции-конференции, ролевые и деловые игры, тренинги, занятия с использованием ситуационных задач и проективного тестирования, творческие задания. Особое место занимает метод case-study на основе реальных производственных инцидентов. Студенту предоставляется выдержка из протокола события и пустой бланк с элементами анализа («подсказки»). Задача – выделить коренную причину, непосредственную причину, сопутствующие факторы и предложить корректирующие меры. Такой подход моделирует реальную работу комиссии по расследованию.

Апробирована также система тренингов как комплекса ролевых упражнений с противоположными интересами участников и необходимостью принятия решений. Тренинги способствуют формированию коммуникативных способностей, толерантности, умения работать в команде, самостоятельности мышления.

Используются творческие задания разной степени сложности, позволяющие реализовать индивидуальный дифференцированный подход. Один из примеров – задание «Создание интеллект-карты» по темам «Личная культура безопасности» и «Нарушения в работе персонала». Составление интеллект-карты активизирует ассоциативное мышление и способствует более глубокому усвоению материала.

Для студентов поколений Z и Alpha ключевым элементом обучения является интерактивный VR-тренажёр для формирования безопасного поведения на рабочем месте. Каждый студент проходит сценарии идентификации опасностей: работа на высоте, строительная площадка, оказание первой помощи. Любое нарушение культуры безопасности в виртуальной среде приводит к смоделированной аварии, что закрепляет последствия на эмоциональном уровне. Тренажёр позволяет отрабатывать навыки безопасного поведения без реальных рисков для жизни и здоровья.

Курс интегрирован в цифровую экосистему на базе LMS Moodle, используются обучающие видеоролики и геймифицированные тренинги для динамичного контроля знаний. Кроме того, на базе Цифрового проектно-технологического полигона студенты работают на полномасштабных макетах реакторов ВВЭР-1000 и парогенераторов, что даёт возможность физически увидеть последствия нарушения регламента.

Важным педагогическим принципом является переход от традиционной модели Safety-I (анализ ошибок и нарушений) к философии Safety-II. Студенты учатся не только тому, что нельзя делать, но и анализу успешных смен: почему удалось избежать рисков, какие действия персонала сработали, даже если они не были жёстко прописаны в инструкции. Это формирует проактивную позицию, ориентированную на принцип «предвидь и предупреди», а не «спаси и исправь».

Для самодиагностики применяются проективные методики: тест «Ваши жизненные ценности» (на тренинге «Как работают ценности Росатома»), тесты «Отношение к опасности» и «Действия в критической ситуации» (на практикуме по методике 5 шагов). Результаты позволяют выявить склонность к браваде и недооценку риска либо, напротив, излишнюю тревожность и переоценку опасности, что служит основой для индивидуальной коррекции.

Высокий уровень преподавания обеспечивается «двойным» контролем: с одной стороны – научная школа института, с другой – участие практиков. Занятия проводят инструкторы учебно-тренировочного подразделения Ростовской АЭС и ведущие специалисты Филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск. Благодаря тому, что курс создавался совместно со специалистами Ростовской АЭС, студент осваивает не абстрактную теорию, а рабочие алгоритмы, одобренные действующим производством.

Самостоятельная работа студентов включает участие в профессиональных треках и ежегодных отраслевых мероприятиях: дивизиональном марафоне «Охота на риски», онлайн-мероприятии «Студенческий ЦЕХ» по компетенции «Культура безопасности». ВИТИ НИЯУ МИФИ неоднократно признавался самым вовлечённым учебным заведением в этих проектах.

За годы реализации курса достигнуты следующие образовательные результаты:

- ✓ снижение сроков адаптации выпускников на должности;
- ✓ формирование устойчивого безопасного поведения на рабочем месте;
- ✓ развитие лидерства в вопросах культуры безопасности;
- ✓ приверженность культуре безопасности на индивидуальном уровне;
- ✓ понимание роли человеческого фактора и природы ошибок;
- ✓ владение инструментами предотвращения ошибок персонала.

Таким образом, в ВИТИ НИЯУ МИФИ сложилась эффективная педагогическая модель формирования культуры безопасности, которая превращает эту дисциплину из формального требования в личную траекторию входа в профессию. Сочетание компетентностного подхода, интерактивных и иммерсивных методов, связи с реальным производством и постоянной диагностики позволяет выпускать специалистов с уже сформированным «ядерным мышлением» – состоянием, при котором безопасность всегда имеет безусловный приоритет над любыми производственными показателями. Представленный опыт может быть рекомендован для масштабирования в другие образовательные организации, осуществляющие подготовку кадров для атомной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руденко В.А., Евдошкина Ю.А. Культура безопасности в контексте общечеловеческой культуры // Глобальная ядерная безопасность. 2012. № 4 (5). С. 88-91.
2. Руденко В.А., Василенко Н.П. Компетентностный подход в воспитании культуры безопасности в вузе // Глобальная ядерная безопасность. 2012. № 2-3 (4). С. 136-140.
3. Евдошкина Ю.А. Формирование культуры безопасности личности как новое направление образовательного процесса в техническом вузе // Глобальная ядерная безопасность. 2013. № 2 (7). С. 92-94.
4. Василенко Н.П., Евдошкина Ю.А. Педагогическая модель формирования культуры безопасности выпускников, ориентированных на работу в атомной отрасли // Безопасность ядерной энергетики: тез. докл. XIII Междунар. науч.-практ. конф. Волгодонск, 2017.
5. Руденко В.А., Евдошкина Ю.А. Возможности геймификации в формировании безопасного поведения на рабочем месте // Безопасность ядерной энергетики: сб. тезисов XX Междунар. науч.-практ. конф. Волгодонск, 2024. С. 111-114.

УДК 37.013.42:004

РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОГО ПОВЕДЕНИЯ ПЕРСОНАЛА АЭС И ПОДРЯДНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ПРИ РЕМОНТЕ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ И НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРЕССОВЫХ СЦЕНАРИЕВ ОБУЧЕНИЯ

Микшин И.А., Арженовская Е.В., Галкин А.С.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
mikshin89@mail.ru*

Аннотация. В работе представлен опыт повышения квалификации оперативно-ремонтного персонала Ростовской АЭС по программе «Применение инструментов предотвращения ошибок при ремонте оборудования». Описан учебно-тренировочный комплекс на базе натурного тренажёра, включающего запорный клапан, клиновую задвижку и насос. Приведены типовые ошибки персонала (неактуальная КТД, просроченные СИЗ и средства измерения, нарушения организации рабочего места), выявленные в ходе стресс-сценариев. Показана эффективность обучения с использованием бланков оценки практических заданий и итогового тестирования. Обоснована целесообразность распространения программы на подрядные организации и расширения номенклатуры оборудования.

Ключевые слова: инструменты предотвращения ошибок (ИПО), ремонтный персонал АЭС, натурный тренажёр, стресс-сценарии, культура безопасности, нештатные ситуации, ВИТИ НИЯУ МИФИ.

RESULTS OF THE TRENCHER'S APPROVAL FOR FORMING SAFE BEHAVIOUR OF NPP PERSONNEL AND CONTRACTING ORGANIZATIONS DURING THE REPAIR OF PIPING FITTINGS AND PUMPING EQUIPMENT USING STRESSED LEARNING SCENARIOS

Mikshin I.A., Arzhenovskaya E.V., Galkin A.S.

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"

Volgodonsk, Russia

mikshin89@mail.ru

Abstract. This paper presents the experience of Rostov NPP personnel advanced training for operations and maintenance under the program "Application of Error Prevention Tools in Equipment Repair." A training complex based on a full-scale simulator (shut-off valve, wedge gate valve, pump) is described. Typical personnel errors (outdated documentation, expired PPE and measuring instruments, poor workplace organization) identified during stress scenarios are presented. Training effectiveness is demonstrated using assessment forms and final testing. Extending the program to contractors and expanding the equipment range is justified.

Keywords: error prevention tools (IPO), NPP repair personnel, full-scale simulator, stress scenarios, safety culture, emergency situations, VITI NRU MEPhI.

Целью реализации программы повышения квалификации ремонтного персонала Ростовской АЭС является формирование и поддержание компетенций в области культуры безопасности через осознанное применение инструментов предотвращения ошибок (ИПО) при ремонте оборудования. При подготовке материалов обучения были использованы действующие руководства по безопасности, ГОСТы и СТО[1], [2], [3].

В период с 01.10.2025 по 30.10.2025 для оперативно-ремонтного персонала Ростовской АЭС (РоАЭС) проведено повышение квалификации по программе: «Применение инструментов предотвращения ошибок при ремонте оборудования». Состав обучаемых: слесари РТО 4–8 разряда – 65 чел.; мастера 1 группы – 14 чел.; инженеры 1, 2 категории – 8 чел.; ведущие инженеры – 4 чел. (всего 91 чел.). Цель программы – формирование компетенций в области безопасности с применением инструментов предотвращения ошибок (ИПО), конечная цель – повышение качества ремонта оборудования.

Обучение проводилось с применением натурного тренажёра, спроектированного и изготовленного ВИТИ НИЯУ МИФИ. Тренажёр включает три единицы оборудования: клапан запорный 15с22нж, задвижку клиновую 30с964нж и насос АХ40-25-160К-55, а также комплекты технологической и исполнительной документации.

Тренинг предусматривает отработку навыков в нормальных и нештатных ситуациях с использованием стресс-сценариев, включая:

- соблюдение организационно-технических мероприятий;
- применение средств ремонта, измерений, СИЗ;
- самоконтроль по принципам STARR и трёхразовые коммуникации;
- ведение отчётной документации.

Сценарии разработаны с участием специалистов ВФ ВНИИАЭС, ЦЦР РоАЭС, ВФ АЭР, инспекторов WANO, с учётом международного опыта и на основе анализа событий на АЭС.

Практические задания выполнялись бригадами обучаемых и включали демонтаж, разборку, очистку, дефектацию, замену деталей и сборку оборудования. Инструктор оценивал каждый шаг по бланку оценки (таблица 1) с учётом критичности действий, выявленных заложенных ошибок и реакции на нештатные ситуации (например, «Пожарная тревога»).

Таблица 1 – Бланк оценки выполнения практического задания (фрагмент)

Номер шага	Содержание шага	Критичность
1.	Получить задание, цеховой инструктаж, проверить документацию	
2.	Оформить наряд-допуск, получить целевой инструктаж, допуск	
3.	Подготовить рабочее место (инструмент, СИЗ, освещение, отключение питания, перекрытие арматуры, дренаж, ограждения)	
4.	Установка заглушек (непрозрачной полиэтиленовой пленки)	К
5.	Визуальный осмотр всех деталей узла. Дефектация	К
6.	Ремонт заменой деталей, замена сальниковых уплотнений	К
7.	Сборка арматуры с контролем момента затяжки	К

Наиболее часто встречающиеся ошибки персонала (по итогам тренингов):

- работа с неактуальными КТД (без подписей разработчиков и печати);
- использование СИЗ с просроченным сроком (каска, отсутствие ремешка);
- применение мерительного инструмента с просроченной метрологической поверкой;
- использование немаркированных средств ремонта;
- ненадлежащая организация рабочего места.

Со всеми обучаемыми проведён анализ ошибок, применён практический опыт семи инструментов предотвращения ошибок. Итоговое тестирование показало положительный результат, повторное тестирование после обучения показало практически безошибочное применение ИПО. Анкетирование и обратная связь от руководителей ЦЦР Ростовской АЭС также подтвердили заинтересованность персонала в дальнейшей реализации программы.

По итогам обучения были получены следующие результаты:

1. Обучен 91 работник Цеха централизованного ремонта РоАЭС, руководство которой подтвердило целесообразность продолжения программы как для собственного персонала, так и для АО «Атомэнергоремонт» и других подрядных организаций.
2. Функционал натурального тренажёра может быть использован для входного контроля практических знаний при приёме на работу, переводах и перед выполнением ответственных поручений.
3. Полученные результаты позволяют рассматривать перспективы расширения номенклатуры оборудования и сценариев обучения для других категорий персонала, в первую очередь для оперативного персонала основных цехов АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РБ-129-17. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по формированию и поддержанию культуры безопасности на атомных станциях и в эксплуатирующих организациях атомных станций».
2. СТО 1.1.1.01.004.0680-2023(с из. 1 2024). Технические средства обучения.
3. ГОСТ Р 54816-2011. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Учебная техника.

МЕХАНИЗМЫ ТРАНСЛЯЦИИ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ В СЕТИ ПАРТНЕРОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Головко М.В.¹, Руденко В.А.², Рябышев М.В.³, Анцибор А.В.⁴

¹Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, Россия
^{2,3,4}Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

г. Волгодонск, Россия

¹golovko178@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема трансляции единых стандартов культуры безопасности за пределы головной организации применительно к распределенной сети партнерских предприятий атомной отрасли. Выделены четыре механизма габитуализации: нормативно-ценностное структурирование, измерительная прозрачность, инвестиционная рутинизация и ответственность за полный жизненный цикл. Полученные результаты демонстрируют, что формирование единой культуры безопасности в партнерской сети требует создания институциональных условий, при которых безопасность становится органичной составляющей организационного габитуса контрагентов.

Ключевые слова: культура безопасности, габитуализация, партнерская сеть, атомная отрасль, Росатом, ключевые показатели эффективности, инвестиции, жизненный цикл.

MECHANISMS OF SAFETY CULTURE TRANSFER IN THE NUCLEAR INDUSTRY PARTNER NETWORK

Golovko M.V.¹, Rudenko V.A.², Ryabyshev M.V.³, Antsibor A.V.⁴

¹Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

^{2,3,4}Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"
Volgodonsk, Russia

¹golovko178@mail.ru

Abstract. The article addresses the problem of transferring unified safety culture standards beyond the parent organization within the distributed partner network of the nuclear industry. Four mechanisms of habituation are identified: normative-value structuring, measurement transparency, investment routinization, and full life-cycle responsibility. The findings demonstrate that forming a unified safety culture in a partner network requires creating institutional conditions under which safety becomes an organic component of the partners' organizational habitus.

Keywords: safety culture, habituation, partner network, nuclear industry, Rosatom, key performance indicators, investments, life cycle.

Трансляция единых стандартов безопасности за пределы головной организации приобретает особую значимость в условиях сетевой структуры атомной отрасли. Государственная корпорация «Росатом» взаимодействует с широким кругом контрагентов, включая подрядные, сервисные, научные и инженеринговые организации. В этой связи возникает необходимость в выявлении инструментов, посредством которых внешние нормативные требования преобразуются во внутренние устойчивые практики партнеров. В настоящей работе данный процесс обозначается термином «габитуализация», заимствованным из концепции габитуса П. Бурдьё [1]. Исследование выполнено в рамках качественной парадигмы с применением элементов теории заинтересованных сторон (Р.Э. Фримен) и неинституционального подхода (П. Димаджио, У. Пауэлл) [2]. Эмпирическую основу составили корпоративные отчеты Росатома в области безопасности за 2022–2024 годы, отраслевые стандарты (СТО), а также материалы профильных совещаний и федеральных целевых программ.

В процессе анализа выделено четыре механизма габитуализации, каждый из которых проявляется в социокультурном, экономическом и правовом измерениях.

Первый механизм – нормативно-ценностное структурирование. Ценности безопасности последовательно конкретизируются в иерархии документов: от политик до технических стандартов и квалификационных требований. Для партнерской сети это означает формирование единого нормативного поля, снижающего неопределенность в вопросах риск-менеджмента. Социокультурным результатом выступает выработка общего «языка безопасности»; экономическим – уменьшение транзакционных издержек на контроль соответствия; правовым – инкорпорация требований охраны труда и ядерной безопасности в договорные отношения. За 2022–2024 годы утверждено 46 отраслевых стандартов, аккредитовано 65 испытательных лабораторий, проведено более 37 тыс. аттестаций персонала.

Второй механизм – обеспечение транспарентности ориентиров. Система ключевых показателей эффективности (KPI) переводит абстрактную цель безопасности в область управляемых и публично верифицируемых метрик. Социокультурный эффект выражается в переходе от пассивного соблюдения к активному мониторингу, организации обучения культуре безопасности, начиная с образовательных организаций [3,4]; экономический – в возможности объективного сравнения эффективности программ охраны труда между различными организациями сети (например, через коэффициент LTIFR). Правовой аспект подкрепляется институционализированным правом работника на отказ от опасных работ без применения санкций. Иллюстративные данные: в рассматриваемый период отсутствовали события выше уровня «1» по шкале INES; системой оценки индивидуального радиационного риска (АРМИР) охвачено более 69 тыс. человек; LTIFR поддерживался на уровне 0,06–0,11.

Третий механизм – инвестиционная рутинизация. Устойчивый рост и детализация затрат на охрану труда и окружающей среды превращают безопасность из декларации в неотъемлемую составляющую производственного бюджета. Социокультурный аспект заключается в том, что крупные превентивные вложения перестают восприниматься как обременительные издержки, становясь операционной нормой. Экономически данный механизм подтверждается динамикой: затраты на охрану окружающей среды увеличились на 47,8% (до 36,4 млрд руб.), инвестиции в основной капитал природоохранного назначения – на 29,4% [5]. Правовая фиксация достигается через включение соответствующих статей в проектную документацию и контракты.

Четвертый механизм – ответственность за полный жизненный цикл. Реализация федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности» (ФЦП ЯРБ-2) и «зеленых» практик вовлекает партнеров в решение задач по обращению с накопленным ущербом. Социокультурным измерением служит формирование идентичности ответственного природопользователя и переход от принципа «не навреди» к активному восстановлению территорий. Экономический смысл заключается в инвестировании в ликвидацию прошлого ущерба как необходимое условие долгосрочной устойчивости. Правовую основу задают целевые индикаторы ФЦП, обязательные для всех участников сети. За три года реабилитировано более 38 тыс. м² радиационно загрязненных земель, выведено из эксплуатации 7 ядерно-опасных объектов, лесовосстановление проведено на площади свыше 1,5 тыс. га.

Для систематизации описанных механизмов ниже представлена сводная таблица 1.

Таблица 1 – Механизмы габитуализации культуры безопасности в партнерской сети Росатома (2022–2024 гг.)

Механизм	Социокультурное измерение	Экономическое измерение	Правовое измерение	Ключевые количественные индикаторы
Нормативно-ценностное структурирование	Формирование единого поля понимания рисков	Снижение транзакционных издержек контроля	Закрепление требований в договорных отношениях	46 стандартов, 65 лабораторий, >37 тыс. аттестаций
Транспарентность ориентиров	Переход к верифицируемому управлению безопасностью	Объективное сравнение эффективности через KPI (LTIFR)	Институционализированное право отказа от опасных работ	LTIFR 0,06–0,11; охват АРМИР >69 тыс.; 0 событий >1 по INES

Продолжение таблицы 1

Механизм	Социокультурное измерение	Экономическое измерение	Правовое измерение	Ключевые количественные индикаторы
Инвестиционная рутинизация	Восприятие превентивных затрат как операционной нормы	Рост расходов на охрану среды на 47,8%	Детализация статей в проектной документации	Природоохранные инвестиции +29,4%, 36,4 млрд руб.
Ответственность за полный жизненный цикл	Идентичность ответственного природопользователя	Инвестиции в ликвидацию накопленного ущерба	Целевые индикаторы ФЦП ЯРБ-2	Реабилитация >38 тыс. м ² , вывод 7 ЯРОО, лесовосстановление >1,5 тыс. га

Выделенные механизмы не действуют изолированно. Они образуют систему концентрических кругов обязательств, в которой степень интеграции партнера определяется его ролью [5]. Поставщики на периферии сети взаимодействуют преимущественно через механизмы нормативного структурирования и измерительной прозрачности. Стратегические партнеры, входящие в ядро, вовлекаются во все четыре механизма в их полноте, включая инвестиционную рутинизацию и ответственность за полный жизненный цикл.

Формирование единой культуры безопасности в распределенной сети предприятий требует не принудительного навязывания правил, а создания институциональных условий, при которых безопасность становится органичной составляющей организационного габитуса партнеров [6]. Представленные механизмы охватывают три необходимые плоскости: социокультурную (общие ценности и практики), экономическую (измеримые показатели, финансирование, снижение издержек) и правовую (контрактные обязательства, стандарты, государственные программы). Опыт Росатома демонстрирует принципиальную возможность габитуализации в масштабных межорганизационных сетях, что может быть экстраполировано на иные высокорисковые отрасли, где безопасность выступает общим делом всех участников кооперационных цепочек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдьё П. Практический смысл. Санкт-Петербург: Алетей, 2001. 562 с. Режим доступа: https://yanko.lib.ru/books/cultur/bourdieu-praktich_smusl-8l.pdf
2. Димаджо П.Дж., Пауэлл У.В. Новый взгляд на «железную клетку»: институциональный изоморфизм и коллективная рациональность в организационных полях. Перевод с английского Экономическая социология. 2010;11;1:34–56. Режим доступа: https://www.hse.ru/data/2011/12/08/1208204985/ecsoc_t11_n1.pdf (дата обращения: 10.04.2026).
3. Опыт и перспективы подготовки leap-специалистов на основе эффективного взаимодействия вуза и предприятий ГК "Росатом" / В. А. Руденко, М. В. Головкин, И. А. Ухалина [и др.] // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 1(26). – С. 119-128. Механизмы габитуализации культуры безопасности в сети предприятий - маркетинговых партнеров атомной отрасли / М. В. Головкин, В. А. Руденко, М. В. Рябышев, А. В. Анцибор // Глобальная ядерная безопасность. – 2026. – Т. 16, № 1(58). – С. 99-109. – DOI 10.26583/gns-2026-01-11.
4. Ранняя профессиональная ориентация в сфере атомной энергетики как фактор стратегического развития атомной отрасли / В. А. Руденко, М. В. Головкин, Н. В. Ермолаева, Н. И. Лобковская // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 4(29). – С. 97-108.
5. Волков Э.В., Емельянова А.В., Карякин А.М., Юникова А.В. Роль национального контекста в формировании организационной культуры безопасности атомной отрасли // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2021. – Т. 1, № 5(113). – С. 26–38. – URL: https://s-lib.com/issues/eiu_2021_05_t1_a4/?ysclid=ml98lfoqjl573204607 (дата обращения: 15.04.2026)
6. Руденко В.А., Ожерельев В.Д., Евдошкина Ю.А., Цуверкалова О.Ф., Сетраков А.Н. Системный подход к оценке корректирующих мероприятий для формирования культуры безопасности в атомной отрасли // Глобальная ядерная безопасность. – 2020. – № 3(36). – С. 85–94. – DOI: 10.26583/GNS-2020-03-0.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ: СОЦИАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ И РОЛЬ ДУХОВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ КУЛЬТУРЫ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Локонова Е.Л., Железнякова А.В.

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

г. Волгодонск, Россия

ELKonova@mephi.ru

Аннотация. Развитие атомной энергетики сегодня невозможно рассматривать исключительно через призму технологических инноваций или экономических показателей. Это комплексная социально-техническая система, устойчивость которой зависит от трёх взаимосвязанных компонентов: а именно, технологической безопасности, общественного доверия и качественного человеческого капитала. На основе исследований, которые были проведены на базе ВИТИ НИЯУ МИФИ, в данной статье раскрываются социальные вызовы, стоящие перед атомной отраслью, и обосновывается ключевая роль духовной безопасности в формировании профессиональной культуры будущих специалистов.

Ключевые слова: атомная отрасль, социальные вызовы, духовная безопасность, культура безопасности, подготовка специалистов атомной отрасли, развитие атомной отрасли, общественное восприятие атомной энергетики

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE NUCLEAR INDUSTRY: SOCIAL CHALLENGES AND THE ROLE OF SPIRITUAL SECURITY IN SHAPING THE CULTURE OF FUTURE PROFESSIONALS

Lokonova E.L., Zheleznyakova A.V.

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”

Volgodonsk, Russia

ELKonova@mephi.ru

Abstract. Today, the development of the nuclear energy sector cannot be viewed exclusively through the lens of technological innovations or economic indicators. It represents a complex socio-technical system, the resilience of which depends on three interconnected components: technological safety, public trust, and high-quality human capital. Based on research conducted at the Volgodonsk Engineering Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPhI (VETI NRNU MEPhI), this article examines the social challenges facing the nuclear industry and substantiates the key role of spiritual security in shaping the professional culture of future specialists.

Keywords: nuclear industry, social challenges, spiritual security, safety culture, training of nuclear industry specialists, development of the nuclear industry, public perception of nuclear energy

Современная энергетическая повестка формируется в условиях климатических изменений, потребности в снижении углеродных выбросов и обеспечения энергетического суверенитета. В этом контексте атомная энергетика сохраняет статус базового, стабильного и экологически чистого источника генерации [1]. Однако её развитие напрямую зависит от социального контекста и динамики общественного мнения.

Социологический мониторинг, который был проведен в 2025 году среди жителей г. Волгодонска, в котором приняли участие 450 респондентов, демонстрирует устойчивый позитивный запрос на сохранение и развитие атомного сектора [2].:

- 57,5% опрошенных считают ядерную энергию приоритетным видом генерации для России;
- 85% поддерживают расширение атомного сектора (60% «определённо расширять», 25% «скорее расширять»);

– 85,8% оценивают современную атомную энергетику как безопасную («определённо» или «скорее»).

Несмотря на высокий уровень доверия, общество чётко идентифицирует новые риски. 65% респондентов указывают на угрозу превращения АЭС в приоритетные военные цели, 60% называют человеческий фактор главной уязвимостью, 35% обеспокоены радиационными рисками [2]. При этом основным каналом получения информации остаются СМИ (57,5%) и социальные сети (45%), что формирует информационное поле, подверженное манипуляциям, фейкам и эмоциональному воздействию. Эти данные подтверждают: будущее атомной отрасли зависит не только от инженерных решений, но и от качества диалога с обществом, прозрачности коммуникаций и способности нивелировать информационные угрозы.

Что же касается вопроса безопасности как системообразующего фактора: от технологий к культуре ответственности, то здесь следует отметить, что технологический прогресс в отрасли отвечает на вызовы времени: внедряются реакторы поколений III+ и IV, малые модульные реакторы (ММР), пассивные системы охлаждения, системы киберфизической защиты и цифровые платформы на базе ИИ и больших данных [1]. Опыт аварий на Три-Майл-Айленде, Чернобыле и Фукусиме, а также уникальная ситуация вокруг Запорожской АЭС, доказали, что ни одна инженерная система не работает автономно от человеческого фактора и внешней среды [3].

Как известно, Госкорпорация «Росатом» реализует многоуровневую программу безопасности, включающую радиационный мониторинг, модернизацию защитных барьеров, киберзащиту, физическую охрану периметров, регулярные учения и международное сотрудничество под эгидой МАГАТЭ [4]. Однако технологический базис приобретает полную ценность только тогда, когда он поддерживается культурой безопасности, т.е. системой ценностей, норм и поведенческих паттернов, где каждый сотрудник осознаёт личную ответственность за последствия своих действий [3]. Именно здесь возникает потребность в обращении к духовно-нравственному фундаменту подготовки кадров.

Одним из требований к образовательным организациям, осуществляющим подготовку специалистов для атомной отрасли, является умение формировать у студентов качественных изменений ценностного отношения к будущей профессиональной деятельности [5]. Ведь личностно-профессиональное становление специалиста атомной отрасли напрямую связано с его духовно-нравственными установками [6]. В связи с этим в апреле 2026 года был проведен социологический опрос студентов ВИТИ НИЯУ МИФИ (300 респондентов 1-4 курса), который выявил ряд значимых тенденций:

– Среди обучающихся растёт доля основного мотива профессиональной ориентации, связанного с востребованностью профессии (61%) и её престижем (37%), тогда как ориентация только на высокую зарплату снижается (17,2%);

– 87,3% опрошенных студентов позитивно оценивают выбранную специальность, что свидетельствует об устойчивой профессиональной идентичности;

– Однако отмечается рост тревожных настроений, т.е. увеличился процент студентов с негативным социальным самочувствием: 11,1% респондентов испытывают неуверенность, а 3,6% – страх и отчаяние.

Критически важным является уровень понимания термина «духовная безопасность»: 65% студентов затрудняются с определением, 33,8% связывают его исключительно с религией, и лишь 16,4% соотносят с семьей, нравственностью и моралью. При этом 59% опрошенных считают себя духовно незащищёнными, а 54% называют главным источником угрозы интернет-среду (агрессивное поведение, психологическое давление, манипуляции, фейковая информация). Эти цифры указывают на разрыв между технологической готовностью отрасли и ценностно-смысловой устойчивостью молодёжи.

Духовная безопасность в контексте атомной отрасли – это не абстрактная категория, а практический инструмент формирования специалиста, способного действовать в условиях высокой ответственности, стресса и информационного шума [5]. Как показывают

исследования, при проектировании образовательного и воспитательного процессов необходимо учитывать индивидуальное социальное и духовное пространство студента.

Ключевыми направлениями оптимизации подготовки обучающихся могут быть следующие:

1. Интеграция социально-гуманитарного блока дисциплин в профессиональную траекторию с акцентом на этику, философию техники, историю атомной отрасли и основы информационной гигиены.

2. Формирование культуры диалога и критического мышления, позволяющей студентам противостоять манипулятивным практикам в цифровой среде и сохранять профессиональную идентичность.

3. Развитие патриотического и гражданско-нравственного воспитания как основы осознанного выбора профессии и принятия на себя ответственности за последствия инженерных решений.

4. Создание поддерживающей психолого-педагогической среды, снижающей уровень социальной тревожности и формирующей устойчивое социальное самочувствие будущих инженеров.

Только при условии гармоничного соединения технической экспертизы и духовно-нравственной зрелости возможно формирование специалиста, для которого соблюдение стандартов, правил и инструкций становится не внешним требованием, а внутренней потребностью.

В заключении хотелось бы отметить, что перспективы развития атомной отрасли в XXI веке определяются не только мощностью реакторов или объёмами генерации, но и способностью общества и образовательной системы отвечать на новые социальные вызовы. Технологическая безопасность, открытость диалога с населением, противодействие информационным рискам и формирование культуры ответственности – взаимосвязанные элементы единой системы [8].

Духовная безопасность выступает фундаментальным проектом формирования культуры будущих специалистов. Она обеспечивает устойчивость личности в условиях цифровизации, глобальной нестабильности и высоких профессиональных требований. Реализация моделей оптимизации профессионального роста, учитывающих социальные и духовные потребности молодёжи, позволит подготовить поколение инженеров, способных не только эксплуатировать сложнейшие технологии, но и нести ответственность за их безопасное и этичное применение. Будущее атомной энергетики – это будущее, в котором инженерная мысль неразрывно связана с нравственным выбором, а технологический прогресс опирается на прочный духовный фундамент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития атомной энергетики России до 2050 года: утв. Госкорпорацией «Росатом». – М.: Издательский дом «Граница», 2024. – 84 с.
2. Будущее атомной энергетики в контексте современных социальных изменений / Локонова Е.Л., Железнякова А.В., Рябышев М.В.. – Глобальная ядерная безопасность. – 2025. – №15 (2). – С. 107-116.
3. Алексеев П. Н., Субботин С. А. Культура безопасности и человеческий фактор в атомной энергетике: уроки прошлого и вызовы будущего // Атомная энергия. – 2023. – Т. 135, № 3. – С. 135–142.
4. Политика в области безопасности Госкорпорации «Росатом». – М.: Госкорпорация «Росатом», 2024. – 24 с.
5. Кузнецов А. В., Смирнова Е. И. Духовно-нравственные основы формирования культуры безопасности будущих инженеров атомной отрасли // Высшее образование в России. – 2024. – Т. 33, № 4. – С. 45–56.
6. К вопросу о духовной безопасности как проекте формирования культуры безопасности будущего специалиста атомной отрасли./ Локонова Е.Л., Железнякова А.В.// Безопасность ядерной энергетики : тезисы докладов XIX Между-народной научно-практической конференции, 06-07 июня 2023 г. – Москва : НИЯУ МИФИ ; Волгоград : ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2023.-С. 81-84.- ISBN 978-5-7262-2970-6
7. Нравственный аспект воспитания личности студентов высшей школы/ Локонова Е.Л., Зеленова Г.В., Евецкая С.В.// Общество. – 2024. - № 1-1 (32). – С. 79-83.
8. Системный анализ процессов управления проектной деятельностью на территории городов присутствия ГК «Росатом». / Локонова Е.Л Литвин Н.В Железнякова А.В., Зеленова Г.В. // Перспективы науки. – 2023. – №9 (168). – С. 35-39.

ЮРИДИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ КАК КОМПОНЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Макеева О.А.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
maklex2009@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются понятие и специфика юридического сопровождения деятельности предприятий атомной отрасли как компонент обеспечения культуры безопасности. Автор исследует форматы и направления юридического сопровождения, анализирует необходимые для юристов подобного профиля общие и специальные компетенции.

Ключевые слова: юридическое сопровождение, юридическая деятельность, компетенции юриста, культура безопасности.

LEGAL SUPPORT OF ACTIVITIES NUCLEAR INDUSTRY ENTERPRISES AS A COMPONENT OF ENSURING A SAFETY CULTURE

Makeeva O.A.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear
University «MEPhI», Volgogradsk, Russia
maklex2009@yandex.ru*

Abstract. The paper examines the concept and specifics of legal support for the activities of nuclear industry enterprises as a component of ensuring a safety culture. The author explores the formats and directions of legal support, analyzes the general and special competencies necessary for lawyers of this profile.

Keywords: legal support, legal activity, lawyer's competencies, safety culture.

Традиционно под юридическим сопровождением деятельности предприятия (в том числе и предприятия атомной отрасли) понимается комплекс правовых услуг, направленных на юридическую защиту предприятия и его сотрудников, на обеспечение его безопасности и полного соответствия всех производственных процессов требованиям действующего законодательства [2, 3, 4].

Такое юридическое сопровождение возможно в двух форматах:

1. В формате деятельности штатной юридической службы.
2. В формате деятельности внештатных приглашенных юристов (юридический аутсорс, юридическое абонентское обслуживание).

В первом случае мы имеем дело с полноценной юридической службой, созданной непосредственно на предприятии (это может быть юридический отдел, юридический департамент, юридическое управление и проч.). Количество специалистов этой службы зависит от сложности решаемых задач; служба подчиняется напрямую руководителю предприятия или одному из заместителей. Сотрудники службы работают на основании трудового договора (возможно также заключение с ними соглашения о неразглашении конфиденциальной информации), они подчиняются локальным актам, внутренним правилам предприятия, корпоративным требованиям, на них в полной мере распространяются требования законодательства о социальной защите работников. Плюсы такого формата сотрудничества заключаются в том, что юристы всегда на рабочем месте, в любой момент они могут подключиться к решению задачи. Минус такого формата – большие финансовые затраты на сотрудников, поскольку работодатель обязан оплачивать все социальные взносы.

Во втором случае на предприятии отсутствует полноценная юридическая служба, а юридическое сопровождение осуществляют внештатные юристы, работающие либо по модели полного сопровождения (одна приглашенная юридическая компания занимается

всеми вопросами предприятия), либо по модели частичного сопровождения (разные вопросы отдаются на обслуживание разным компаниям). При привлечении внештатных юристов отношения с ними оформляются гражданско-правовыми договорами об оказании юридических услуг; юристы не связаны с предприятием локальными актами и корпоративными правилами. Плюсы такого формата сотрудничества – менее высокие затраты предприятия в силу отсутствия необходимости обеспечивать юристам социальные гарантии. Более того, судебные расходы на такого представителя можно взыскать в проигравшего ответчика в судебном порядке (со штатными юристами это невозможно). Минус – юрист не всегда в зоне доступа, для решения задач может потребоваться больше времени на ознакомление с материалами.

Юридическое сопровождение деятельности предприятия осуществляется по двум направлениям:

1. Внутреннее – это решение юридических вопросов, связанных непосредственно с деятельностью предприятия.

2. Внешнее – решение юридических вопросов, связанных с взаимодействием предприятия с органами государственной власти и управления, органами местного самоуправления, третьими лицами.

Внутреннее направление юридического сопровождения предполагает решение юристами чрезвычайно широкого круга вопросов – это:

а) кадровое делопроизводство либо помощь сотрудникам кадровой службы (составление / визирование трудовых договоров, должностных инструкций, коллективного договора, локальных актов, участие в разрешении трудовых споров),

б) мониторинг законодательства и практики его применения,

в) консультирование руководства по юридическим вопросам, касающимся деятельности предприятия,

г) вопросы экономической и юридической безопасности (проверка потенциальных контрагентов для отсеечения недобросовестных субъектов от дальнейшего сотрудничества),

д) корпоративное делопроизводство (разработка документов предприятия, внесение изменений в уставные документы и проч.),

е) договорная работа (разработка типовых форм договоров, актуализация разработанных ранее форм, визирование договоров при составлении их другими подразделениями (например, контрактной службой), ведение реестра договоров,

ж) участие в переговорах, помощь руководству в разрешении преддоговорных споров,

з) претензионная работа (урегулирование споров в досудебном порядке, составление претензий, ведение реестра претензий),

и) судебная работа (представление интересов предприятия в судах общей юрисдикции и арбитражных судах всех инстанций, ведение реестра судебных дел),

к) работа по обеспечению исполнения вступивших в силу судебных решений.

Внешнее направление юридического сопровождения также достаточно обширно:

а) взаимодействие с органами государственной власти и управления по вопросам деятельности предприятия (Федеральная налоговая служба, Федеральная служба судебных приставов, Ростехнадзор, прокуратура),

б) взаимодействие с органами государственной власти и местного самоуправления по иным вопросам (участие в социально-значимых проектах, представительство в инвестиционных и иных аналогичных организациях и проч.).

Особого внимания заслуживают компетенции юриста, работающего в сфере сопровождения деятельности предприятия атомной отрасли:

1. Общие компетенции – без обладания ими в принципе невозможна успешная юридическая деятельность.

2. Специальные компетенции – обладание ими необходимо именно для юриста, работающего с предприятием атомной отрасли.

К общим компетенциям юриста мы можем отнести:

– базовое юридическое образование,

– направления профессиональной подготовки – гражданское, предпринимательское, трудовое, налоговое, земельное, административное право, гражданский, арбитражный, административный процессы,

– знание ПК,

– знание основ делопроизводства, документооборота,

– навыки деловой коммуникации,

– знание электронных сервисов и умение их использовать (справочно–поисковые системы, платформы pravo.gov.ru, kad.arbitr.ru, sudrf.ru, mos-sud.ru, fssp.gov.ru).

К специальным компетенциям мы относим:

– знание международных актов (Конвенция МАГАТЭ о ядерной безопасности, 1994, проч.),

– знание актов специального законодательства (Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии», Федеральный закон от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе», Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения», Постановление Правительства РФ от 29.03.2013 № 280 «О лицензировании деятельности в области использования атомной энергии»),

– английский язык,

– навыки взаимодействия с органами государственной власти и местного самоуправления,

– общее представление о технической терминологии и технических процессах,

– опыт работы в сфере применения Федеральных законов от 05.04.2013 № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд», от 18.07.2011 № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц», Единого отраслевого стандарта закупок (ЕОСЗ Росатом, [1]),

– навыки работы на платформе torgi.gov.ru,

– навыки работы с корпоративной ИТ-экосистемой Госкорпорации «Росатом».

Подбор персонала на предприятиях атомной отрасли осуществляется посредством использования различных сервисов:

– Единый карьерный портал Госкорпорации «Росатом» (<https://rosatom-career.ru/>),

– платформа Finder (<https://finder.work/>),

– платформа HeadHunter (<https://hh.ru/>).

Количество предлагаемых юридических вакансий невелико, что свидетельствует о занятости данной профессиональной ниши.

Подводя итог, отметим, что надлежащее юридическое сопровождение деятельности предприятий атомной отрасли является важнейшим компонентом обеспечения культуры безопасности и способствует полноценной и безопасной работе этих предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единый отраслевой Стандарт закупок Государственной корпорации по атомной энергии Росатом (утв. решением наблюдательного совета Госкорпорации Росатом от 07.02.2012 № 37) (ред. от 31.10.2025). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_199057 (дата обращения: 18.05.2026).
2. Егорова, Ю. И. Специфика юридического сопровождения корпоративных процедур / Ю. И. Егорова // Юридический факт. – 2022. – № 181. – С. 27-32.
3. Тен, Ю. Ф. Понятие и правовая природа юридического сопровождения деятельности организации / Ю.Ф. Тен // Молодой ученый. – 2024. – № 5 (504). – С. 337-340. – URL: <https://moluch.ru/archive/504/110942> (дата обращения: 18.05.2026).
4. Юридическое сопровождение предпринимательской деятельности : учебник и практикум для вузов / под редакцией Г. Ф. Ручкиной. – Москва: Юрайт, 2023. – 270 с. // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/531045> (дата обращения: 18.05.2026).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТАМИ ГК «РОСАТОМ» КАК ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ РАЗВИТИЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ АО «АТМ»

Давыдов Е.С., Попова Т.С., Рябышев М.В.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
davidov_egor00@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается проблема повышенного риска безопасности труда при проведении гидравлических испытаний для работников АО «АТМ». Предложено внедрение цифрового решения для данного процесса с целью повышения уровня промышленной безопасности на предприятии. Рассчитаны социальные и экономические эффекты от внедрения данного мероприятия.

Ключевые слова: гидравлические испытания; операторы стенов гидравлических испытаний; АО «АТМ»; промышленная безопасность; система мониторинга показателей оборудования; цифровизация производственных процессов.

IMPROVEMENT OF HYDRAULIC TESTING PROCESSES IN ACCORDANCE WITH THE ROSATOM GROUP STANDARDS AS ONE OF THE FACTORS IN THE DEVELOPMENT OF SAFETY CULTURE AT JSC ATM

Davydov E.S., Popova T.S., Ryabyshev M.V.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”
Volgodonsk, Russia
davidov_egor00@mail.ru*

Abstract. The paper discusses the problem of increased occupational safety risks during hydraulic testing for employees of JSC ATM. A digital solution is proposed for this process in order to improve industrial safety at the enterprise. The social and economic benefits of implementing this solution are calculated.

Keywords: hydraulic testing; hydraulic testing stand operators; JSC ATM; industrial safety; equipment monitoring system; digitalization of production processes.

На любом машиностроительном заводе качество продукции проверяют многократно и на постоянной основе. Это не разовая акция, это целая система. Проверки идут на всех этапах – от того, как пришёл металл, до того, как готовое изделие положили на склад готовой продукции. Все требования к качественным характеристикам производимой продукции прописаны в соответствующих документах. Есть ГОСТы, технологические карты, инструкции. Есть и федеральные законы, отступать от требований которых нельзя, особенно в столь критически важной отрасли как атомной машиностроение. Каждый вид контроля чётко регламентирован.

Контроль бывает двух основных типов. Первый – разрушающий – образец ломают или режут, чтобы проверить его настоящую прочность. Второй контроль – неразрушающий. Изделие не портят, проверяя его свойства без повреждений структуры. Так можно оценить надёжность, не повреждая деталь.

Гидравлические испытания – это один из видов неразрушающего метода контроля. Их применяют для тех изделий, которые при последующем промышленном использовании будут работать под большим давлением. Например, трубы, сосуды, арматура.

Суть гидравлических испытаний простая. Изделие заполняют водой и создают рабочее давление. Причём давление делают выше, чем в реальной среде (обычно в два раза выше). Это делается для того, чтобы проверить запас прочности. Если деталь выдержит такое испытание – значит, в штатной ситуации она точно не лопнет.

Такие испытания проводят для каждого изделия отдельно. Все параметры берут из маршрутной карты и технологической инструкции, в которых указано, какое давление,

сколько времени держать при проверке, какая температура должна быть при этом соблюдена.

При гидравлических испытаниях смотрят на сварные швы. Проверяют герметичность, оценивают, нет ли деформаций. Если по результатам такого неразрушающего контроля всё в порядке – изделие допускают к работе.

Сам процесс гидроиспытаний, не смотря на кажущуюся простоту, долгий и многоступенчатый. И он не ограничивается только нажатием кнопки на стенде гидроиспытаний. Сначала оператор должен проверить сам стенд. Убедиться, что оборудование исправно. Потом он собирает бумаги, берёт задание на испытание, сопроводительно-путевую карту (СПК), бланк протокола и технологическую инструкцию.

Второй этап – подготовка изделия. Оператор сверяет заводской номер на детали с номером в документах, закрепляет оснастку. Для разных изделий нужна разная оснастка. Крайне важно при этом правильно уложить деталь, таким образом, чтобы весь воздух вышел. Подсоединить рукава высокого давления, набрать воду. Требования промышленной безопасности предусматривают обязательство ограждать зону испытаний – чтобы никто посторонний в нее не заходил.

Третий этап – это само гидравлическое испытание. Всё должно проводиться строго по инструкции, давление важно держать прописанное в документах время. Если надо – нагревают изделие до заданной температуры. На этом этапе оператор постоянно следит за показателями стенда гидроиспытаний.

Четвёртый этап – приёмка. На данном этапе присутствует инженер и представитель уполномоченной организации, а также заказчик. Они проверяют результаты, смотрят протокол. Если всё хорошо – закрывают контрольную точку в СПК, подписывают бумаги.

Основная проблема при описанном (ныне существующем) методе гидроиспытаний люди всё время находятся рядом с проверяемым изделием. А это немалый риск.

На заводе АО «АТМ» очень серьёзно относятся к соблюдению принципов культуры безопасности. Это часть культурного кода «Росатома». На предприятии есть специальные сотрудники, отвечающие за соблюдение промышленной безопасности, работает отдел охраны труда. Но даже при всех этих мерах риск при проведении гидроиспытаний остаётся, и целесообразно искать новые решения, продиктованные возможностями «диджиталсреды».

Мы предлагаем внедрить систему мониторинга показателей оборудования (СМПО). Данная система представляет собой комплекс цифровых датчиков давления, температуры. Помимо этого СМПО включает контроллер, который собирает данные с датчиков, программное обеспечение, которое отображает эти данные на экране, цифровой пульт для оператора, модуль, который автоматически выгружает протоколы в общую систему контроля.

Внедрение предлагаемой СМПО предполагается на основе соблюдения принципов производственной системы «Росатом» (ПСР). Она, являясь элементом «умного» производства, помогает убирать потери, стандартизировать работу. Если раньше оператор всё записывал вручную и лично следил за проводимыми гидроиспытаниями, то теперь контроль будет непрерывным и автоматическим.

На рисунке 1 схематически представлен ход гидравлических испытаний с использованием СМПО.

Датчики ставят на входе и выходе рукава высокого давления, они на постоянной основе измеряют давление и температуру в реальном времени. Если давление вдруг упало – значит, где-то течь, если резко подскочило – могла произойти закупорка. Программа сама сравнивает фактические значения с нормой. Если эти значения выходят за допустимые пределы, система подаёт сигнал оператору, который видит предупреждение на экране стенда. В том случае, если ситуация аварийная – система самостоятельно перекрывает подачу давления без участия человека, что резко повышает уровень промышленной безопасности.

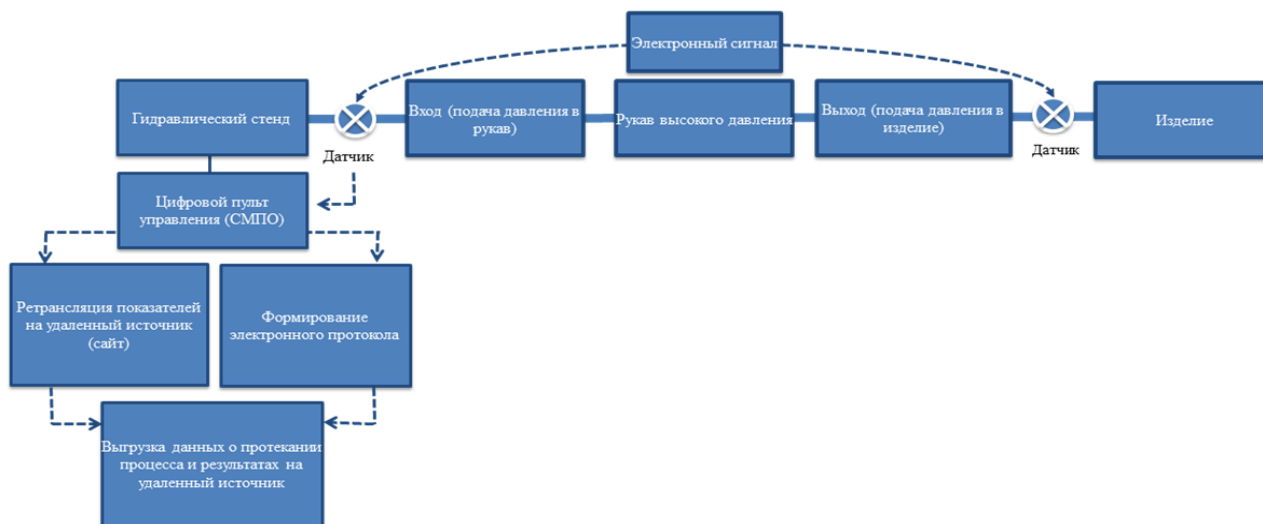


Рисунок 1 – Принцип работы СМПО

Все показатели транслируются на пульт оператора, который в случае внедрения СМПО может управлять процессом из отдельной комнаты, не находясь в непосредственной близости с проверяемым изделием. Это главное принципиальное отличие от традиционной схемы гидроиспытаний.

После окончания испытаний система автоматически формирует электронный протокол, в котором есть дата и время начала и конца контроля, зафиксированы все значения давления и температуры, время и причины отклонений, отражены все операции, которые проводил оператор или автоматика. Протокол подписывается электронной цифровой подписью и выгружается на сервер предприятия и в облачное хранилище «Росатома». Туда могут зайти проверяющие и увидеть результаты гидроиспытаний дистанционно.

От внедрения СМПО ожидается много плюсов. Во-первых, снизится трудоёмкость гидроиспытаний, потому как операторам теперь не надо будет вручную записывать показания. Во-вторых, результаты станут точнее – машина не ошибается. Кроме того, ускорятся и сами испытания. Стенды смогут обслуживать большее число изделий за то же время. Меньше времени будет уходить на подготовку и оформление бумаг, снизится количество «переделок» – потому что ошибок станет меньше. Сопроводительная документация будет готова сразу по завершении испытаний. За счёт экономии времени сокращается и фонд оплаты труда. Меньше финансовых трат на повторные испытания. Всё это в совокупности даёт снижение себестоимости продукции

Подводя итог, отметим, что в том случае, если такую систему мониторинга показателей внедрить на всех тех предприятиях «Росатома», где есть процедура гидроиспытаний, то вырастет «совокупная» безопасность. Корпоративная синергия предполагает, что все смогут пользоваться одинаковыми цифровыми решениями в производственных условиях. Цифровые инструменты делают отрасль более конкурентоспособной. Предприятия перестают зависеть от старых (хоть и проверенных, но устаревших) ручных методов контроля. Все компоненты системы – российского производства, что снижает зависимость от зарубежных поставок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов, Е. С. Развитие культуры безопасности АО «АТМ»: совершенствование процессов гидравлических испытаний в соответствии со стандартами ГК «Росатом» / Е. С. Давыдов, Т. С. Попова, М. В. Рябышев // Студенческая научная весна - 2026 : Сборник тезисов Всероссийской научно-практической молодежной конференции, Волгодонск, 30 марта – 03 2026 года. – Волгодонск: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2026. – С. 218-220.
2. Кононенко, В. А. Плюсы и минусы цифровой трансформации отраслей и видов деятельности (на примере ГК «Росатом») / В. А. Кононенко // Проблемы развития современного общества : Сборник научных статей 9-й Всероссийской национальной научно-практической конференции. В 3-х томах, Курск, 23–24 января 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 274-277

ВОПРОСЫ УЧАСТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ КИТАЯ)

Гаспарян А.В.¹, У Яньхуа²

¹Государственный университет управления, г. Москва, Россия

²Ростовский государственный экономический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

¹a8f8@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается вопрос участия промышленных предприятий в активизации устойчивого развития региональной экономики. Предложено дополнение существующих индикаторов оценки вовлеченности предприятий в устойчивое развитие по направлениям социальной, экологической сферы и цифровых преобразований. Приведено разделение регионов (провинций) на типы по следованию устойчивому развитию с учетом активности промышленных предприятий, локализованных на территории.

Ключевые слова: индикаторы, промышленное предприятие, регион, устойчивое развитие, участие.

ISSUES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES' PARTICIPATION IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE TERRITORY (CASE STUDY OF CHINA)

Gasparyan A.V.¹, U Yanhua²

¹State University of Management, Moscow, Russia

²Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don, Russia

¹a8f8@yandex.ru

Abstract. The paper discusses the participation of industrial enterprises in the activation of sustainable development of the regional economy. It proposes the addition of existing indicators for assessing the involvement of enterprises in sustainable development in the areas of social, environmental, and digital transformations. The paper also divides regions (provinces) into types based on their commitment to sustainable development, taking into account the activities of industrial enterprises located in the region.

Keywords: indicators, industrial enterprise, region, sustainable development, participation.

Роль предприятий, локализованных в регионе (включая такие энергетического сектора), имеет весомое значение в рамках устойчивого развития территории. Как правило, руководство предприятий при переходе к зеленой и низкоуглеродной модели развития формулируют ориентацию на построение имиджа ответственного производителя и совместное развитие цепочек поставок, что соответствует интересам региональной экономики, ее делового сообщества, университетов, научных и общественных организаций, местного населения и т.д. Важным представляется то, что промышленные предприятия, при консолидации усилий с другими стейкхолдерами территориального развития, выступают флагманами в устойчивом развитии региона и формировании соответствующего имиджа для территориального образования.

Китай, в целом, является последовательным сторонником и активным участником Повестки дня Организации Объединенных Наций на 2030 год в области устойчивого развития (ЦУР). В процессе реализации 17 целей устойчивого развития ООН Китай достиг значительных результатов. В большинстве провинций страны эволюционирует промышленное производство, и она сталкивается с определенными трудностями в области инновационного развития, зеленой трансформации и роста качества жизни населения. В данном контексте проявляется актуальная потребность в развитии открытой экономики, низкоуглеродной трансформации предприятий и эффективности совместного управления регионом в рамках траектории устойчивого роста на основе активности игроков – промышленных предприятий.

В настоящее время для провинций Китая приняты следующие основные системы индикаторов устойчивого развития, как [1, 2]:

- охватывающие экономическое направление (инновационное стимулирование (объем инвестиций в исследования и разработки, результаты инновационной деятельности, коммерциализация научно-технических достижений); оптимизация структуры (модернизация промышленности, стратегически новые отрасли экономики, цифровая экономика); повышение эффективности (энергопотребление на единицу ВВП, водопотребление на единицу ВВП, эффективность использования ресурсов); открытость и сотрудничество (качество внешней торговли, привлечение иностранных инвестиций, межрегиональное сотрудничество));

- характеризующие социальное благосостояние (обеспечение социального благосостояния (занятость населения, доходы, социальное обеспечение, унификация уровня предоставления государственных и муниципальных услуг); здоровье и сбережение (медицинское обслуживание, средняя ожидаемая продолжительность жизни, безопасность общественного здоровья); доступность образования (широкое распространение образования, качество образования, сбалансированное развитие городского и сельского образования); интеграция города и села (качество урбанизации, возрождение села, сокращение разрыва между городом и селом));

- характеризующее экологическую обстановку (рациональное использование ресурсов (структура энергопотребления, водные ресурсы, земельные ресурсы, кругооборот ресурсов); качество окружающей среды (борьба с загрязнением атмосферы, водных объектов и почв, предотвращение экологических рисков); охрана экосистем (экологические красные линии, леса/болота/биологическое разнообразие, восстановление экосистем); переход к низкоуглеродной экономике (интенсивность выбросов углекислого газа, углеродный поглотитель, зеленые и низкоуглеродные технологии, адаптация к изменению климата));

- характеризующее качество управления (эффективность управления (государственное управление, инвестиционно-бизнесовая среда, строительство правового государства, цифровое управление); предотвращение рисков (экологическая безопасность, продовольственная безопасность, энергетическая безопасность, общественная безопасность);

- партнерское совместное управление (корпоративная социальная ответственность, участие населения, социальные организации, международное сотрудничество)).

В приведенных выше направлениях большое значение имеет активность промышленных предприятий, работающих и вносящих свой вклад в устойчивое развитие региона. Предприятия являются участниками реализации государственной политической поддержки устойчивого развития на региональном уровне; они включаются в процессы низкоуглеродной трансформации, чистого производства. Это предполагает соответствующее обучение персонала, сотрудничество с вузами и другими предприятиями региона.

Считаем, что для измерения вклада промышленных предприятий в устойчивое региональное развитие в провинциях Китая целесообразно дополнительно учитывать следующие индикаторы, такие как:

- индикаторы зеленой экономики по всему жизненному циклу функционирования предприятия следует дополнить показателями уровня переработки промышленных отходов, доли использования зеленой электроэнергии, отслеживания углеродного следа и формирования городов с нулевым уровнем отходов;

- индикаторы социального участия: дополнить показателями степени участия населения (сотрудников предприятий и членов их семей) в экологических мероприятиях, уровня выполнения требований по сортировке мусора, нормативной доли переработки промышленных отходов и активности устойчивого поведения сообществ;

- индикаторы цифровой экономики: дополнить показателями уровня проникновения промышленного интернета вещей, степени обмена данными и эффективности цифрового контроля и надзора.

Во многом на основе вовлеченности промышленных предприятий в вопросы устойчивого развития и консолидацию их усилий с другими стейкхолдерами регионального развития, регион может быть отнесен к лидирующему типу, перспективному, устойчивому, догоняющему и развивающемуся, как продемонстрировано в таблице 1.

Таблица 1 – Дифференциация типов регионов по характеру устойчивого развития с учетом вклада промышленных предприятий (приведено в использование материалов источника [3])

Тип региона	Характеристика (с учетом позиции промышленных предприятий)
Лидерский тип	Экология, социальная сфера и управление находятся на высоком уровне, сформирован соответствующий бренд, основывающийся о многом на ответственной роли промышленных предприятий, вносящих свой вклад в устойчивое развитие территории.
Перспективный тип	Ярко выражены преимущества в социальном развитии и промышленном брендинге, однако экологическая обстановка и уровень управления несколько отстают, требуется устранение узких мест; целесообразно усиление взаимодействия промышленных предприятий в регионе с другими стейкхолдерами.
Устойчивый тип	Высокое качество экологической среды, управление интегрировано на зеленые решения, но участие промышленных игроков в решении социальных задач не достаточное, что демонстрирует уклон в экологические вопросы и подчеркивает запрос на участие в социальных проблемах.
Догоняющий тип	Региона демонстрирует большой потенциал для развития, но требуется всестороннее повышение эффективности управления со стороны власти и включенность промышленных предприятий в устойчивые преобразования.
Развивающийся тип	Проявляется запрос на экологическое преобразование, присутствуют слабые социальные и управленческие возможности, требуется целенаправленное осуществление зеленой трансформации в управленческом плане со стороны руководства и внедрение таких практик со стороны промышленных предприятий.

Вышеприведенное позволяет заключить, что определяющую роль в устойчивом региональном развитии провинций Китая играет руководство региона, выстраивающее взаимодействие с промышленными предприятиями, полноценно включенными в вопросы экологических и социальных преобразований. Именно от позиции промышленных предприятий и их взаимоотношений с другими участниками регионального развития зависит построение и эффективное следование траектории устойчивого развития региональной экономики. Это предопределяет расширение индикаторов оценки включенности промышленных предприятий в указанный пул вопросов по направлениям экологических и социальных преобразований своей работы и качества процессов в регионе, а также уровня внедренности передовых цифровых технологий, повышающих качество аналитических процедур, мониторинга и управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Го Линъюй. Экономическая оценка устойчивого развития промышленных кластеров Китая // Вестник Забайкальского государственного университета. 2025. Т. 31, № 1. С. 72-85 . DOI: 10.21209/2227-9245-2025-31-1-72-85.
2. Субханкулова К. М., Воронина Е. В. Роль кластеров в реализации устойчивого развития экономики: обзорный анализ на примере ЕС // Human Progress. 2021. Т. 7, № 2. С. 1-31.
3. Ховавко Ирина Юрьевна, Чжоу Цайцюань Ранжирование территорий по уровню устойчивого развития с использованием кластерного анализа (на примере провинций Китая) // Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. 2025. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ranzhirovanie-territoriy-po-urovnyu-ustoychivogo-razvitiya-s-ispolzovaniem-klasterного-анализа-na-primere-provintsiy-kitaya> (дата обращения: 24.04.2026).

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Зиятдинова В.В.

*Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,*

г. Димитровград, Россия

VVZiyatdinova@mephi.ru

Аннотация. В работе рассматриваются теоретические и практические аспекты обеспечения кадровой безопасности на предприятиях ядерной энергетики как ключевого элемента общей системы ядерной и радиационной безопасности; проанализирована специфика кадровых рисков в атомной отрасли, включая уязвимость персонала перед внешними угрозами, профессиональное выгорание и текучесть уникальных специалистов; рассмотрены контекстный подход к повышению квалификации, прогностические методы управления кадровой стабильностью на основе мультифакторного анализа рисков.

Ключевые слова: кадровая безопасность, ядерная энергетика, культура безопасности, управление персоналом, текучесть кадров, психологическая устойчивость, прогнозирование рисков, атомная отрасль.

ENSURING HUMAN RESOURCES SAFETY AT A NUCLEAR POWER PLANT STORAGE

Ziyatdinova V.V.

*Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Dimitrovgrad, Russia*

VVZiyatdinova@mephi.ru

Abstract. The paper examines the theoretical and practical aspects of ensuring personnel security at nuclear power plants as a key element of the overall nuclear and radiation safety system. It analyzes the specific features of personnel risks in the nuclear industry, including the vulnerability of personnel to external threats, professional burnout, and the turnover of unique specialists. The paper also discusses a contextual approach to professional development and predictive methods for managing personnel stability based on multifactorial risk analysis.

Keywords: personnel security, nuclear energy, safety culture, personnel management, staff turnover, psychological stability, risk forecasting, and the nuclear industry.

Ядерная энергетика относится к числу отраслей, где цена человеческой ошибки измеряется не экономическими потерями, а потенциальным ущербом для жизни и здоровья населения, состояния окружающей среды и национальной безопасности в целом. Уроки Чернобыля и Фукусимы убедительно демонстрируют, что техническое совершенство ядерных установок не гарантирует безопасности без адекватной подготовки, мотивации и психологической устойчивости персонала. Кадровая безопасность приобретает статус системообразующего фактора, интегрирующего технологические, организационные и человеческие аспекты функционирования объектов использования атомной энергии.

Специфика кадровой безопасности в атомной отрасли определяется рядом уникальных характеристик: высокой сложностью и потенциальной опасностью технологических процессов, жесткой регламентацией всех видов деятельности, многоуровневой системой допусков и разрешений, длительным циклом подготовки квалифицированных специалистов, а также особым режимом информационной и физической защиты. В совокупности эти факторы формируют беспрецедентно высокие требования к надежности персонала, его профессиональной компетентности и психологической устойчивости.

Цель исследования - систематизировать современные подходы к обеспечению кадровой безопасности на предприятиях ядерной энергетики и предложить концептуальную модель

управления кадровыми рисками, учитывающую как традиционные отраслевые практики, так и новые вызовы цифровой эпохи.

Кадровая безопасность всегда непосредственно и напрямую связана с надежностью и профессиональностью персонала организации, защищающих интересы своей компании [1]. Применительно к ядерной отрасли данное понятие приобретает расширительное толкование и включает комплекс мер, направленных на предотвращение несанкционированных действий персонала, обеспечение профессиональной надежности работников, сохранение и развитие ключевых компетенций, а также защиту сотрудников от внешних дестабилизирующих воздействий.

Международные стандарты, в частности документы МАГАТЭ и национальные нормативные акты стран, эксплуатирующих АЭС, закрепляют принцип приоритета безопасности над производственными задачами. Реализация этого принципа невозможна без соответствующего кадрового обеспечения – персонал должен обладать надлежащей квалификацией, четко понимать зоны своей ответственности и демонстрировать приверженность установленным процедурам. Кадровая безопасность в ядерной энергетике не сводится исключительно к проверке благонадежности и контролю доступа. Это комплексная система, охватывающая весь жизненный цикл взаимодействия работника с организацией: от первичного отбора и допуска к работам до непрерывного профессионального развития, ротации и, в конечном счете, корректного выхода из кадрового состава с сохранением режима конфиденциальности.

Первым рубежом обеспечения кадровой безопасности выступает система профессионального отбора и допуска персонала к работам в области использования атомной энергии. Как показывает практика надзорных органов, ключевыми объектами контроля на данном этапе являются: наличие и качество процедур разработки программ подготовки и аттестации персонала; соответствие должностных инструкций требованиям к объему знаний и навыков оперативного персонала; укомплектованность штата и наличие допущенных к самостоятельной работе специалистов на местах.

Особенностью атомной отрасли является многоступенчатая система проверки кандидатов, включающая не только оценку профессиональных компетенций, но и углубленное изучение биографических данных, психологическое тестирование, проверку на предмет связей с организациями, представляющими угрозу безопасности.

Сложность и наукоемкость ядерных технологий обуславливают необходимость непрерывного профессионального развития персонала на протяжении всей карьеры.

Особого внимания заслуживает контекстный подход к повышению квалификации, предполагающий максимальное приближение учебных ситуаций к реальным производственным задачам [2]. Исследования показывают, что данный подход способствует формированию культуры безопасности как ключевой составляющей общей профессиональной культуры работника атомной отрасли. Принципы, образующие основу формирования культуры безопасности при контекстном обучении, включают: приоритетность безопасности перед производственными показателями, соответствие нормативным требованиям, системность и комплексность подготовки, синергичность взаимодействия образовательного и производственного компонентов, готовность к работе в условиях повышенной опасности и непрерывное обновление знаний.

Культура безопасности признается международным сообществом фундаментальным принципом обеспечения ядерной безопасности. Формирование культуры безопасности – длительный и многоаспектный процесс, требующий вовлечения всех уровней управления.

Высшее руководство, играющее важную роль в формировании культуры безопасности, должно демонстрировать приверженность ядерной безопасности через постоянное внимание к процессам, имеющим последствия для безопасности. Управленческий персонал обеспечивает, чтобы сотрудники осваивали и соблюдали установленные принципы и практики, мотивируя их собственным отношением и личным примером.

Современная геополитическая ситуация актуализирует проблему защиты персонала ядерных объектов от информационно-психологического воздействия. Подобное давление

создает дискомфорт, дестабилизирует психологическое состояние работников и, как следствие, повышает риски неправильных решений и ошибок.

Для противодействия данным угрозам необходим комплексный подход, включающий: мониторинг информационного пространства на предмет утечек персональных данных сотрудников; психологическую поддержку персонала, подвергающегося давлению; правовую защиту работников; разъяснительную работу о методах информационной гигиены и противодействия манипуляциям. Особое значение приобретает формирование у персонала устойчивости к стрессовым воздействиям и навыков эмоциональной саморегуляции.

Текущая квалификация кадров представляет собой один из наиболее серьезных вызовов кадровой безопасности атомной отрасли. Потеря сотрудников, обладающих уникальными компетенциями, опытом и допусками, ведет к эрозии корпоративных знаний, снижению уровня безопасности и росту операционных издержек. Как показывают исследования, для предприятий атомной отрасли характерны специфические факторы риска текучести: ясность карьерной траектории, участие в инновационных проектах и работа в условиях режимности.

Перспективным направлением является внедрение мультифакторных моделей прогнозирования индивидуального риска добровольной текучести персонала[3]. Методология, основанная на логистической регрессии, позволяет сегментировать сотрудников по группам риска и разрабатывать целевые мероприятия для каждой категории. Исследования показывают, что организационно-психологические и карьерные факторы часто имеют приоритет над финансовыми стимулами: снижение ясности карьерной траектории и отсутствие участия в инновационных проектах существенно увеличивают риск увольнения.

Таким образом, обеспечение кадровой безопасности на предприятиях ядерной энергетики представляет собой комплексную задачу, требующую системного подхода и координации усилий различных служб - от управления персоналом до физической защиты. Эффективная система кадровой безопасности должна охватывать все этапы взаимодействия работника с организацией и опираться на три базовых элемента: профессиональную компетентность, психологическую устойчивость и лояльность корпоративным ценностям безопасности.

Приоритетными направлениями совершенствования кадровой безопасности в атомной отрасли являются: внедрение прогностических методов управления кадровыми рисками на основе анализа больших данных; развитие систем непрерывного поддержания квалификации с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности; усиление психологического сопровождения персонала с учетом новых информационных угроз; формирование целостной культуры безопасности, пронизывающей все уровни организационной иерархии. В условиях нарастающей конкуренции за высококвалифицированные кадры и усложнения геополитической обстановки способность атомных предприятий обеспечить надежную кадровую безопасность становится не просто конкурентным преимуществом, но и необходимым условием самого существования ядерной энергетики как стратегической отрасли Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнездова, Ю.В. Кадровая безопасность в системе безопасности предприятия /Ю.В. Гнездова // Экономика и предпринимательство – 2020 – № 7(120). С. 1285-1287. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43078972> (дата обращения: 07.04.2026).
2. Нерадовская, О.Р., Медведева, М.К., Стародубцев, В.А., Скрипко, З.А. Контекстный подход в повышении квалификации для формирования культуры безопасности кадров области атомной энергетики / О.Р. Нерадовская // Научное обеспечение системы повышения квалификации кадров – 2024. –№ 4(61). С. 24-36. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=76510307> (дата обращения: 08.04.2026).
3. Ляшенко, В.Е. Мультифакторная модель прогнозирования и управления рисками текучести персонала на предприятиях атомной отрасли / В.Е. Ляшенко // Финансы и управление – 2025 – № 4. С. 1-11. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=88758894> (дата обращения: 08.04.2026).

РОЛЬ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ В СТРУКТУРЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Зеленова Г.В., Евецкая С.В.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
GVZelenova@mephi.ru*

Аннотация. В статье рассматривается трансформация педагогического знания в контексте задач, стоящими перед отраслевыми вузами. На основе анализа научных работ отечественных ученых выделены ключевые направления развития педагогической теории применительно к ядерному образованию: компетентностный подход, практико-ориентированный обучение, формирование культуры безопасности, непрерывное профессиональное образование. Обосновывается вывод о том, что педагогическое знание играет важную роль в формировании профессиональных компетенций, ценностно – смыслового отношения к безопасности как базовой профессиональной ценности.

Ключевые слова: педагогическое знание, атомная отрасль, подготовка специалиста, компетентностный подход, практико-ориентированный обучение, формирование культуры безопасности, непрерывное профессиональное образование.

THE ROLE OF PEDAGOGICAL KNOWLEDGE IN THE STRUCTURE OF TRAINING SPECIALISTS FOR THE NUCLEAR INDUSTRY

Zelenova G.V., Evetskaya S.V.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”
GVZelenova@mephi.ru*

Abstract. This article examines the transformation of pedagogical knowledge in the context of the challenges facing nuclear universities. Based on an analysis of the scientific works of Russian scholars, key areas of development in pedagogical theory applicable to nuclear education are identified: a competency-based approach, practice-oriented learning, fostering a safety culture, and continuous professional education. The conclusion is that pedagogical knowledge plays an important role in developing professional competencies and a value-based approach to safety as a fundamental professional value.

Keywords: pedagogical knowledge, nuclear industry, specialist training, competency-based approach, practice-oriented training, development of safety culture, continuous professional education.

Атомная отрасль в Российской Федерации переживает масштабную технологическую модернизацию. Как отмечается в программных документах, прогнозные оценки потребности в специалистах для атомной отрасли свидетельствуют о необходимости ежегодной подготовки от 3500 до 3900 человек. В этих условиях система высшего образования сталкивается с качественно новыми вызовами к подготовке кадров.

Особую значимость приобретает педагогическое знание – область научного и методического опыта, которая позволяет формировать у будущих специалистов целостное профессиональное мировоззрение, культуру безопасности, способность к непрерывному саморазвитию, а не просто транслировать содержание специальных дисциплин.

Актуальность темы определяется рядом взаимосвязанных факторов.

Во-первых, атомная отрасль относится к числу высокорисковых производств, где цена ошибки специалиста может измеряться безопасностью населения и целостностью окружающей среды. Это предъявляет особые требования не только к технической компетентности, но и к личностным качествам работника – ответственности, дисциплинированности, способности принимать решения в нестандартных ситуациях. Формирование этих качеств является прямой педагогической задачей.

Во-вторых, отечественные исследователи отмечают устойчивый разрыв между теоретической подготовкой выпускников технических вузов и реальными требованиями высокотехнологичных производств. По данным, приведенным в работах А.В. Солнцева, И.В.

Гребнева и Д.Е. Любашевского, при высоком уровне теоретической подготовки выпускники демонстрируют недостаток практических навыков и «мягких компетенций» [1]. Этот разрыв имеет не только технологическое, но и педагогическое измерение.

В – третьих, атомная отрасль характеризуется высокой динамикой технологического обновления, что требует от специалиста готовности к обучению на протяжении всей профессиональной жизни. Как подчеркивают О.Р. Нерадовская и М.К. Медведева, «непрерывная подготовка компетентного персонала, отвечающего современным требованиям по уровню полученных знаний и практических навыков, является одной из наиболее актуальных проблем развития ядерно-энергетического сектора России» [2].

Отсюда следует, что основная проблема в противоречии между объективной потребностью атомной отрасли в специалистах, обладающих не только техническими, но и развитыми личностными, коммуникативными и рефлексивными компетенциями и ориентация технических вузов преимущественно на передачу предметных знаний. Противоречие усугубляется еще и недостаточной разработанностью педагогических моделей и методик, которые позволили бы интегрировать формирование профессиональных и личностных компетенций в образовательном процессе. Как отмечают Н.П. Дронищев и Н.А. Носырев, «некоторые компетенции в определенных не технических областях, совершенно необходимые современному инженеру, такие как коммуникабельность, знание законов функционирования экономики, лидерство, работа в команде, психология делового общения.... практически не рассматриваются в рамках российского технического образования» [3].

Анализ научной литературы показывает, что компетентностный подход является преобладающим при обсуждении проблем подготовки кадров для атомной отрасли. В работах Н.П. Дронищев и Н.А. Носырева обосновывается, что категории «компетентности» и «компетенции» стали центральными понятиями при подготовке специалистов в высшей школе. Авторы вводят понятие «ядерная компетентность», рассматриваемое как ключевой организационный ресурс. Особый интерес представляет экспликация концепции «нового инженера», которая сегодня дополняется требованиями к умению работать в команде, знанию иностранных языков, пониманию особенностей различных национальных культур (в контексте международного сотрудничества Росатома), навыкам эффективной коммуникации [3].

Педагогическое знание, таким образом, призвано обеспечить формирование именно этой группы «надпрофессиональных» компетенций, которые не сводятся к содержанию специальных дисциплин.

Для оптимизации подготовки специалистов важно создавать педагогические условия необходимые для формирования готовности студентов выполнять разные виды профессиональной деятельности на предприятиях атомной энергетики. К таким условиям следует отнести:

- мотивационные, которые предполагают обучение студентов с учетом их индивидуальных склонностей к разным видам профессиональной деятельности;
- технологические, включающие использование лабораторно-исследовательского, учебно-исследовательского, специализированного оборудования и программного обеспечения;
- содержательные условия, включающие разработку и внедрение рабочих программ и методических средств, способствующих формированию компетенций.

Особую роль следует отвести культуре безопасности в системе педагогического знания. В нормативных документах АО «Концерн Росэнергоатом» подчеркивается, что курс «Культура безопасности» является обязательным для включения в учебные планы, а вопросы культуры безопасности обязательно включаются в программы поддержания и повышения квалификации [4]. Педагогическое знание здесь выступает как инструмент формирования не просто набора правил, а системы ценностных ориентаций, в которой безопасность становится внутренней потребностью специалиста, а не внешним требованием.

Как отмечается в исследованиях, игнорирование педагогических аспектов подготовки ведет к технократическому перекоосу, когда инженер блестяще рассчитывает цепную реакцию, но пренебрегает регламентом обслуживания, создавая тем самым катастрофический риск.

Рассматривая структуру подготовки специалиста для атомной отрасли, следует выделить несколько аспектов: фундаментальную инженерную и естественнонаучную подготовку, практико-ориентированную подготовку. Необходимо включить психолога – педагогическую подготовку, не как отдельно взятую дисциплину или факультативное занятие (такое встречается в учебных планах), а сквозной модуль, встроенный вертикально в каждую составляющую и выполняющий разные функции – формирование навыков обучения других, безопасного поведения и саморефлексии.

Таким образом, педагогическое знание в атомной отрасли уверенно приобретает значимую роль в подготовке специалистов. В структуре подготовки специалиста для атомной отрасли педагогическое знание необходимо локализовать: на этапе отбора содержания, на этапе проектирования занятий, на этапе практической подготовки. Педагогическое знание обеспечивает методологическую и методическую основу системы непрерывного профессионального образования в атомной отрасли, первичную подготовку на должность и периодическое повышение квалификации. Эффективная, качественная подготовка специалистов - выпускников вузов невозможна без обращения к педагогической теории и практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнцев, А.В. Разработка модели формирования и оценки профессиональных компетенций в системе подготовки специалистов атомной отрасли / А.В. Солнцев, И.В. Гребнев и Д.Е. Любашевский// Вестник Московского университета. Серия 20. Педагогическое образование.-2025.-;4.-С. 137-158.
2. Нерадовская, О.Р. Развитие системы непрерывного повышения квалификации и переподготовки кадров для атомной отрасли / О.Р. Нерадовская, М.К. Медведева// КиберЛенинка. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-sistemy-neprepryvnogo-povysheniya-kvalifikatsii-i-perepodgotovki-kadrov-dlya-atomnoy-otrasli/viewer>
3. Дронищев, Н.П. Компетентностный подход в инженерном ядерном образовании / Н.П. Дронищев, Н.А. Носырев// КиберЛенинка. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompetentnostnyy-podhod-v-inzhenernom-yadernom-obrazovanii>
4. Система обучения. Академия Росатома. - URL: <https://www.rosenergoatom.ru/employees/sistema-obucheniya-i-razvitiya/>

УДК 005.3

СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ В КОРПОРАТИВНОМ И МАРКЕТИНГОВОМ УПРАВЛЕНИИ: ОПЫТ АО «КОНЦЕРН РОСЭНЕРГОАТОМ»

Рябышев М.В., Попова Т.С.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
MVRyabyshhev@mephi.ru*

Аннотация. Главная задача Концерна Росэнергоатом – обеспечение бесперебойной и безопасной работы всех российских атомных станций. Кроме того, Концерн оказывает сервисные услуги для зарубежных АЭС и предприятий смежных отраслей, где так же принципиально важно соблюдение ключевых принципов безопасности и надежности. При этом практики, установки и процедуры культуры безопасности выступают в качестве системообразующего фактора, который связывает воедино корпоративную и маркетинговую стратегии Концерна. В статье обосновывается переход от понимания безопасности как сугубо инженерной задачи к её трактовке как стратегического актива организации, деятельность которой трансформируется из исключительно энергогенерирующей в многопрофильную технологическую корпорацию. Росэнергоатом отвечает за выполнение амбициозных государственных задач в части достижения технологического суверенитета страны и сохранения ее лидерских позиций в

условиях глобального энергоперехода. В исследовании приводятся эмпирические данные в пользу корреляции между культурой безопасности, производственными и репутационными (имиджевыми) показателями.

Ключевые слова: корпоративное управление, маркетинговое управление, культура безопасности, стратегия развития, атомная энергетика, ГК «Росатом».

STRATEGIC INTEGRATION OF SAFETY CULTURE IN CORPORATE AND MARKETING MANAGEMENT: EXPERIENCE OF JSC ROSENERGOATOM CONCERN

Ryabyshev M.V., Popova T.S.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI",
Volgodonsk, Russia
MVRyabyshev@mephi.ru*

Abstract. The main task of Rosenergoatom Concern is to ensure the uninterrupted and safe operation of all Russian nuclear power plants. In addition, the Concern provides service activities for foreign nuclear power plants and enterprises in related industries, where it is equally important to comply with the key principles of safety and reliability. At the same time, the practices, installations, and procedures of the safety culture act as a system-forming factor that links the corporate and marketing strategies of the Concern. The article substantiates the transition from understanding safety as a purely engineering task to its interpretation as a strategic asset of an organization that is transforming from an exclusively energy-generating company to a diversified technology corporation. Rosenergoatom is responsible for achieving ambitious national goals related to achieving technological sovereignty and maintaining the country's leadership position in the context of the global energy transition. The study provides empirical evidence supporting the correlation between safety culture, production performance, and reputation (image) indicators.

Keywords: corporate management, marketing management, safety culture, development strategy, nuclear energy, Rosatom State Corporation.

Прикладной интерес к культуре безопасности (КБ) на объектах атомной энергетики объективно обусловлен тем, что абсолютное большинство инцидентов так или иначе связано с человеческим фактором, в связи с чем изучение того, насколько организованы и как мыслят люди на АЭС, стало не менее важным, чем разработка самих реакторов. Но в то же время не только в производственных условиях, но и в науке изучается такой многогранный феномен как культура безопасности. Так, такие ученые как А.В. Жук, М.В. Головкин, Ю.А. Евдошкина [1], А.А. Кизим, М.А. Великанов [2], Т.С. Попова, А.А. Попов [3], Б.С. Пристер [4], В.А. Руденко [5] в своих исследованиях уделяют серьезное внимание изучению отечественной и зарубежной историографии проблем культуры безопасности в атомной энергетике, риск-ориентированной культуре безопасности в атомной отрасли, значению маркетинговых коммуникаций ГК «Росатом» для тиражирования ключевых принципов КБ.

Можно сделать вывод, что все авторы сходятся во мнении, что безопасность – абсолютный приоритет для объектов атомного энергетического комплекса, и она, как междисциплинарная категория, связана и с инженерией, и с физикой, и с менеджментом, и с информационными технологиями, и с психологией

АО «Концерн Росэнергоатом» отвечает за выработку пятой части всей электроэнергии в стране. Это уже давно превратило корпорацию в «инфраструктурный гарант» государства, поскольку 20% – не просто статистический показатель, а фактор, который предопределяет главенствующую роль компании в достижении национальной энергонезависимости и экологического благополучия, обусловленного сокращением углеродного следа. В этой связи рассматривать культуру безопасности можно не просто как внутреннюю политику Концерна, а как общенациональный приоритет.

В эпоху расцвета атомной отрасли безопасность ее объектов ассоциировалась с технической надежностью эксплуатируемого оборудования, а также с соответствием нормам и регламентам, но позже неотъемлемым элементом стала именно культура безопасности. Анализ причин и последствий крупнейших аварий (известные всему международному сообществу события в Чернобыле и в Фукусиме, ставшие поворотными для мировой

атомной энергетики), актуализировал и обосновал переход от привычного классического толкования безопасности в плоскость «поведения» человека, а не механизмов. Практика показала, что решающим фактором всё же является наличие такой системы ценностей, установок и моделей поведения персонала, при которой приоритет безопасности становится внутренней потребностью. В то же время Росэнергоатом ведёт активную маркетинговую «пропаганду», направленную на формирование доверия к атомной энергетике не только со стороны персонала, но и со стороны внешних акторов. Цель, которая ставилась при написании статьи – обосновать, что культура безопасности выступает стратегическим интегратором двух контуров управления (корпоративного и маркетингового), позволяя синхронизировать имиджево-коммуникационную и хозяйственную (производственную, инвестиционную) стратегии корпорации.

Семантически термин «культура» относится к нравственной, ценностной, порой иррациональной категории, а «безопасность» – это нормируемое, рассчитываемое, сконструированное, зафиксированное в инструкциях понятие, имеющее строгую логику, отличающееся важностью соблюдения правил и формальных регламентов. Поэтому изначально (исторически, содержательно, а отчасти и терминологически) между данными категориями существовал как минимум смысловой разрыв. Постепенно (не беспричинно и не без участия законодательных инициатив), «культура» и «безопасность» из разных плоскостей были перенесены в одну, и атомная отрасль стала той уникальной площадкой, где их «на злобу дня» искусственно соединили. Как доказывает практика, это решение было стратегически верным и своевременным, поскольку, хотя формальная система безопасности (то есть простое соблюдение инструкций и регламентов) всегда существует на столь значимых объектах, как АЭС, но она может не всегда работать, если нет той самой культуры. В то же время и культура без норм превращается в абстрактные благие пожелания, а не в реальные действия.

В корпоративной стратегии АО «Концерн Росэнергоатом» КБ, как система ценностей, отвергающая любые действия, угрожающие безопасности, рассматривается теперь как измеримый управленческий ресурс, а не просто в качестве затратной статьи. Маркетинговая стратегия корпорации использует КБ в качестве нематериального актива, призванного повышать уровень доверия к атомной энергетике со стороны общественности, персонала. В отличие от маркетинга в традиционных отраслях промышленности, когда его ключевыми инструментами выступают цена, ассортимент, качество и дистрибуция, атомный маркетинг опирается больше на маркетинговые коммуникации, отвечающие за донесение до целевой аудитории наивысшей ценности безопасности как главного бренд-обещания. Маркетинговое взаимодействие способствует превращению КБ в «золотой стандарт» для подрядчиков, инвесторов, подрядчиков, поставщиков и местных сообществ.

Культуру безопасности в АО «Концерн Росэнергоатом» авторы настоящей статьи предлагают рассматривать как стратегический нематериальный актив корпорации, отражение в котором находит интеграция ее маркетинговой и корпоративной стратегий. Именно КБ (однажды сформированная как назревшая необходимость, а затем на постоянной основе развивающаяся в соответствии с изменениями во внешней и внутренней среде) выступает той устойчивой системой неосознанных поведенческих привычек, установок и реакций сотрудников, которые направлены на достижение принципов безопасной работы. Этот «маркетинговый габитус культуры безопасности» объясняет, как ценности безопасности медленно, постепенно, но эффективно начинают работать на репутационный капитал и «имиджевую премию» к стоимости материальных активов компании. Это не только не противоречит амбициозным целям корпоративной стратегии АО «Концерн Росэнергоатом» в части достижения запланированных финансовых показателей, но и служит «социальным гарантом» их достижения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жук, А. В. Отечественная и зарубежная историография проблем культуры безопасности в атомной энергетике / А. В. Жук, М. В. Головкин, Ю. А. Евдошкина // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 1(22). – С. 113-121.
2. Кизим, А. А. Риск-ориентированная культура безопасности на предприятиях атомной энергетики / А. А. Кизим, М. А. Великанов // Проектный и инвестиционный менеджмент в условиях новой экономической реальности : Материалы IV Национальной научно-практической конференции, Краснодар, 06 апреля 2023 года. – Краснодар: ФГБУ "Российское энергетическое агентство" Минэнерго России Краснодарский ЦНТИ - филиал ФГБУ "РЭА" Минэнерго России, 2023. – С. 250-260
3. Попова, Т. С. Маркетинговые коммуникации Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» / Т. С. Попова, А. А. Попов // Практический маркетинг. – 2023. – № 11(317). – С. 50-52. – DOI 10.24412/2071-3762-2023-11317-50-52.
4. Пристер, Б. С. Безопасность - абсолютный приоритет атомной энергетики / Б. С. Пристер // Безопасность в техносфере. – 2012. – Т. 1, № 5. – С. 10-18.
5. Руденко, В. А. К истории понятия "культура безопасности" / В. А. Руденко // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 3(12). – С. 100-104.

УДК 339.9:621.039

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТАРИФОВ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРИБЫЛЬ ПРЕДПРИЯТИЙ – ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Волгина С.В., Довбыш В.Е.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ»
г. Волгодонск, Россия
VEDovbysh@mephi.ru*

Аннотация. Рассматривается вопрос взаимодействия колебаний стоимости электроэнергии на финансовое состояние компании атомной отрасли. Определены факторы, оказывающие влияние на формирование цены электроэнергии. Изучается механизм передачи изменений тарифов потребителям отрасли и оцениваются последствия этого процесса на прибыль компаний-производителей электроэнергии.

Ключевые слова: атомная отрасль, ГК «Росатом», тарифы на электроэнергию.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF CHANGING ELECTRICITY TARIFFS ON THE PROFIT OF NUCLEAR ENERGY PRODUCERS

Volgina S.V., Dovbysh V.E.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"
Volgodonsk, Russia
VEDovbysh@mephi.ru*

Abstract. The article examines the impact of fluctuations in electricity prices on the financial condition of nuclear power companies. It identifies the factors that influence the formation of electricity prices. The article explores the mechanism of transmitting changes in electricity tariffs to consumers and assesses the consequences of this process on the profits of electricity producers.

Keywords: nuclear industry, Rosatom State Corporation, electricity tariffs.

Производство электроэнергии на АЭС имеет специфические экономические особенности, такие как: высокие капитальные затраты, длительные сроки окупаемости инвестиций и стабильность операционных расходов. Стоимость производства электроэнергии подвержена значительным колебаниям, обусловленным изменениями регулируемых государственных тарифов и рыночной конъюнктурой.

Регулирование государственных тарифов на электроэнергию оказывает существенное влияние на финансовые результаты работы АЭС. Предельные уровни тарифов на

электроэнергию в России устанавливает Федеральная антимонопольная служба (ФАС). Основой ценообразования служат затраты производителей и необходимый уровень рентабельности. Учитываются и инвестиционные программы развития инфраструктуры, необходимость модернизации оборудования и соблюдения экологических норм. По данным ФАС в 2025 году рост тарифов на электроэнергию составил 12,6%. Дальнейшее увеличение тарифов для населения составит в целом по стране в 2026 году 5,2% и 4,8% в 2027 году [1].

Изменение тарифов оказывает непосредственное влияние на конечную стоимость производимой электроэнергии. Так, рост тарифов приводит к росту доходов АЭС. Однако оно компенсируется увеличением издержек потребителей электроэнергии, снижением объема потребления и переходом на альтернативные виды энергоресурсов. Напротив, понижение тарифов способствует повышению привлекательности атомной энергии для потребителей и стимулирует рост объемов реализации электроэнергии. Вместе с тем, снижение доходности негативно сказывается на инвестициях в модернизацию и развитие производственных мощностей.

Данные о тарифах на электроэнергию по некоторым регионам России представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Тарифы на электроэнергию по регионам РФ с 1 января 2026 года [2]

Регионы	Действующий тариф, руб./кВт·ч
Чукотский автономный округ	около 12,6
Якутия	около 8,7
Московская область	около 9,1
Санкт-Петербург	около 7,7
Ленинградская область	около 7,3
Ростовская область	около 7,9
Волгоградская область	около 5,39
Краснодарский край	около 6,36
Иркутская область	менее 2
Хакасия	около 3,6
Донецкая и Луганская народные республики	чуть более 2,8
Херсонская и Запорожская области	примерно 3,7-3,8

Так самый высокий тариф в Чукотском автономном округе, что обусловлено изолированностью энергосистемы региона от Единой энергетической системы России и зависимостью от дорогостоящего привозного топлива. Один из самых низких тарифов в Иркутской области. Это можно объяснить двумя факторами: географическим положением региона, что позволяет вырабатывать большие объемы дешевой энергии, и системой перекрестного субсидирования. В Донецкой и Луганской народных республиках допускается рост тарифов до 50% в рамках Федеральной программы поэтапного выравнивания цен. Делается это для приведения стоимости коммунальных услуг к среднероссийскому уровню для финансирования ремонта изношенных сетей и модернизации инфраструктуры. Но даже после повышения тарифов плата за электроэнергию останется одной из минимальных в стране.

Для исследования влияния тарифов на электроэнергию на финансовые показатели деятельности предприятия-производителя электроэнергии используются как классические производственные показатели (выручка, объем продаж, прибыль), так и специфические для атомной отрасли (КИУМ – коэффициент использования установленной мощности).

Основные производственные показатели деятельности Концерна «Росэнергоатом» по данным ежегодной статистической отчетности за последние пять лет приведены в таблице 2, на рисунках 1-2.

Таблица 2 – Производственные показатели Концерна «Росэнергоатом» за 2020-2025 гг. [составлено авторами]

Год	Выработка электроэнергии, млрд. кВт·ч	Выручка, млрд. руб.	Чистая прибыль, млрд. руб.	КИУМ, %	Доля электроэнергии АЭС в общем объеме ЕЭС России
2020	215,7	462,47	99,28	81,07	20,58
2021	222,4	528,40	149,293	83,18	19,7
2022	223,4	540,97	123,995	86,21	20
2023	217,4	539,08	115,43	83,91	18,9
2024	215,5	594,48	142,71	85,6	18,2
2025	218,3	689,53	133,37	85,8	18,7

По итогам 2025 года российские АЭС выработали на 1,3% больше электроэнергии по сравнению с 2024 годом. Наибольший вклад в достижение максимальной выработки обеспечили [3]: Балаковская АЭС (свыше 35,5 млрд кВт·ч), Ростовская АЭС (более 34 млрд кВт·ч) и Калининская АЭС (свыше 33 млрд кВт·ч). Чистая прибыль Концерна сократилась на 6,5%, по сравнению с предыдущим годом, несмотря на рост выручки на 16% [4].

Проведенный анализ показал, что чувствительность прибыли атомных станций к изменению тарифов существенно варьируется и зависит от конкретных факторов. Увеличение тарифов приводит к положительному эффекту лишь при условии стабильного роста энергопотребления. Резкое понижение тарифов способно привести к снижению потребления и убыткам для производителей электроэнергии.

Таким образом, исследование показало, что изменение тарифов на электроэнергию оказывает существенное влияние на прибыльность предприятий-производителей атомной энергии. Оптимальный уровень тарифов должен учитывать интересы всех участников рынка: государства, потребителей и инвесторов. Предприятия отрасли нуждаются в эффективных механизмах адаптации к меняющимся условиям рынка. Разработка таких механизмов позволит обеспечить устойчивый рост и развитие атомной энергетики России в современных рыночных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз роста тарифов на электроэнергию на ближайшие годы. Режим доступа: <https://www.ingos.ru/company/blog/2024/novyie-tarify-na-elektroenergiyu-2025?ysclid=mp2du7accv4457373> (дата обращения 03.05.2026).
2. Тарифы на электроэнергию на 2026 год. Режим доступа: <https://www.elec.ru/library/rd/tarify-elektroenergiya-2026/?ysclid=mp3wkku6k781977490> (дата обращения 03.05.2026).
3. Новости. Атомная энергетика. Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/nuclear/912431-rossiyskie-aes-v-2025-g-vyrabotali-bolee-218-mlrd-kvt-ch-elektroenergii/?ysclid=mp2ecl6m8f595742405> (дата обращения 13.05.2026).
4. InvestFuture. Режим доступа: <https://investfuture.ru/articles/pribyl-rosenergoatoma-upala-na-6-5-nesmotrya-na-rost-vyruchki-na-16-36116660> (дата обращения 13.05.2026).

УДК 339.138

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПЛАНИРОВАНИЮ СБЫТОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Хухлаев Д. Г.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
omega356@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы формирования стратегии сбыта у промышленного предприятия в современных российских условиях. Сделаны следующие выводы: сбытовая стратегия является неотъемлемой составляющей общей стратегии предприятия и его маркетинговой стратегии, на промышленном предприятии ее формирование осуществляется в соответствии с положением сбытовой

политики, и основными инструментами реализации сбытовой стратегии являются маркетинговый и логистический комплексы предприятия.

Ключевые слова: стратегическое маркетинговое управление, маркетинговая стратегия

A STRATEGIC APPROACH TO PLANNING THE SALES ACTIVITIES OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Khukhlaev D. G.

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"

Volgodonsk, Russia

omega356@yandex.ru

Abstract. The article discusses the issues of forming a sales strategy for an industrial enterprise in modern Russian conditions. The following conclusions are drawn: the sales strategy is an integral component of the overall strategy of the enterprise and its marketing strategy, in an industrial enterprise its formation is carried out in accordance with the position of the sales policy, and the main tools for implementing the sales strategy are the marketing and logistics complexes of the enterprise.

Keywords: strategic marketing management, marketing strategy

Сбытовая деятельность выступает в качестве традиционной функции маркетинга. Более того, если посмотреть на функционал маркетингового инструментария (маркетингового комплекса), то становится очевидно, что он ориентирован в первую очередь на выполнение сбытовой функции. Вместе с тем, сбытовая политика является объектом стратегического маркетингового управления [1].

В настоящем исследовании ставится цель выделения методических подходов стратегического маркетингового управления, обеспечивающих эффективное построение и функционирование сбытовой деятельности промышленного предприятия.

Стратегическое управление в силу большого горизонта планирования сталкивается с усилением ряда рисков и влияния негативных факторов [2, 3]:

- отсутствие сигналов о появлении новых факторов, увеличение вероятности их возникновения;

- сложность полноты оценки фактора;

- отсутствие четкого понимания причинно-следственных факторов;

- отсутствие достаточных управленческих компетенций реагирования на факторы;

Основополагающими императивами формирования стратегической системы сбыта можно сформулировать следующим образом.

1. Цикличность развития методов сбытовой деятельности, имеющего спиральный восходящий вектор [4].

2. Сбытовая деятельность не может быть обособлена из общей хозяйственной и маркетинговой деятельности предприятия. Также сбыт не может быть приоритетной детерминантой стратегического планирования на промышленном предприятии. Причиной этого является тот факт, что сбытовая деятельность находится в самом конце хозяйственной цепочки преобразования ресурса в продукт.

3. Комплексный характер разработки сбытовой стратегии [2].

4. Источником вводных данных для формирования сбытовой стратегии являются результаты стратегического анализа предприятия. Которые кроме прочего должны включать ряд следующих параметров: потребности потребителей, степень охвата рынка, характеристика посредников и их роль в сбытовой цепи, логистика сырья и готовой продукции и возможности маркетинговой коммуникации [5].

5. Разделение при планировании отдельных элементов синтез сбытовой и товарной стратегий предприятия и их синтез в рамках общей маркетинговой стратегии предприятия [6].

6. Определяя целевую аудиторию, ее состав, структуру и характеристики необходимо учитывать параметр надежности отдельных потребителей [7], стабильности их взаимоотношений с предприятием.

7. Необходимость построения модели взаимодействия со всеми участниками производственно-сбытовой цепочки [8].

Характеризуя отличительные черты стратегического управления сбытовой деятельности от оперативного в первую очередь необходимо указать разницу в целеполагании – стратегический характер управления предполагает обеспечение конкурентных позиций на рынке [5] и их усиление.

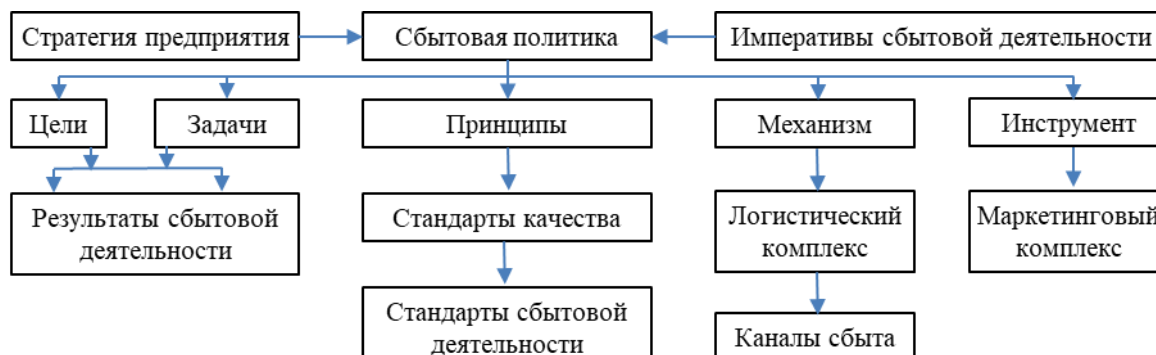


Рисунок 1 – Вариант логического построения системы стратегического управления сбытовой деятельностью предприятия

Элементы стратегической системы сбыта представлены на рис.1. Рассмотрим их более подробно.

1. Сбытовая политика, как и любой вид экономической политики [9] определяющая цели, задачи, принципы сбытовой деятельности, механизм сбыта. В итоге положения сбытовой политики определяют плановые показатели данного аспекта хозяйственной деятельности предприятия.

2. Положения стратегии предприятия, в частности его позиционирование

3. Позиционирование продукта на рынке относительно потребителей (целевой аудитории), конкурентов и других участников рынка.

4. Маркетинговый комплекс, адекватный целям и задачам сбытовой политики предприятия. Выступая системой маркетингового инструментария маркетинговый комплекс также является и механизмом реализации сбытовой стратегии и осуществления сбытовой деятельности.

Формирование целей сбытовой политики (рис.1) осуществляется в разрезе сбытового, маркетингового и финансового аспектов деятельности предприятия. В первом случае определяются плановые объемы продаж продукции, стоимость одного контракта или «средний чек», количество покупателей. Маркетинговые цели определяются долей рынка, контролируемой предприятием, степень проникновения на новый рынок, удовлетворением платежеспособного спроса [10]. Финансовые показатели определяются параметрами прибыли от продаж и рентабельностью сбытовой деятельности, а также динамикой этих показателей.

Подводя итог изложенным выше тезисов можно сформулировать ряд выводов.

1. Сбытовая стратегия является неотъемлемой составляющей общей стратегии предприятия и его маркетинговой стратегии.

2. Сбытовая стратегия на промышленном предприятии формируется в соответствии с положением сбытовой политики, определяющей цели, задачи, принципы сбытовой деятельности, механизм сбыта.

3. Главными инструментами реализации сбытовой стратегии являются маркетинговый и логистический комплексы предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портных, В. В. Стратегическое маркетинговое управление / В. В. Портных. – Москва: Дашков и К, 2025. – 262 с.

2. Марабаева, Л. В. Комплексный подход к разработке сбытовой стратегии предприятия в контексте концепции устойчивого развития / Л. В. Марабаева, Е. Г. Кузнецова // Вестник Российского университета кооперации. – 2020. – № 3(41). – С. 40-44.
3. Сергеева, О. Ю. Стратегия управления сбытом промышленного предприятия в рыночных условиях / О. Ю. Сергеева, Г. Р. Гузаирова // Российское предпринимательство. – 2014. – № 20(266). – С. 174-182.
4. Хухлаев, Д. Г. Экономическая сущность развития розничной торговли: методологическая специфика современных направлений исследования / Д. Г. Хухлаев // Экономика и предпринимательство. – 2015. – № 9-2(62). – С. 1023-1026.
5. Святохо, Н. В. Стратегия сбытовой деятельности предприятия: сущность, виды, принципы формирования и управления / Н. В. Святохо // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. – 2021. – № 1(54). – С. 152-161. – DOI 10.37279/2312-5330-2021-1-152-161.
6. Липатова, Т. А. Особенности интеграции сбытовой и товарной стратегий предприятий АПК / Т. А. Липатова, И. Ю. Зарубина // Научный альманах. – 2019. – № 11-1(61). – С. 56-59.
7. Бабич, Т. Н. Развитие методов стратегического планирования сбытовой деятельности предприятия / Т. Н. Бабич, Ю. В. Вертакова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. – 2015. – № 4(17). – С. 33-40.
8. Наумов, В. Н. Стратегическое взаимодействие рыночных субъектов в маркетинговых системах / В. Н. Наумов, В. Г. Шубаева. – Москва: ИНФРА-М, 2015. – 270 с.
9. Хухлаев, Д. Г. Научно-практические рекомендации по организации потребительского товарного кредитования в розничной торговле / Д. Г. Хухлаев; Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2015. – 118 с.
10. Денильханова, Р. Х. Формирование сбытовой стратегии предприятия: понятие, содержание и значение сбыта продукции / Р. Х. Денильханова, Н. М. Алиева, Л. А. Гаджиалиева // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2023. – № 3. – С. 180-188. – DOI 10.26118/2782-4586.2023.67.82.026

УДК 378.14:621.039

ФОРМИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ КАК ФАКТОР ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРА АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Привалова Н.Ф.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
NFPrivalova@mephi.ru*

Аннотация. В работе рассматривается научно-исследовательская компетентность как системное качество личности, как интегративное воплощение компетенций. Обоснована необходимость формирования научно-исследовательских компетенций, как фактора профессионального развития будущего инженера атомной отрасли и возможные пути решения этой проблемы в образовательном процессе вуза, в том числе, в рамках изучения дисциплины «Основы научных исследований, организация и планирование эксперимента» на специальности 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг при организации целостного процесса профессионального образования в контексте гуманистической парадигмы.

Ключевые слова: компетентность, компетенция; профессиональная деятельность, профессиональное развитие; профессиональные компетенции, научно-исследовательские компетенции; атомная отрасль, наукоёмкость; личностно-ориентированная, гуманистическая парадигма.

FORMATION OF RESEARCH COMPETENCIES AS A FACTOR IN THE PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF AN ATOMIC INDUSTRY ENGINEER

Privalova N.F.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"
Volgodonsk, Russia
NFPrivalova@mephi.ru*

Abstract. The work considers research competence as a systemic quality of personality, as an integrative embodiment of competencies. The need for the formation of research competencies as a factor in the professional development of the future engineer of the nuclear industry and possible ways to solve this problem in the educational process of the university, including in the framework of studying the discipline "Fundamentals

of scientific research, organization and planning of experiments" in the specialty 14.05.02 Nuclear power plants: design, operation and engineering when organizing an integral process of professional education in the context of the humanistic paradigm.

Keywords: competence, competence; professional activities, professional development; professional competencies, research competencies; nuclear industry, science intensity; a person-centered, humanistic paradigm.

На современное производство оказывает влияние комплекс факторов и условий постиндустриального общества. среди которых ориентация реальных производственных процессов на новые достоверные научные знания, повышение наукоемкости производства, внедрение новых информационных технологий, усиление требований к уровню развития кадрового потенциала. Все это вызывает необходимость теоретического осмысления и определения конкретных задач, от решения которых зависит успех инженерного образования, создание в высших учебных заведениях системы подготовки инженеров новой формации [1].

Рассмотрение и анализ комплекса компетенций, которыми должен овладеть инженер, работающий на современном производстве, позволяют заключить, что ведущую роль в развитии его профессиональной деятельности играют научно-исследовательские компетенции, которые способствуют её эффективному осуществлению [2].

Все выше сказанное относится и к атомной отрасли. Характеризуясь высокотехнологичностью, сложностью, непосредственным проведением наукоемких исследований, предприятия атомной отрасли предъявляют высокие требования к подготовке специалиста. Специалисту-атомщику необходимы не только глубокие прочные знания естественно-научных дисциплин и сформированные инженерные навыки, но и творческие способности, наличие мотивации к дальнейшему освоению новых знаний, технологий и техники, используемых в атомной отрасли, владение методологией и методикой осуществления научных исследований, включая планирование, организацию научного исследования, содержащего эксперимент, анализ полученных экспериментальных данных, оценку их достоверности и надежности.

Актуальность данного исследования обусловлено и достаточно высокой ролью научно-исследовательских компетенций в профессиональной деятельности инженеров атомной отрасли. Именно условия наукоемкого производства для обеспечения безопасности и надежности всей высокотехнологической цепочки сложного производства требуют иногда принятия жизненно важных научно-технических решений, в основе которых лежит научный анализ сложной технической проблемы [3]. В связи с этим, необходимой компонентой в процессе подготовки в вузе будущего инженера должно стать формирование научно-исследовательских компетенций.

Рассмотрим содержание понятий «компетенция» и «компетентность», различные подходы к пониманию сути которых исследуются в работах Зимней И.А. На основе анализа педагогических, психологических и лингвистических аспектов понятия «компетенция» автор определяет компетенцию как осваиваемое и освоенное студентом содержание учебных дисциплин, однако еще не актуализированное в профессиональной деятельности. При этом указывается, что эта сформированность является одной из составляющих компетентности и рассматривается как психическое образование, необходимое для успешной профессиональной деятельности. Компетентность при этом – интегративное воплощение компетенций [4].

Содержание научно-исследовательской компетентности специалистов атомной отрасли в рамках системного подхода раскрывается в исследовании Кухаревой Е.А. и Ильмушкина Г.М. как системное образование личности [5], воплощающее интегративно реализацию сформированных компетенций.

Формирование научно-исследовательских компетенций студентов, как составляющих будущей компетентности инженеров атомной отрасли, проходит в течение всего периода обучения в вузе. Важное значение для формирования научно-исследовательских компетенций по специальности 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и

инжиниринг с присвоением квалификации «инженер-физик» имеет дисциплина «Основы научных исследований, организация и планирование эксперимента».

Рабочей программой дисциплины предусмотрено три раздела:

- Теоретические и методологические основы научного исследования;
- Методы научных исследований в технических науках. Планирование и организация эксперимента;
- Организационные и методические основы исследования.

Изучение дисциплины позволяет студентам понять сущность научного познания, его логику, осознать критерии оценки качества научно-исследовательских работ, сформировать умения разрабатывать общий план работы по заданной теме; методы исследования и способы обработки результатов; проводить исследования по согласованному с руководителем плану; представлять полученные результаты.

По завершению изучения дисциплины студенты готовят и защищают научную статью по результатам проведенного исследования по одной из выбранных тем по проблемам эксплуатации и развития атомной энергетики.

На этапе определения темы для разработки научной статьи важна роль преподавателя-научного руководителя, который организует целостный педагогический процесс профессионального образования и развития в контексте гуманистической парадигмы. Обучающийся в рамках данной парадигмы предстаёт как личность, самостоятельный и ответственный субъект собственного развития. В связи с этим, тема исследования должна быть определена таким образом, чтобы в её разработке студент проявлял заинтересованность, тема была личностно значима для него, у студента имелся бы не только познавательный интерес, но и необходимый уровень теоретических знаний и практических умений и навыков, определенный сформированный уровень научно-исследовательских компетенций, проявлялась мотивация пополнения имеющегося профессионального знания новым знанием, наблюдалось стремление проявить себя в достижении поставленной цели.

Необходимо отметить, что формирование и развитие научно-исследовательских компетенций в процессе обучения в вузе, предметное теоретическое обучение и практическая подготовка будущих инженеров составляют единый образовательный механизм [3], который осуществляется в рамках личностно-ориентированной парадигмы и существенно влияет на качественный уровень профессионального развития будущего инженера атомной отрасли.

Результаты проведенного исследования раскрывают потенциал научно-исследовательских компетенций как фактора профессионального развития будущего инженера атомной отрасли, способствуют в перспективе эффективному осуществлению профессиональной деятельности и основой для её саморазвития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ажибеков, К.Ж. Ермаханов М.Н. Проблемы инженерного образования в контексте реализации компетентностного подхода // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 1-3. С. 391-394. – URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=8518> (дата обращения: 23.05.2026).
2. Горшкова, О.О. Формирование исследовательской компетенции студентов в контексте задач профессиональной деятельности инженера. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-issledovatel'skoy-kompetentsii-studentov-v-kontekste-zadach-professionalnoy-deyatelnosti-inzhenera> (дата обращения: 30.05.2025).
3. Ильмушкин, Г.М., Миншин, М.М. Научно-исследовательская деятельность студентов технического вуза как фактор становления конкурентоспособного специалиста атомной отрасли. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-issledovatel'skaya-deyatelnost-studentov-tehnicheskogo-vuza-kak-faktor-stanovleniya-konkurentosposobnogo-spetsialista> (дата обращения: 23.05.2026).
4. Зимняя, И.А. Компетентность и компетенции в контексте компетентностного подхода – URL: https://elar.uspu.ru/bitstream/ru-uspu/40487/1/978-5-89516-227-9_2012_008.pdf
5. Кухарева, Е.А., Ильмушкин, Г.М. Сущностно-содержательная характеристика научно-исследовательской компетентности будущих специалистов атомной отрасли. –URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/suschnostno-soderzhatelnaya-harakteristika-nauchno-issledovatel'skoy-kompetentnosti-buduschih-spetsialistov-atomnoy-otrasli> (дата обращения 20.05.2025).

КОММУНИКАТИВНЫЙ ФАКТОР В СИСТЕМЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Арбет Г.Н.¹, Бунамес Н.В.²

¹Образовательно-культурный центр WESNA, Фрайбург им Брайсгау, Германия;

²Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
г. Волгодонск, Россия
NVBunames@mephi.ru

Аннотация. В статье рассматривается значение профессиональной и межкультурной коммуникации как одного из ключевых элементов культуры безопасности в атомной энергетике. Анализируется влияние коммуникативных ошибок, языковых барьеров и особенностей межкультурного взаимодействия на работу многонациональных коллективов в высокотехнологичных отраслях. Особое внимание уделяется роли профессионального языка, способности сотрудников к эффективному взаимодействию в стрессовых ситуациях и необходимости развития коммуникативной компетентности специалистов атомной отрасли. Обосновывается необходимость включения элементов межкультурной и коммуникативной подготовки в современные программы профессионального обучения.

Ключевые слова: культура безопасности, коммуникация, человеческий фактор, атомная энергетика, межкультурная коммуникация, профессиональный язык, коммуникативные риски.

COMMUNIKATIN FACTOR IN THE SAFETY SYSTEM OF NUCLEAR ENERGY FACILITIES

Arbet G.N.¹, Bunames N.V.²

¹WESNA Educational and Cultural Center, Freiburg im Breisgau, Germany;

²Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"
Volgodonsk, Russia

Abstract. The paper examines professional and intercultural communication as one of the key elements of safety culture in nuclear energy. The impact of communication errors, language barriers and intercultural interaction on multinational teams in high-tech industries is analyzed. Particular attention is paid to professional language, communication under stress conditions and the necessity of developing communicative competence among nuclear industry specialists. The importance of integrating communication and intercultural training into professional education programs is substantiated.

Keywords: safety culture, communication, human factor, nuclear energy, intercultural communication, professional language, communication risks.

Современная атомная энергетика относится к числу наиболее сложных и высокотехнологичных отраслей, где обеспечение безопасности требует строгого соблюдения технических регламентов, высокой квалификации персонала и эффективной системы управления рисками. Однако даже при наличии современных технологий и автоматизированных систем человеческий фактор продолжает играть решающую роль в предотвращении инцидентов и аварий [1].

В последние годы всё большее внимание уделяется не только техническим аспектам безопасности, но и качеству профессионального взаимодействия между сотрудниками. Коммуникация становится важнейшим элементом системы безопасности, поскольку именно через неё осуществляется передача инструкций, координация действий, контроль выполнения операций и оперативное реагирование в нестандартных ситуациях.

Ошибки коммуникации способны создавать так называемые «скрытые риски», которые не всегда можно выявить техническими средствами. Неправильно понятая инструкция, недостаточно чётко переданная информация, отсутствие уточняющих вопросов или страх сообщить о возможной ошибке могут привести к серьёзным последствиям. Исследования в области человеческого фактора показывают, что значительная часть

инцидентов в высокотехнологичных отраслях связана именно с проблемами взаимодействия между людьми [2].

Особую актуальность данная проблема приобретает в условиях международного сотрудничества и работы многонациональных коллективов. Современные проекты в атомной отрасли всё чаще объединяют специалистов из разных стран, обладающих различным профессиональным и культурным опытом. В таких условиях возрастает значение не только профессионального языка, но и способности сотрудников понимать особенности межкультурного взаимодействия.

Представители различных культур могут по-разному воспринимать профессиональную иерархию, стиль общения, допустимость критики и уточняющих вопросов. В одних культурах сотрудник склонен немедленно сообщать о проблеме, в других – избегать открытого обсуждения ошибок из-за страха нарушить субординацию. Подобные различия способны оказывать влияние на скорость принятия решений и эффективность взаимодействия внутри команды.

Коммуникация в атомной энергетике включает несколько уровней:

- взаимодействие внутри смены;
- передача информации между подразделениями;
- работа с технической документацией;
- взаимодействие с подрядчиками и международными специалистами;
- коммуникация в стрессовых и аварийных ситуациях.

Каждый из перечисленных уровней требует не только профессиональных знаний, но и развитых коммуникативных навыков. Особенно важным становится умение задавать уточняющие вопросы, корректно интерпретировать техническую информацию и действовать в условиях ограниченного времени.

Практика профессионально ориентированных языковых программ показывает, что интеграция языковой подготовки с моделированием рабочих ситуаций значительно повышает качество взаимодействия специалистов [3]. Обучение профессиональному языку должно включать не только терминологию, но и развитие навыков командной коммуникации, ведения профессионального диалога и поведения в нестандартных ситуациях.

Перспективным направлением является создание специализированных коммуникативных модулей для подготовки специалистов атомной отрасли. Такие программы могут включать:

- профессиональную терминологию;
- моделирование рабочих диалогов;
- тренинги взаимодействия в международных командах;
- обучение коммуникации в условиях стресса;
- развитие межкультурной компетентности.

Подобный подход способствует не только снижению вероятности ошибок, но и формированию доверия внутри коллектива, повышению психологической устойчивости сотрудников и укреплению общей культуры безопасности.

Таким образом, культура безопасности начинается не только с технологий, инструкций и контроля, но прежде всего с понимания между людьми. Эффективная коммуникация становится фундаментом безопасной работы высокотехнологичных объектов и важнейшим условием устойчивого развития современной атомной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Safety Culture for Nuclear Installations / International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA, 2016. – 72 p.
2. Reason, J. Human Error / J. Reason. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 302 p.
3. Арбет, Г. Иностраный язык как старт в новую жизнь: интеграционные и профессиональные программы для специалистов / Г. Арбет. – Фрайбург: WESNA, 2024. – 115 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ-АТОМЩИКОВ В КОНТЕКСТЕ ТРЕБОВАНИЙ К КУЛЬТУРЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Ухалина И.А., Бунамес Н.В.

*Волгодонский инженерно-технический институт-филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
IAUkhalina@mephi.ru*

Аннотация. В условиях активного развития атомной энергетики в России молодые специалисты, участвующие в возведении новых энергоблоков, получают неоценимый практический опыт, который открывает перед ними широкие перспективы для профессионального и карьерного роста. В статье рассматривается растущий интерес студентов, совмещающих учёбу с работой в атомной сфере, к изучению иностранных языков. Это связано с тем, что международное сотрудничество и участие в строительстве и эксплуатации ядерных объектов требуют от будущих специалистов уверенного владения иностранными языками. Только при достаточном уровне языковой подготовки можно рассчитывать на достижение высоких результатов в профессии. Однако студенты, занятые на атомных станциях, часто испытывают нехватку времени для изучения языков. Важной особенностью организации самостоятельной работы студентов является возможность гибко распределять задания во времени, учитывая имеющиеся временные резервы. Такой подход даёт возможность даже студентам с невысокой успеваемостью выполнять минимальный объём обязательной и дополнительной литературы, что способствует их успешному обучению.

Ключевые слова: кадровые нужды, многонациональные и поликультурные взаимодействия, коммуникативные умения, специализированные профессиональные навыки, структурирование и планирование, языковое обучение, персональный учебный план задач, блоки-задания, резервы времени, сетевой подход планирования.

THE IMPORTANCE OF A FOREIGN LANGUAGE FOR NUCLEAR ENGINEERING STUDENTS AND THE SPECIFICS OF PLANNING AND ORGANIZING THEIR INDEPENDENT WORK

Ukhalina I.A., Bunames N.V.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"
Volgodonsk, Russia
IAUkhalina@mephi.ru*

Abstract. With the nuclear energy industry rapidly developing in Russia, young professionals involved in the construction of new power units are gaining invaluable practical experience, opening up broad prospects for professional and career advancement. This article examines the growing interest in learning foreign languages among students combining their studies with work in the nuclear industry. This is due to the fact that international cooperation and participation in the construction and operation of nuclear facilities require that future professionals possess a strong command of foreign languages. Only with sufficient language proficiency can one expect to achieve success in their profession. However, students working at nuclear power plants often lack time to study languages. An important feature of organizing students' independent work is the ability to flexibly distribute assignments over time, taking into account available time reserves. This approach allows even students with low academic performance to complete the minimum amount of required and optional reading, thereby promoting their academic success.

Keywords: staffing needs, multinational and multicultural interactions, communication skills, specialized professional skills, structuring and planning, language training, personal task plan, task blocks, time reserves, and a network-based planning approach

Ядерная энергетика активно выходит на новые рынки и осваивает смежные направления, что открывает перспективы для специалистов с разным образовательным бэкграундом.

Благодаря растущей роли международного сотрудничества в условиях повсеместного внедрения современных технологий и кадровой перспективе атомная отрасль расширяет международные связи и осваивает новые направления, поэтому заранее важно прогнозировать потребности в кадрах, готовить программы обучения и формировать кадровый резерв.

В ближайшие годы в России планируется строительство ряда новых энергоблоков, что привлекает выпускников вузов и создаёт спрос на специалистов с разным образованием. В таком контексте владение иностранным языком – это не просто дополнительный навык, а важный элемент профессиональной мобильности и безопасности.

Следовательно, основным фактором, который способствует не только социальной или академической адаптации, но и результативной интеграции к изменяющимся условиям мира, объединённого глобальными процессами, характеризующимися интенсивными межкультурными встречами и переговорами, является языковая компетенция. При этом иностранный язык становится не просто вспомогательной компетенцией, а обязательным условием для обеспечения гарантии и надёжности эксплуатации атомной электростанции, особенно в условиях глобального партнёрства и обмена опытом.

Россия – активный участник в разработке и изготовлении машин и оборудования для зарубежных атомных электростанций. В связи с этим существует необходимость в квалифицированных переводчиках. Атомная промышленность – одна из строго регламентируемых отраслей, где принципиальна точность формулировок. Поэтому владение иностранным языком помогает следовать протоколам безопасности, понимать регламенты и методические рекомендации. Язык как инструмент безопасности и профессионализма при работе с зарубежными проектами и документацией, с точностью формулировок имеет критическое значение: неправильный перевод или неполное понимание регламентов может привести к ошибкам в процессах, затрагивающих безопасность. Поэтому языковая подготовка должна включать не только общие навыки общения, но и работу с профильной терминологией, перевод технических текстов и понимание нормативных документов.

Но содержание штата переводчиков на предприятиях часто экономически нецелесообразно, сотрудникам важно самим уметь оперировать иностранной профессиональной информацией

Следует сказать, что изучение языка в вузе должно происходить через воспитание ценностей культуры безопасности. Языковое обучение можно интегрировать с формированием профессиональных установок – ответственности, внимательности, дисциплины – которые являются частью культуры безопасности на АЭС. Языковые занятия могут укреплять у студентов навыки, требуемые при следовании протоколам и инструкциям в международной среде.

Многие студенты совмещают учёбу с работой на предприятии. Необходимо обращать внимание на особенности обучения работающих студентов. К таким особенностям можно отнести гибкие учебные графики и индивидуальный подход к учебному процессу. Это, конечно, облегчает совмещение рабочего цикла с учебой, большая часть которой приходится на самостоятельное обучение. Но рабочая нагрузка, особенно в периоды ремонтов, заметно снижает время на самостоятельное обучение. Преподавателям важно учитывать профессиональную специфику слушателей и подбирать материалы, максимально приближённые к будущей работе студентов.

Практика показывает, что студентам необходимо давать навыки организации самостоятельной учёбы, к которым относятся планирование времени, самоконтроль, распределение задач. Преподавательская методика, включающая комплексные домашние задания, регулярные проверки и практические упражнения (в том числе перевод и практическое применение грамматики), даёт возможность объективно оценивать усвоение материала. Формирование индивидуальных учебных планов по принципу сетевого графика или структурировать материал по модулям даёт чёткость в определении сроков выполнения заданий. Применяя приобретенные знания при выполнении упражнений и переводе текстов на практике, студенты имеют возможность объективно оценить уровень усвоения отдельных грамматических разделов и лексического материала. [1].

Итак, преподавание иностранного языка для студентов, работающих на предприятиях атомной отрасли, необходима адаптация образовательных методов. Цель педагога – обеспечить овладение требуемого объёма знаний в межсессионный период и развить у студентов способность самоконтроля [2]. Контроль преподавателем может осуществляться

различными способами: от традиционных проверок до взаимного оценивания и самоанализа [3,4].

В заключении необходимо сказать, что знание иностранного языка – это не только инструмент интеграции в международное профессиональное сообщество, но и неотъемлемое условием профессионального успеха, условие для работы с зарубежными источниками, перевода технической документации и участия в международных проектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлова Е. В. Влияние организации самостоятельной работы студентов на становление их готовности к самообразованию / Е. В. Михайлова // Инновационные технологии в педагогике и на производстве : тезисы докладов VI научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – Екатеринбург: УГППУ, 2000. – С. 36-37. Режим доступа: <https://elar.uspu.ru/handle/ru-uspu/16199>
2. Комарова Е.В. Самоконтроль и самоопределение как основные средства изучения иностранного языка. Современные научные исследования и инновации. 2015;1:53-55. Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2015/01/45294> (дата обращения: 02.09.2025).
3. Михайлова Е.А. Современные методы самообразования в технических специальностях: актуальные проблемы и решения. – Екатеринбург: Издательство УрФУ, 2021. Режим доступа: <https://elar.uspu.ru/handle/ru-uspu/16199>
4. Котова С. С. Технологии самоорганизации и саморазвития: монография / С. С. Котова. Екатеринбург: Екатеринбург: Изд-во РГППУ, 2022. Режим доступа: https://elar.uspu.ru/bitstream/ru-uspu/42532/1/978-5-8050-0751-5_2022.pdf

УДК 621.791

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ПИТАНИИ

Бурдаков Е.С.¹, Бурдаков С.М.², Подрезов Н.Н.³

¹ *Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, г. Волгодонск, Россия*

^{2,3} *Волгодонский инженерно-технический институт – филиал национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия*

¹*konanxxxx@mail.ru*

Аннотация. Устойчивость горения дуги при ручной дуговой сварке покрытыми электродами является одним из основных факторов, влияющим на надежность и безопасную работу оборудования энергетического машиностроения применяемого на тепловых и атомных электростанциях.

В случае нарушения устойчивости горения дуги будет происходить образование дефектов в сварных соединениях, которые в условиях эксплуатации при высоком давлении и температуре могут способствовать выходу из строя оборудования и вызвать аварийную ситуацию на объекте.

Выполнена оценка устойчивости горения дуги при комбинированном питании от источника постоянного тока и в режиме с параллельно подключенным к нему дополнительным генератором который формирует сигнал напряжением $U_{QPS40}=80,0В$ частотой $f_{QPS40}=40,0кГц$ (QPS40).

В качестве оценки устойчивости горения сварочной дуги использовались следующие критерии: коэффициенты вариации сварочного тока и напряжения, устойчивости, скорости изменения тока и напряжения.

Приводятся результаты исследований устойчивости горения дуги при питании от промышленного источника постоянного тока в стандартных режимах и с параллельно подключенным к нему дополнительным генератором, который формирует специальный квазигармонический сигнал (QPS40). Проведен анализ результатов оценки заданных критериев для исследованных режимов. Можно отметить, что коэффициент устойчивости при использовании QPS40 выше, а коэффициент вариации напряжения более низкий, что говорит о более стабильном напряжении на дуге. Использование комбинированной системы питания с высокими динамические характеристики способствует получению высококачественных сварных соединений. Это является важным фактором при работе в условиях изготовления, монтажа, ремонта оборудования и конструкций строящихся ТЭС и АЭС.

Ключевые слова: устойчивость горения дуги, эксплуатация, ручная дуговая сварка, тепловые электростанции, атомные электростанции, образование дефектов, процесс сварки, высокочастотное воздействие на дугу, критерии, дифференциальное сопротивление.

INCREASED ARC FLASH STABILITY WITH COMBINED POWER

Burdakov E.S.¹, Burdakov S.M.², Podrezov N.N.³

¹*«Atomash» the branch of «AEM-technologies» JSC in Volgodonsk, Zhukovskoe highway, 10, Volgodonsk, Russia*

^{2,3}*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”,
Volgodonsk, Russia*

¹*konanxxxx@mail.ru*

Abstract. Arc burning stability during manual arc welding with coated electrodes is one of the main factors affecting the reliability and safe operation of power engineering equipment used at thermal and nuclear power plants.

In the event of a disturbance in the stability of arc burning, defects will occur in the welded joints, which under conditions of operation at high pressure and temperature can contribute to equipment failure and cause an emergency at the facility.

Arc burning stability was evaluated at combined power supply from DC source and in mode with parallel connected additional generator which generates signal with voltage $U_{QPS40} = 80.0В$ and frequency $f_{QPS40} = 40.0kHz$ (QPS40).

As an assessment of the stability of the welding arc, the following criteria were used: coefficients of variation of the welding current and voltage, stability, rate of change of current and voltage.

The results of studies of the stability of arcing when powered by an industrial DC source in standard modes and with an additional generator connected in parallel to it, which generates a special quasi-harmonic signal (QPS40), are given. The results of evaluation of the specified criteria for the studied modes were analyzed. It can be noted that the stability coefficient when using QPS40 is higher, and the coefficient of variation of the voltage is lower, which indicates a more stable voltage at the arc. The use of a combined power supply system with high dynamic characteristics contributes to the production of high quality welded joints. This is an important factor when working in the conditions of manufacture, installation, repair of equipment and structures of thermal power plants and nuclear power plants under construction.

Keywords: arc stability, operation, manual arc welding, thermal power plants, nuclear power plants, formation of defects, welding process, high-frequency impact on the arc, criteria, differential resistance.

Устойчивость горения дуги при ручной дуговой сварке (РДС) покрытыми электродами является одним из основных факторов, влияющим на надежность и безопасную работу оборудования энергетического машиностроения применяемого на тепловых (ТЭС) и атомных (АЭС) электростанциях. Следует отметить, что высокую надежность энергооборудования прежде всего определяют качество изготовления и монтажа. Учитывая, что сварочно-монтажные работы в настоящее время проводятся в сжатые сроки, в стесненных условиях, обеспечить их качество становится все сложнее.

При неустойчивой дуге сварщик прерывает и заново начинает процесс сварки, что ведет к попаданию влаги, из окружающего пространства в сварочную ванну и при охлаждении вызывает охрупчивание и микротрещины в шве [1].

Существующие методы решения этой проблемы можно разделить на три основные группы: химические, технологические и аппаратные.

При использовании химических методов направленных на модификации состава покрытия электродов так как устойчивость горения дуги зависит от числа носителей заряда в ее столбе. В этом случае в состав покрытия электрода добавляют соединения калия (К), натрия (Na), кальция (Ca) или бария (Ba). Эти элементы имеют низкий потенциал ионизации, что значительно облегчает поддержание горения дуги [2].

В технологических методах важную роль играет квалификация сварщика и правильный выбор режимов. В этом случае важно использовать источники с «жесткой» или «пологопадающей» внешней вольтамперной характеристикой (ВАХ). Правильно подобранная ВАХ позволяет минимизировать колебания тока при случайном изменении длины дуги.

Аппаратные методы направлены на использование оборудования, которое изменяет параметры питающего напряжения и тока для улучшения устойчивости горения дуги.

В данной работе были выбраны и проанализированы критерии устойчивости горения дуги. При питании дуги от источника постоянного тока ВДУ-504, и с параллельно подключенным к нему дополнительным генератором, формирующим сигнал–QPS40, напряжением $U_{QPS40}=80,0\text{В}$ с частотой $f_{QPS40}=40,0\text{кГц}$. Исследования проведены в нижнем положении сварочной ванны на пластинах из стали (Ст3) 200х200х12мм, в режимах 100, 120, 140А, электроды УОНИИ 13/45, $\varnothing$ 3,0мм. Устойчивость горения сварочной дуги оценивалась по критериям: коэффициенты вариации тока– $CV(I_{св.ж})$, напряжения– $CV(U_{д.ж})$, скорости изменения тока и напряжения $dI_j(t)=dI_{св.ж}/dt$, $dU_j(t)=dU_{д.ж}/dt$ [3, 4].

Следует отметить, что дуга постоянного тока устойчива, если соблюдается условие для коэффициента устойчивости k_y [5]:

$$k_y = \left(\frac{\partial U_{д.ж}}{\partial I_{св.ж}} - \frac{\partial U_{и.ж}}{\partial I_{и.ж}} \right)_{I_0} > 0, \quad (1)$$

где: $dU_{д.ж}/dI_{св.ж}=R_{д.ж}$ – дифференциальное сопротивление дуги,

$dU_{и.ж}/dI_{и.ж}=R_{и.ж}$ – дифференциальное сопротивление источника питания,

I_0 – величина тока в рабочей точке на ВАХ источника питания.

Для расчета выбранных критериев устойчивости горения дуги были обработаны осциллограммы сварочного тока и напряжения с использованием ptc©MathCad.

При ведении сварочного процесса в режиме $I_{св.100}=100\text{A}$, $U_{д.100}=22\text{В}$: $CV(I_{св.100})=18,8\%$, $CV(U_{д.100})=15,3\%$, $k_{y100}=0,048$, $dI_{100}(t)=8,6 \times 10^3 \text{A/c}$, $dU_{100}(t)=1,5 \times 10^3 \text{В/c}$. В аналогичном режиме с QPS40: $U_{д.100}=23\text{В}$, $CV(I_{св.100})=21,8\%$, $CV(U_{д.100})=14,2\%$, $k_{y100}=0,399$, $dI_{100}(t)=1,5 \times 10^5 \text{A/c}$, $dU_{100}(t)=4,2 \times 10^4 \text{В/c}$.

В режиме без QPS40 $I_{св.120}=120\text{A}$, $U_{д.120}=24\text{В}$: $CV(I_{св.120})=15,4\%$, $CV(U_{д.120})=15,2\%$, $k_{y120}=0,028$, $dI_{120}(t)=6,9 \times 10^3 \text{A/c}$, $dU_{120}(t)=1,3 \times 10^3 \text{В/c}$. С QPS40, $U_{д.120}=25\text{В}$: $CV(I_{св.120})=18,2\%$, $CV(U_{д.120})=13,6\%$, $k_{y120}=0,15$, $dI_{120}(t)=1,6 \times 10^5 \text{A/c}$, $dU_{120}(t)=3,7 \times 10^4 \text{В/c}$.

Для режима без QPS40 $I_{св.140}=140\text{A}$, $U_{д.140}=27,1\text{В}$: $CV(I_{св.140})=12,7\%$, $CV(U_{д.140})=14,2\%$, $k_{y140}=0,104$, $dI_{140}(t)=4,4 \times 10^3 \text{A/c}$, $dU_{140}(t)=9,2 \times 10^2 \text{В/c}$. Для 140A с QPS40: $U_{д.140}=27,4\text{В}$, $CV(I_{св.140})=15,7\%$, $CV(U_{д.140})=13,6\%$, $k_{y140}=0,298$, $dI_{140}(t)=1,1 \times 10^5 \text{A/c}$, $dU_{140}(t)=3,6 \times 10^4 \text{В/c}$.

Проводя анализ полученных результатов можно сказать, что необходимо комплексное рассмотрение результатов всех исследованных режимов по всем выбранным для анализа критериям. Так в режимах с QPS40 на дугу подается импульсный, высокочастотный сигнал, поэтому в этих режимах $CV(I_{св.j})$ несколько выше, чем в стандартных. Однако QPS40 способствует повышению среднеквадратичного отклонения тока, что важно в момент формирования капли перед переходом в ванну. Предотвращаются долговременные короткие замыкания с прерыванием дуги. Так же можно отметить, что k_y здесь выше в среднем в 5,53 раза, а коэффициент вариации напряжения более низкий, что говорит о более стабильном напряжении на дуге. Увеличенные во много раз $dI_j(t)$, $dU_j(t)$, k_y могут говорить о повышении устойчивости горения дугового разряда, качества сварных соединений при комбинированном питании (QPS40) [6], что особенно важно при работе в условиях изготовления, монтажа и ремонта оборудования, конструкций строящихся и эксплуатируемых ТЭС и АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хромченко, Ф.А. Надежность сварных соединений труб котлов и паропроводов / Ф.А.Хромченко.– Москва: Энергоиздат, 1982. – 120с.
2. Бурдаков, С.М. Анализ способов повышения и критериев оценки устойчивости сварочного дугового разряда / С.М. Бурдаков, М.И.Орехов // Инженерный вестник Дона – 2016. – №2 – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3594> (дата обращения: 18.04.2026).
3. Букаров, В.А. Оценка стабильности дуговой сварки по осциллограммам процесса с использованием статистических методов / В.А.Букаров, С.С.Ермаков, Т.А.Дорина // Сварочное производство.–1990.– №12.–С.30–32.
4. Уваров, А.Ф. Транзисторный инверторный источник питания для импульсной дуговой сварки / А.Ф.Уваров // Сварочное производство.–1988.– №10.–С.25–26.
5. Соколов О.И. Источники питания для дуговой сварки / О.И.Соколов.–Москва: МГИУ, 2011. – 194 с.
6. Бурдаков, С.М. Исследование структуры металла сварных соединений при импульсном воздействии на дуговой разряд / С.М. Бурдаков, М.Б. Дамаскина, Д.И. Желецкий // Глобальная ядерная безопасность. – 2021. – №1. – С. 38-43.

УДК 621.791.01

РОБОТИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ КАК СПОСОБ ДОСТИЖЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ В СОВРЕМЕННОМ СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ АТОМНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Дирина К.В.¹, Гоок А.Э.²

¹Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия

²Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, г. Волгодонск, Россия

¹dirinakristina5@gmail.com

Аннотация: Работа посвящена анализу современного состояния и ключевых тенденций развития сварочного производства в сфере атомного машиностроения – отрасли, критически важной для

обеспечения безопасности и надёжности оборудования АЭС. Рассмотрены основные технологические вызовы: высокие требования к качеству сварных соединений, работа с высоколегированными сталями и сплавами, сварка толстостенных конструкций. Представлен обзор актуальных сварочных технологий – автоматической сварки под флюсом (SAW), аргонодуговой (TIG/GTAW), электронно-лучевой (EBW), а также роботизированных комплексов. Освещены методы контроля качества: неразрушающие (ультразвуковая дефектоскопия, радиография и др.) и разрушающие испытания. Отдельно отмечены перспективные направления – аддитивные технологии, цифровые двойники для моделирования процессов, разработка новых сварочных материалов для реакторов на быстрых нейтронах и термоядерных установок. Кратко затронуты экономические и экологические аспекты модернизации производства, а также вопросы кадрового обеспечения и нормативного регулирования.

Ключевые слова: автоматизация производства, аддитивные технологии, аргонодуговая сварка (TIG/GTAW), автоматическая сварка под флюсом (SAW), роботизированные сварочные комплексы, атомное машиностроение, сварные соединения, ISO, лазерная сварка, искусственный интеллект (ИИ).

ROBOTIZATION AND AUTOMATION AS A WAY TO ACHIEVE COMPETITIVENESS IN THE MODERN WELDING PRODUCTION OF NUCLEAR ENGINEERING

Dirina K.V.¹, Gook A.E.²

¹*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”
Volgodonsk, Russia*

²*Branch of JSC AEM-Technologies “Atommash” in Volgodonsk, Volgodonsk, Russia*

¹*dirinakristina5@gmail.com*

Abstract: The paper analyzes the current state and key trends in the development of welding production in the field of nuclear engineering, an industry that is critical for ensuring the safety and reliability of nuclear power plant equipment. The paper discusses the main technological challenges, including high requirements for the quality of welded joints, working with high-alloy steels and alloys, and welding thick-walled structures. The paper provides an overview of current welding technologies, including submerged arc welding (SAW), argon arc welding (TIG/GTAW), electron beam welding (EBW), and robotic systems. Quality control methods are covered: non-destructive (ultrasonic flaw detection, radiography, etc.) and destructive tests. Promising areas include additive technologies, digital twins for process modeling, and the development of new welding materials for fast neutron reactors and thermonuclear facilities. The article briefly discusses the economic and environmental aspects of production modernization, as well as issues related to personnel support and regulatory requirements.

Keywords: production automation, additive technologies, argon arc welding (TIG/GTAW), automatic submerged arc welding (SAW), and robotic welding systems, nuclear engineering, welded joints, ISO, laser welding, artificial intelligence (AI).

Современное атомное машиностроение предъявляет повышенные требования к надёжности сварочных соединений, так как изделия работают в экстремальных условиях эксплуатации, таких как высокая температура, давление и радиация. Сварочное производство – одно из самых значимых направлений для создания оборудования АЭС, таких как корпуса реакторов, парогенераторы, трубопроводы первого контура. Внедрение современных способов сварки позволяет повысить безопасность эксплуатации и долговечность изделий, а также улучшить экономическую эффективность атомных установок.

Среди всех ключевых технологических вызовов особое внимание уделяется требованиям к качеству изготавливаемых изделий, любой дефект, такой как трещина или пора, может привести к аварии катастрофических масштабов, поэтому их возникновение недопустимо. Сложность обработки заключается в материале, таким как нержавеющая сталь и сплавы на основе никеля и циркония, а также в тонкостенных конструкциях, что в свою очередь требует многопроходной сварки с тщательным контролем термического цикла. Не менее важным фактором является необходимость строгого соответствия стандартам МАГАТЭ, ГОСТ, ASME и требованиям надзорных органов.

В современном производстве широкое распространение имеет автоматическая сварка под флюсом (SAW) – используется для толстостенных конструкций и обеспечивает высокую производительность, а так же стабильность свойств шва.

Арогонодуговая сварка (TIG/GTAW) – необходима для корневых проходов и работ с высоколегированными сталями благодаря точному контролю теплового ввода.

Электронно-лучевая сварка (EBW) – обеспечивает глубокую проплавку металла без разделки кромок, однако требует использования вакуумных камер.

Роботизированные комплексы – помогут обеспечить высокую производительность и точность, а так же снижает влияние человеческого фактора в процессе обработки.

Большую роль на жизненный цикл изделия влияет контроль. В рамках неразрушающего контроля применяют УЗК, в т.ч. с использованием фазированных решёток, радиография, капиллярная и магнитопорошковая дефектоскопия. Разрушающие испытания включают механические тесты, металлографию и химический анализ. Дополнительно внедряют новые методы контроля, которые позволяют контролировать процесс в режиме реального времени, такие как датчики температуры и деформации, а также системы обратной связи в роботизированных установках позволяют оперативно корректировать процесс.

Перспективные направления отрасли связаны с внедрением аддитивных технологий, которые в свою очередь открывают возможности для наплавки сложных деталей и ремонта компонентов без полной замены. Цифровые двойники позволяют моделировать сварочные процессы и прогнозировать деформации и остаточные напряжения ещё до начала работ. Искусственный интеллект помогает анализировать данные контроля, оптимизировать режимы сварки и осуществлять предиктивную диагностику. Кроме того, ведётся разработка новых сварочных проволок и флюсов для перспективных реакторов – в т.ч. на быстрых нейтронах и термоядерных установок.

Экологические и экономические факторы также учитываются при развитии сварочного производства. Снижение энергопотребления достигается за счет оптимальных режимов сварки и энергоэффективных источников питания. Так же происходит оптимизация режимов сварки. Автоматизация и роботизация сокращают время изготовления деталей, что напрямую влияет на экономическую составляющую эффективности производства. Минимизация отходов обеспечивается рециклингом флюсов и применением безотходных технологий.

Кадровые и нормативные вопросы остаются значимыми факторами развития отрасли. Необходима качественная подготовка специалистов: обучение работе с новым оборудованием и сертификация сварщиков и технологов. Важным шагом является гармонизация международных и национальных стандартов (ISO, ГОСТ, ASME). Цифровизация документации – внедрение электронных паспортов сварных соединений и использование блокчейна для отслеживания истории изготовления – повышает прозрачность и надёжность процессов.

Таким образом, современное сварочное производство в атомном машиностроении базируется на развитии новых технологий, строгого контроля изделий и цифровизации. Ключевыми трендами является автоматизация, роботизация, новейшие материалы. Данные факторы будут обеспечивать безопасность и конкурентноспособность отрасли. Дальнейшее развитие требует междисциплинарного сотрудничества инженеров, материаловедов и IT-специалистов, что позволит решать комплексные задачи и поддерживать высокий уровень надёжности атомного машиностроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 59023.1–2020. Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Материалы, применяемые для выполнения сварных соединений и наплавки / Разработан Госкорпорацией «Росатом», внесён ТК 322 «Атомная техника». – Национальный стандарт РФ. Доступно: <https://docs.cntd.ru/document/1200177371> – (дата обращения: 17.04.2026)
2. Труды НИКИМТ: в 7 т. / Мин-во Рос. Федерации по атомной энергии, НИКИМТ; под общ. ред. Л. Н. Щавелева. – Т. 1. – Москва, 2002. – 315 с. – Доступно: <https://нэб.рф/> – (дата обращения: 25.04.2026)
3. Полосков С. И. Технологические основы автоматической орбитальной сварки трубопроводов атомных станций: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.06 – Москва, 2006. – 452 с. – Доступно: <https://нэб.рф/> – (дата обращения: 29.04.2026)

4. Экономические аспекты экологизации промышленных производства – Доступно: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-aspekty-ekologizatsii-promyshlennyh-proizvodstv> – (дата обращения: 05.05.2026)
5. Патент РФ №2817272. Роботизированный саморегулируемый сварочный комплекс. – Россия, 2023. – 18 с. – Оpubл.: 2023. – Доступно: <https://vestnikip.ru/news/6924/>. – (дата обращения: 05.05.2026)

УДК: 621.039.58(063)

КОНЦЕПЦИЯ ПОДГОТОВКИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА КОРПУСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННО – АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Жидков М.Е.¹, Чернов А.В.², Хегай Л.С.³

¹ Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, г. Волгодонск, Россия

^{2,3} Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия,

Аннотация. Производство ответственных корпусных изделий АЭС является мелкосерийным с характерными проблемами: воспроизводимость технологий, неопределённость состояния компонент технологического процесса. Цель работы - совершенствование организации сварочного производства корпусного оборудования АЭС на основе методов и средств системного анализа для воспроизводимости технологических процессов сварки.

Важный этап в достижении цели – разработка и создание информационно -аналитической системы (ИАС) промышленных исследований сварочных процессов. ИАС обеспечит регистрацию первичных массивов данных, предобработку и параметризацию для извлечения и оценки информации о статистических и энтропийных свойствах процессов сварки, выработку управляющих воздействий в контур сварочного производства.

По результатам исследований разработан концептуальный комплекс количественных критериев в оценке состояний процесса сварки, в т.ч. на основе векторной энтропийной модели многомерной стохастической системы.

Ключевые слова: корпусные изделия АЭС, сварочное производство, энтропийные свойства, информационно-аналитическая система, энтропийная векторная модель.

A CONCEPT FOR PREPARING WELDING PRODUCTION OF NPP VESSEL EQUIPMENT BASED ON INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEMS

Zhidkov M.E.¹, Chernov A.V.², Khagai L.S.³

¹Atomash, Branch of AEM-Technology JSC, Volgogradsk, Russia

^{2,3}Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”,
Volgodonsk, Russia

Abstract. The production of critical nuclear power plant vessel components is a small-scale operation with inherent challenges, including process reproducibility and uncertainty in the state of process components. The objective of this work is to improve the organization of welding production for nuclear power plant vessel equipment using systems analysis methods and tools to ensure the reproducibility of welding processes.

An important step in achieving this goal is the development and creation of an information and analytical system (IAS) for industrial research on welding processes. The IAS will ensure the recording of primary data sets, preprocessing, and parameterization for extracting and evaluating information on the statistical and entropic properties of welding processes, and the generation of control actions for the welding process.

Based on the research results, a conceptual set of quantitative criteria for assessing welding process states was developed, including those based on a vector entropy model of a multidimensional stochastic system.

Keywords: NPP body parts, welding production, entropic properties, information and analytical system, entropic vector model.

Производство корпусных изделий отличается от общемашиностроительного явно выраженной дискретностью (два–три комплекта оборудования АЭС в год), поэтому возникают проблемы, характерные для мелкосерийного производства: воспроизводимость

технологий, неопределённость состояния компонент технологического процесса. Целью работы является совершенствование организации сварочного производства корпусного оборудования АЭС на основе методов и средств системного анализа, обеспечивающих воспроизводимость технологических процессов сварки.

В целях извлечения количественной информации о физических процессах, проходящих при дуговой сварке плавлением, сварочный контур «источник питания – дуга – ванна – шов» был разделён на четыре взаимосвязанных контура, рисунок 1. Электрический контур связан с наибольшим количеством элементов, а сварочная дуга является общим элементом рассматриваемых контуров. Силовые, тепловые и энергетические взаимодействия, так или иначе, отражаются на её характеристиках и содержат информацию о состоянии процесса сварки.

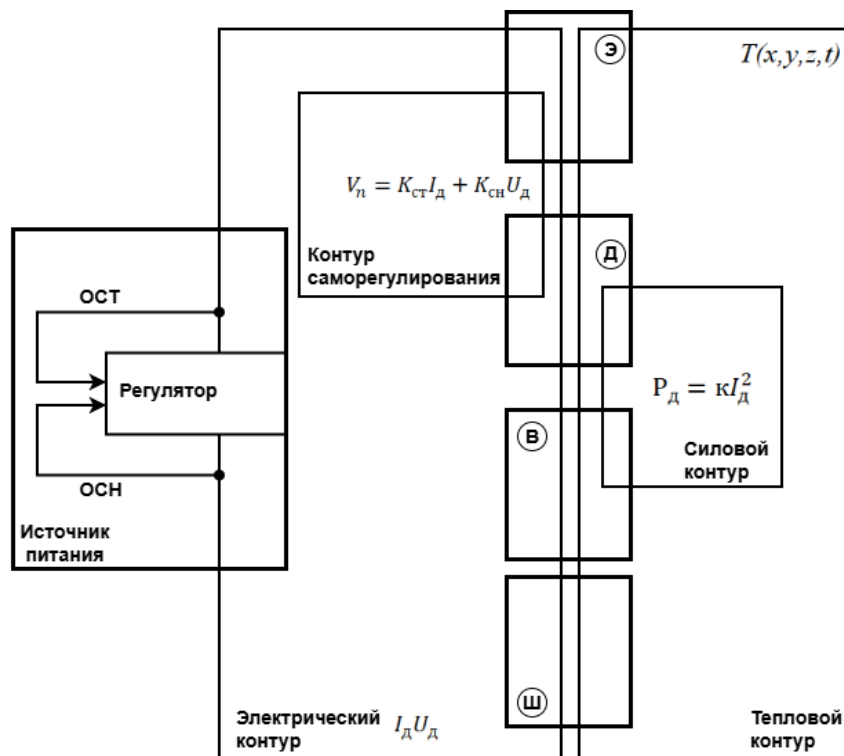


Рисунок 1 – Декомпозиция процесса электродуговой сварки на контуры; Э-электрод; Д-дуга; В-ванна металлическая; Ш-шов, ОСТ- обратная связь по току; ОСН-обратная связь по напряжению

Для параметризации временных рядов по току и напряжению в сварочном контуре были исследована возможность использования масштабно-инвариантных функций, к которым относится энтропия, в частности, энтропия К. Шеннона, перестановочная энтропия и энтропия аппроксимационная. Значение энтропии К. Шеннона по своей сути отражает вариабельность пространственно-временного ряда и служит критерием оценки состояния исследуемого процесса. Перестановочная энтропия H_{sh} характеризует конфигурацию временного ряда, а уровень хаотичности временного ряда оценивался по значениям аппроксимационной энтропии $ArEn$ по расчетным формулам, приведенным в [1].

Рассмотренные энтропийные показатели были апробированы при обработке экспериментальных данных и, в результате, была установлена возможность их использования для оценки состояния процесса сварки.

Выбор эффективного метода моделирования сложной стохастической системы определился необходимостью учёта взаимодействия элементов и общесистемных закономерностей. Предполагается, что диагностическая модель позволяет оценить степень отклонения технического состояния технологических компонент от нормы. Практические подходы к построению модели основанной на использовании дифференциальной векторной

энтропии и позволяющей избежать расчётов аналитических выражений многомерных плотностей вероятностей представлены в работе А.Н. Тырзина [2]. В частности, если компоненты случайного вектора Y распределены по нормальному (гауссовскому) закону распределения можно воспользоваться упрощенной формулой расчёта векторной энтропии $H(Y)$:

$$H(Y) = \sum_{i=1}^m \ln \sigma_{Y_i} + m \ln \sqrt{2\pi e}$$

где σ_{Y_i} – среднеквадратические отклонения параметров Y_i ,

$|R|$ – корреляционная матрица случайного вектора Y .

Проведенные исследования легли в основу разработки информационно-аналитической системы промышленных исследований (ИАС) в развитие ранее применявшихся информационно – измерительных систем сварочных процессов [3]. По результатам исследований разработан концептуальный комплекс количественных критериев в оценке состояний процесса сварки, в т.ч. на основе векторной энтропийной модели многомерной стохастической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жидков М. Е. Разработка диагностической модели системы мониторинга сварочного производства корпусного оборудования АЭС // Инженерный вестник Дона. – 2026. – №3, ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2026/10818..
2. Тырсин, А. Н. Энтропийное моделирование многомерных стохастических систем : монография. Воронеж: Научная книга, 2016. – 156 с.
3. Сас А.В., Чернов А.В. Информационно-измерительные системы в управлении сварочным производством: монография/ Юж.-Рос. гос. техн.ун-т – Новочеркасск: Изд-во журн. “Изв. вузов. Электромеханика”, 2008. – 148с.

УДК 621

ФРАКТОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛОМА ПРИ АНАЛИЗЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Иванов М.А.¹, Подрезов Н.Н.², Дамаскина М.Б.³, Доронин Ю.В.⁴

^{1,2} Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия

³ Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск,
г. Волгодонск, Россия

⁴ Аттестационный центр городского хозяйства, г. Москва, Россия

¹mihaiw2002@mail.ru

Аннотация: В данной статье рассматриваются практические аспекты и перспективы применения цифровых исследовательских технологий в процессе контроля сварных соединений оборудования для атомных электростанций (АЭС). Фокус сделан на технологиях, таких как фрактографический анализ по излому, рентгеновская система энергодисперсионного микроанализа. Статья подчеркивает важность фрактографического анализа в обеспечении ядерной безопасности и переходу к цифровому производству.

Ключевые слова: цифровые исследовательские технологии, сварные соединения оборудования для АЭС, фрактография, рентгеновская система энергодисперсионного микроанализа, ядерная безопасность, СППР.

FRACTOGRAPHIC STUDY OF FRACTURED MATERIAL IN ANALYSIS OF WELDED JOINTS

Ivanov M.A.¹, Podrezov N.N.², Damaskina M.B.³, Doronin Y.V.⁴

^{1,2} Volgodonsk Engineering and Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”,
Volgodonsk, Russia

Abstract: This article discusses the practical aspects and prospects of using digital research technologies in the process of monitoring welded joints of equipment for nuclear power plants (NPP). The focus is on technologies such as fractographic fracture analysis, X-ray energy dispersion microanalysis, and artificial intelligence-based systems. The article highlights the role of these technologies in ensuring nuclear safety and the transition to digital production.

Keywords: digital research technologies, welded joints of equipment for nuclear power plants, fractography, X-ray system of energy dispersive microanalysis, nuclear safety, SPPR.

Фрактографический анализ изломов (фрактография) – метод исследования поверхностей разрушения (изломов), который помогает оценить сопротивление материала распространению дефектов.

При написании публикации, в ходе анализа нормативно-технической документации НП-105 [1] и ПНАЭ Г-7-010 [2], было выявлено, что объективных требований к данному виду контролю не применяется и не регламентируется, делая фрактографические исследования в большей степени субъективными и опирающимися на опыт специалиста.

В свободном доступе существуют разнообразные зарубежные сборники с фрактограммами, однако при анализе отечественной нормативной документации, методические указания, структурированную информацию и классификацию изломов, получилось найти исключительно РД 50-672 [3].

В рамках научно-исследовательской работы по разработке методического обеспечения металлографического контроля сварных соединений, был проведен фрактографический анализ излома ударного образца.

Металл шва сварного соединения выполненного автоматической сваркой под флюсом хромоникелевомольбденовой стали, испытывался на определение критической температуры хрупкости. В результате, при температуре -15°C , TK_0 не подтвердилась на образце №1, рисунок 1а. При температуре $+55^{\circ}\text{C}$, TK_0 так же не подтвердилась и вязкая составляющая в изломе менее 50% на образце №23, рисунок 1б. При последующем повышении температуры испытания до $+75^{\circ}\text{C}$, вязкая составляющая в изломе на отдельных образцах менее 50%.

При первичном визуальном осмотре образцов, было выявлено, в условиях испытаний при температуре -15°C и $+75^{\circ}\text{C}$, изломы преимущественно имеют макрорхрупкий характер.

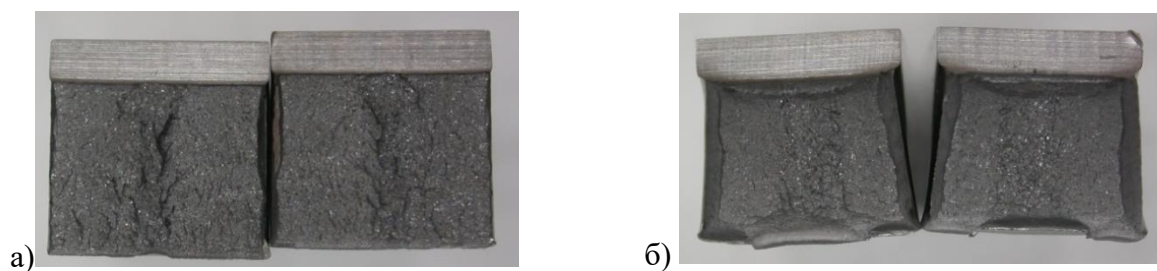


Рисунок 1 – Поперечное сечение ударных образцов при увеличении $\times 10$
а) образец №1 и б) образец №23

На образце №1 присутствует довольно грубая ступенька, ориентированная перпендикулярно надрезу. При анализе, не выявляется ярко выраженная дендритная зона валиков.

Для более детального анализа поверхности, использовался растровый микроскоп Hitachi High-Tech TM3030 [4]. В ходе анализа, была просмотрена вся поверхность излома, начиная с минимального увеличения прибора с последовательным его повышением, что позволило выделить ключевые зоны излома ударного образца.

На рисунках 2 и 3, представлен излом образца №1, в зоне очага можно видеть ступеньку, указанную на рисунке 1а, поверхность ступеньки, имеет вязкий мелко-ямочный характер с малой пластической деформацией. Также, к зоне очага, прилегает участок

хрупкого межзеренного разрушения. Форма зерна равноосная, характерная для перекристаллизованной ЗТВ валика на валик.

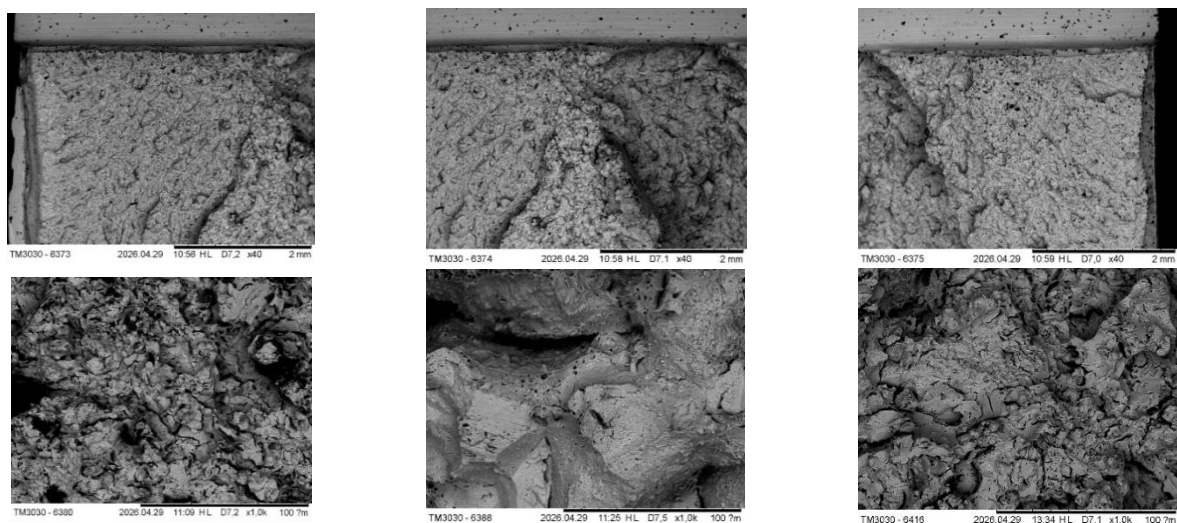


Рисунок 2— Поверхность излома №1 при увеличении от x40 до x1000

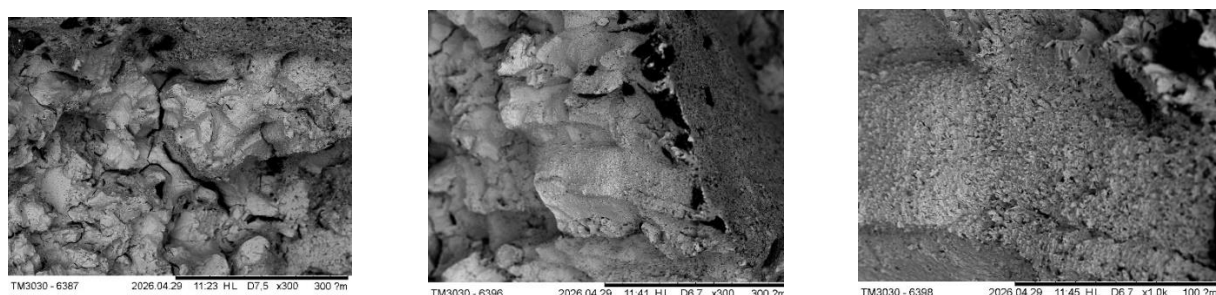


Рисунок 3— Поверхность излома №1 при увеличении от x300 до x1000

В левой части образца, излом имеет равноосные межзеренные участки с большим количеством вторичных трещин, распространяющихся вглубь металла. Справа, смешанный излом: частично хрупкий скол, частично межзеренный. В средней части излома к ступеньке, прилегает участок излома по границе столбчатых дендридов, с поверхностью не характерной для хрупкого межзеренного излома.

Далее был проанализирован излом образца №23, рисунок 4. Анализ показал, что образец имеет уширение и заметную вязкую составляющую под надрезом, что объясняется повышенной температурой испытания.

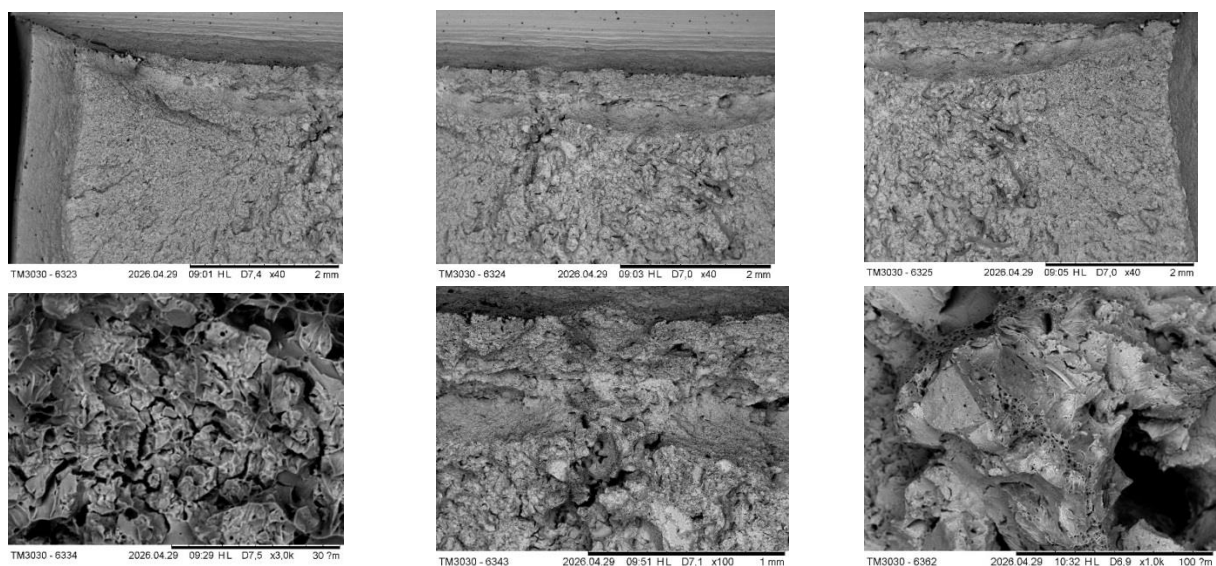


Рисунок 4 – Поверхность излома №23 при увеличении от x40 до x3000

В очаге разрушения наблюдается вторичная трещина, уходящая вглубь образца и равноосное хрупкое межзеренное разрушение. В левой части образца излом, смешанный: вязкий + межзеренный, с большим количеством вторичных трещин. В правой части образца, излом так же смешанный: вязкий + хрупкий межзеренный. Поверхность межзеренного излома в левой и правой части образца, отличаются друг от друга.

Результаты фрактографических исследований позволяют наглядно изучить ключевые зоны дефектов на изломе после механических испытаний по металлографическим параметрам.

Низкий уровень ударной вязкости и участки хрупкой составляющей излома, сохраняются до повышенных температур, это объясняется тем, что в изломе, наблюдается большая доля межзеренного разрушения. При отрицательных температурах, это межзеренный + скол, а при повышенных температурах, излом, это межзеренный + вязкое разрушение. При повышении температуры испытаний, разрушения сколом сменяется вязким разрушением, а межзеренная составляющая излома, при этом практически не меняется.

Систематизированный металлографический контроль сварных соединений изделий АЭС в паре с фрактографическими исследованиями позволяет более детально анализировать дефекты, давая более объективные результаты при исследованиях.

Так же, внедрив систему поддержки принятия решений (СППР) [5] в металлографический контроль, может поспособствовать существенному ускорению решения технических и исследовательских вопросов, возникающих в процессе работы, что так или иначе, влияет на производительность труда.

Наличие такого комбинированного и систематизированного подхода к исследовательской деятельности в заводской лаборатории или институте, дает существенные преимущества по сравнению с конкурентами, так как формируются новые подходы к решению повседневных и нестандартных задач.

Таким образом, разработка систематизированного фрактографического контроля, позволят увеличить скорость проводимых исследований в условиях предприятий, так и при написании научно-исследовательских работ, тем самым, повысив квалификацию специалистов и образованность студентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НП-105-18 "Правила контроля металла оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок при изготовлении и монтаже". – URL: <https://sudact.ru/law/prikaz-rostekhnadzora-ot-14112018-n-553-ob/np-105-18/> (дата обращения: 16.05.2026).
2. ПНАЭ Г-7-010-89 «Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200036948> (дата обращения: 16.05.2026).
3. РД 50-672-88 Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Классификация видов изломов металла – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293849/4293849929.htm> (дата обращения: 17.05.2026).
4. Растровый электронный микроскоп-микроанализатор с установкой для напыления металлов и углерода ТМ 3030 (Hitachi). – URL: <https://ckp-rf.ru/equipment/search/410771/> (дата обращения: 17.05.2026).
5. Система поддержки принятия решений в цифровой металлографии " – URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39009> (дата обращения: 17.05.2026).

УДК 621.791.75.037:681.536.5

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД В ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА – МАТРИЦА КОМПЕТЕНЦИЙ

Колесников И.В., Томилин С.А. Арсентьева Е.С. Моисеенко А.А. Лесик Ю.Ю.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
ilya_kolesnikov_20@mail.ru*

Аннотация: В данной работе рассматривается новая разработка в цифровой среде производства направленная на облегчение организации бережливого производства на предприятии, оптимизации процесса производства и менеджмента имеющимися ресурсами предприятия. Особое внимание уделяется составляющим разработки и её функционирования в среде производства, а также интеграции в современное производство. Предложены дальнейшие варианты развития проекта. Приведено сравнение разработки с существующими аналогами программ исполняющими схожие функции.

Ключевые слова: цифровая среда, бережливое производство, оптимизация процесса производства, менеджмент ресурсов, интеграция в производство, анализ разработки.

A MODERN APPROACH TO ORGANIZING TECHNOLOGICAL PROCESSES – A COMPETENCY MATRIX

Kolesnikov I.V. Tomilin S.A. Arsentyeva E.S. Moiseenko A.A. Lesik Y.Y.

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”

Volgodonsk, Russia

ilya_kolesnikov_20@mail.ru

Abstract: This paper examines a new development in a digital manufacturing environment aimed at facilitating lean manufacturing, optimizing the production process, and managing existing enterprise resources. Particular attention is paid to the development's components and its operation in a manufacturing environment, as well as its integration into modern production. Further development options for the project are proposed. A comparison of the development with existing software offering similar functions is provided.

Keywords: Digital environment, lean manufacturing, production process optimization, resource management, production integration, development analysis.

Современное время, в котором идет стремительное развитие науки и техник ставит перед машиностроительным производством задачу, которую невозможно игнорировать – постоянный выпуск большого объема качественной продукции. Помимо этого одним из основных требований к современному производству является освоение новой продукции при минимальных затратах времени [1]. Данная задача невыполнима при отсутствии масштабов производства, а также оптимальной работы предприятия в которой обеспечена непрерывная работы всех имеющихся ресурсов производства. Поэтому все современные производственные процессы протекают в условиях стремления к росту и расширению производственных мощностей, а так же максимизации полезного времени работы оборудования и персонала. Однако с увеличением предприятия, роста парка станков и штата персонала, организовывать и контролировать производство становится чрезмерно трудно и в этом случае начинает происходить потеря из внимания множества факторов без которых становится невозможным организация оптимальной работы предприятия и бережливого производства.

Инновационная модель развития машиностроения России характеризуется созданием технологических платформ, цифровизации производства и управления [2]. Поэтому для решения вышеуказанной задачи стали разрабатываться программы работающие в цифровой среде производства, которые обеспечивают контроль и отслеживание оборудования и персонала, дают сводку по их работе и дающие возможность принять меры в случае неудовлетворительности результатов. Главным же недостатком все эти программы работают разрозненно друг от друга, что в современном производстве является грубым упущением. Также стоит отметить, что в условиях становления четвертой промышленной революции и санкционных ограничений доступа к передовым технологиям, перспективы цифровой трансформации в нашей стране определяются прежде всего наличием отечественных технологических решений, создание которых становится основным содержанием реализуемой на данном этапе политики [3].

Матрица компетенций – передовая отечественная разработка в области цифровой структуры предприятия направленная на ускорение решения задач в ходе организации производственного процесса, HR – наставничество, повышение разрядов, обучение и позволяющая отслеживать состояние производства в реальном времени. В данной среде все данный по работе оборудования и персонала объединены и связаны между друг другом, что

позволяет решать задачи поболее быстро и эффективно. Сама программа состоит из трех блоков которые собирают информацию в своей сфере:

1-й блок мониторинга производственного оборудования. Он выполняет функцию сбора данных по работе и состоянию всего оборудования на предприятии в реальном времени, что позволяет отслеживать и принимать меры, касающиеся парка организации.

2-й блок системы ERP. Он выполняет функцию сбора данных по всему персоналу. Их навыки, компетенции, выполняемые задачи на предприятии и контроль их рабочего времени.

3-й блок Аналитики. Оба предыдущих блока отправляют свои данные к центральному блоку аналитики, который в свою очередь компонуют полученные данные по нескольким разделам и выдает удобную для использования и отслеживания сводку по оборудованию и персоналу, позволяя оператору принимать взвешенные и объективные решения о дальнейшей организации производственного процесса на предприятии.

Одной из перспектив развития данной системы является интеграция блока наставничества для новоприбывших сотрудников. Данный блок будет отвечать за повышение квалификации и получение дополнительных компетенций нового персонала, что в дальнейшем упростит работу предприятия и позволит ему более гибко руководствоваться имеющимися мощностями.

При проведении сравнительного анализа данной разработки с существующими аналогами, был сделан объективный вывод. У разрабатываемой среды на данный момент нет полноценных аналогов. Все существующие среды, выполняющие подобные Матрице компетенций функции, способны выполнять лишь ограниченный набор, а именно только аналитика персонала, или аналитика производства, то есть выполнять роль одного из блоков матрицы.

Таким образом, «Матрица компетенций» является важнейшим шагом в развитии современной машиностроительной индустрии, способной решать трудные задачи по сбору и аналитике всей среды предприятия, позволяя открыть путь к дальнейшему развитию цифровой среды предприятий. Данная цифровая разработка способна анализировать все имеющиеся данные по производственному процессу, состоянию оборудования и персонала, проводить взаимосвязи между данными и выдавать объективную аналитику для дальнейшего действия организации. Поэтому применение комплекса «Матрица компетенций» позволяет производству сделать шаг вперед в вопросе организации техпроцесса и соответствовать стандартам, диктуемым современным временем.

Библиографический список

1. Организация производства в машиностроении в условиях цифровой трансформации [Электронный ресурс]. Cyberleninka, 2008. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiyaproduktstva-v-mashinostroeniiv-usloviyah-tsifrovoy-transformatsii> (дата обращения: 24.04.2026).
2. А. А. Кутин, С. Н. Остапенко. Принципы построения современных машиностроительных производств // НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА. 2006. Т. 23, № 1. С. 37-43.
3. Афанасьев, А. А. Цифровая трансформация машиностроения России в контексте четвертой промышленной революции / А. А. Афанасьев // Вопросы инновационной экономики. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 221-240. – DOI 10.18334/vinec.14.1.120242. – EDN GUSHWN.

УДК 62-233.3/9

ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС КАК СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА И ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕДУКТОРОВ

Локонова Е.Л., Набокин А.О.

¹Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ»

г. Волгодонск, Россия
nabokin2017@yandex.ru

Аннотация. В работе проведено сравнение традиционного азотирования и лазерной наплавки зубчатых колёс. Данная технология позволяет обеспечить высокую твердость и увеличить износостойкость примерно в 10 раз, а так же сократить время обработки при минимальных деформациях.

Ключевые слова: лазерная наплавка, зубчатые колёса, азотирование, ресурс редукторов, производительность.

LASER SURFACING OF GEARS AS A WAY TO INCREASE THE RESOURCE AND EFFICIENCY OF GEARBOXES

Lokonova E.L., Nabokin A.O.

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"

Volgodonsk, Russia

nabokin2017@yandex.ru

Abstract. The paper compares traditional nitriding and laser surfacing of gears. This technology allows you to provide high hardness and increase wear resistance by about 10 times, as well as reduce processing time with minimal deformations.

Keywords: laser surfacing, gears, nitriding, gearbox life, productivity.

В условиях современной индустриальной парадигмы, характеризующейся переходом к высоконагруженным и скоростным механическим системам, обеспечение надежности зубчатых передач является критической задачей. Зубчатые колёса редукторов, функционирующие в режимах циклического контактного нагружения и сложного трения, подвержены многообразным видам разрушения: питтингу, заеданию, абразивному изнашиванию и усталостному выкрашиванию [1, 6]. Традиционные методы упрочнения и восстановления, такие как цементация, азотирование, поверхностная закалка токами высокой частоты (ТВЧ) или электроискровое легирование, обладают рядом фундаментальных ограничений. Они либо не обеспечивают достаточной толщины упрочненного слоя, либо сопряжены с высоким тепловложением, приводящим к короблению геометрии тонкостенных венцов и образованию хрупких фаз в зоне термического влияния (ЗТВ) [2]. В этом контексте лазерная наплавка (ЛН) заявляет о себе как о передовой технологии поверхностного инжиниринга, позволяющей кардинально решить проблему противоречия между высокой износостойкостью поверхности и вязкостью сердцевины детали [4].

Технологическая сущность лазерной наплавки зубчатых колёс базируется на синхронном взаимодействии концентрированного потока лазерного излучения с порошковой композицией и субстратом. Ключевым преимуществом метода является экстремально высокая скорость нагрева (до 10^5 K/c) и последующего самозакалочного охлаждения (до $10^3 - 10^5$ K/c) расплавленной ванны [1, 4].

Такой термический цикл обеспечивает формирование микроскопической зоны термического влияния (ЗТВ) глубиной не более 0,1–0,3 мм. Это позволяет избежать отпуска базовой структуры зуба (например, после предварительной цементации) и исключает термические деформации, критичные для точных эвольвентных профилей. Управление процессом осуществляется посредством многокоординатных робототехнических комплексов с системами ЧПУ, что гарантирует точное соблюдение геометрии наплавки на криволинейных участках зуба, включая переходные кривые и вершины [2]. Важнейшим параметром, подлежащим строгому контролю, является коэффициент разбавления. Оптимизация мощности излучения и скорости подачи порошка позволяет минимизировать проникновение легирующих элементов в основной металл, сохраняя заданный химический состав наплавленного слоя [5].

Фундаментальным аспектом, определяющим эксплуатационные свойства наплавленных зубьев, является выбор порошковых материалов и физико-химические процессы их кристаллизации. В современной практике преимущественно используются композиции на железной (Fe), никелевой (Ni) и кобальтовой (Co) основах, а также металлокомпозиты с дисперсными упрочнителями [3, 5].

Неравновесные условия кристаллизации при лазерной наплавке способствуют формированию уникальных микроструктур. В частности, при использовании железоуглеродистых сплавов с высоким содержанием хрома и бора, в матрице формируются мелкодисперсные эвтектические карбиды типа M_7C_3 или M_3C , равномерно распределенные в пластичной металлической матрице [5]. Применение композиций, легированных карбидами вольфрама или титана, позволяет создавать износостойкие металлокерамические покрытия. Микротвердость таких структур достигает 800–1200 HV, что на порядок превышает показатели традиционных объемно-закаленных сталей (250–350 HV) [3]. При этом пластичная матрица эффективно демпфирует ударные нагрузки, предотвращая хрупкое разрушение карбидного каркаса.

Внедрение лазерной наплавки оказывает комплексное влияние на трибосопряжения зубчатых зацеплений. Во-первых, наличие твердых карбидных включений, выступающих в роли несущего скелета, многократно повышает сопротивление абразивному износу. Во-вторых, специфика лазерного термического цикла способствует возникновению в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия (до 400–600 МПа) [3].

С точки зрения механики контактного взаимодействия, остаточные напряжения сжатия суммируются с рабочими контактными напряжениями, эффективно снижая растягивающие напряжения на поверхности и в подповерхностном слое. Это подавляет зарождение и развитие усталостных микротрещин, что напрямую ведет к повышению предела контактной выносливости (сопротивления питтингу) на 25–40% по сравнению с нелегированными или стандартно упрочненными поверхностями [3, 6]. Кроме того, оптимизированная шероховатость и возможность создания микропористости (для удержания смазки) или нанесения твердосмазочных композитов способствуют снижению коэффициента трения, что ведет к уменьшению диссипации энергии и повышению общего КПД редуктора.

Переход к лазерной наплавке зубчатых колёс обоснован не только техническими, но и макроэкономическими факторами. Концепция ремануфактуринга (восстановления до состояния нового) позволяет снизить стоимость жизненного цикла дорогостоящих крупногабаритных зубчатых венцов ветрогенераторов, горнодобывающих мельниц и судовых редукторов на 40–60% по сравнению с их изготовлением с нуля [2]. Технология обеспечивает высокую точность формирования, что сокращает объем последующей финишной механической обработки (шлифования) на 70–80%.

Экологический императив также играет значимую роль. В отличие от гальванического хромирования, сопровождающегося образованием токсичных шестивалентных хромовых отходов, или плазменного напыления, генерирующего аэрозольные загрязнения, лазерная наплавка является экологически чистой технологией. Современные волоконные лазеры обладают высоким коэффициентом полезного действия (до 40–50%), а использование инертных защитных газов (аргона или гелия) в замкнутом контуре минимизирует выбросы в атмосферу [4].

Резюмируя вышесказанное, лазерная наплавка представляет собой не просто альтернативный метод ремонта, а инструмент передового поверхностного инжиниринга, способный придать зубчатым колёсам свойства, недостижимые при традиционном монолитном производстве.

Дальнейшее развитие направления видится в нескольких векторах. Во-первых, это внедрение систем адаптивного управления процессом в реальном времени с использованием машинного зрения и пирометрии для контроля стабильности расплавленной ванны [7]. Во-вторых, перспективным является создание функционально-градиентных материалов (ФГМ), где химический состав плавно изменяется от вязкой сердцевины к сверхтвердой поверхности, что решает проблему отслаивания покрытий при экстремальных ударных нагрузках. В-третьих, активное внедрение высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) в качестве наплавочных порошков обещает создание покрытий с уникальным сочетанием высокой термостабильности, коррозионной стойкости и износостойкости [8]. Таким образом, лазерная наплавка закладывает фундамент для создания редукторных систем нового поколения, характеризующихся беспрецедентным ресурсом и энергоэффективностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н., Мисюк М.А. Технологические основы лазерной обработки материалов: Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 518 с.
2. Каблуков А.В., Коваленко В.В. Лазерная наплавка как метод восстановления и упрочнения крупногабаритных зубчатых передач тяжело нагруженных редукторов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2021. – Т. 17, № 4. – С. 185-192.
3. Бобров Г.В., Михайлов А.В., Сидоров Е.Н. Влияние остаточных напряжений на контактную выносливость зубчатых колес при лазерной наплавке порошковых материалов на железной основе // Сварочное производство. – 2022. – № 8. – С. 12-19.
4. Ocelik V., De Hosson J. Th. M. Laser cladding: A review of the state of the art, microstructural features, and future perspectives // Surface and Coatings Technology. – 2020. – Vol. 390. – P. 125634. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2020.125634.
5. Zhang K., Wang H., Liu W. Microstructure, tribological properties, and wear mechanism of laser clad Fe-based/WC composite coatings on gear steel // Optics & Laser Technology. – 2023. – Vol. 158. – Article 108856. DOI: 10.1016/j.optlastec.2022.108856.
6. ГОСТ Р ИСО 6336-1-2020. Расчет несущей способности зубчатых передач. Часть 1. Основные принципы, введение и общие коэффициенты. – М.: Российский институт стандартизации, 2020. – 45 с.
7. Fuhl B., Beyer E., Duschik A. In-situ monitoring of laser cladding processes using high-speed imaging and machine learning algorithms // Journal of Laser Applications. – 2021. – Vol. 33, No. 2. – P. 022005.
8. Zhang Y., Zuo T.T., Cheng Y. Microstructure and wear resistance of high-entropy alloy coatings by laser cladding on gear steel // Materials & Design. – 2022. – Vol. 215. – Article 110462. DOI: 10.1016/j.matdes.2022.110462.

УДК 537226.4

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СЕГНЕТОПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ NB-СОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Мартыненко А.А.¹, Павелко А.А.², Дудкина С.И.³, Глазунова Е.В.⁴, Резниченко Л.А.⁵
^{1,2,3,4,5}*Южный федеральный университет, Научно-исследовательский институт физики, г. Ростов-на-Дону, Россия*

⁴*Федеральное государственное учреждение науки Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова РАН, г. Грозный, Россия*
¹*alekmar@sfedu.ru*

Аннотация. В работе представлены результаты модификации элементного состава материала ПКР61. Это позволило упростить технологию его изготовления при сохранении электрофизических параметров. Полученный материал может быть рекомендован для датчиков систем, обеспечивающих безопасность в ядерной энергетике.

Ключевые слова: метаниобат лития, температура Кюри, пьезоэлектрические материалы, безопасность объектов в ядерной энергетике

HIGH-TEMPERATURE FERRO-PIEZOELECTRIC NB-CONTAINING MATERIALS FOR SYSTEMS ENSURING SAFETY IN NUCLEAR POWER ENGINEERING

Martynenko A.A.¹, Pavelko A.A.², Dudkina S.I.³, Glazunova E.V.⁴, Reznichenko L.A.⁵
^{1,2,3,4,5}*Southern Federal University, Research Institute of Physics, Rostov-on-Don, Russia*

⁴*Federal State Scientific Institution Kh.I. Ibragimov Integrated Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Grozny, Russia*
alekmar@sfedu.ru

Abstract. This work presents the results modification of the elemental composition of the PKR61 material. This simplifies its manufacturing process while maintaining its electrophysical parameters.

The obtained material can be recommended for sensors of systems ensuring safety in nuclear power engineering.

Keywords: lithium metaniobate, Curie temperature, piezoelectric materials, safety of nuclear power engineering

В Научно-исследовательском институте физики Южного федерального университета при участии соавторов предлагаемого доклада разработана серия сегнетопьезоэлектрических

материалов (СПМ) с повышенными температурами Кюри, T_K , и рабочими температурами, $T_{\text{раб}}$. [1]. Им свойственна также высокая анизотропия пьезосвойств, что позволяет их эффективно использовать в ультразвуковых дефектоскопах и толщиномерах, для неразрушающего контроля нагретых тел, а также для установления расхода и уровня жидкостей и газов в разогретых трубопроводах и баках [2]. Такие высокотемпературные (ВТ) СПМ находят свое применение и в датчиках контроля процессов, происходящих в различных промышленных энергетических установках. В табл. 1 приведены основные электрофизические параметры некоторых из разработанных СПМ.

Созданные на основе этих СПМ устройства применяются во многих областях техники и, прежде всего, в атомной энергетике как высокоточные пьезодатчики быстроменяющихся давлений генераторного типа в системах контроля объектов, испытывающих экстремальные внешние воздействия.

Таблица 1 – Основные электрофизические параметры ВТ-материалов, разработанных в НИИ физики ЮФУ

Материалы	Параметры*					
	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	$\text{tg}\delta \cdot 10^2$, ($E=50 \text{ В/см}$)	K_t/K_p	d_{33} , пКл/Н	Q_M	T_K , К
ПКР-40	180	1,0	6,28	52	2000	440
ПКР-50	150	0,4	8,0	25	4000	670
ПКР-61	48	1,9	19,3	12	<100	≥ 1200

*) Здесь: $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$ – относительная диэлектрическая проницаемость поляризованных образцов, $\text{tg}\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь, K_p , K_t – коэффициенты электромеханической связи радиальной и толщинной мод колебаний, соответственно, d_{33} – пьезомодуль, Q_M – механическая добротность, T_K – температура Кюри [3, 4].

Среди приведенных в таблице СПМ наивысшую $T_{\text{раб}}$ и крайне низкую диэлектрическую проницаемость имеет материал ПКР61 на основе метаниобата лития (МНЛ), перспективный для использования в ВЧ-устройствах. Но ввиду сложности его получения на всех стадиях технологического процесса (синтеза, спекания, механической обработки, поляризации) [5], а также низкой механической прочности, его промышленное использование затруднено.

В работе представлены результаты модификации элементного состава МНЛ путем введения в шихту оксида кальция, значительно упрощающего технологию получения материала и повышающего его механическую прочность.

Разработанный материал перспективен для использования в ракетно-ядерной технике, где требуются высокотемпературные материалы с повышенной механической прочностью.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности). Проект № FENW-2026-0022): «Сегнето (магнито) упорядоченные системы с высокими показателями поляризуемости и диэлектрической (магнитной) управляемости, мультикалорического и пьезоэлектрического эффектов, плотности запасаемой энергии на основе гетерогенных нетоксичных сред различной твердотельной архитектуры с наномасштабными дисторсиями для создания электронной компонентной базы». Использовано оборудование Центра коллективного пользования НИИ физики Южного федерального университета "Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данцигер, А.Я. Многокомпонентные системы сегнетоэлектрических сложных оксидов: физика, кристаллохимия, технология. Аспекты дизайна пьезоэлектрических материалов / А.Я. Данцигер, О.Н. Разумовская, Л.А. Резниченко, В.П. Сахненко, А.Н. Клевцов, С.И. Дудкина, Л.А. Шилкина, Н.В. Дергунова, А.Н. Рыбьянец. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2001–2002. Т. 1, 2. – 800 с.
2. Резниченко, Л.А. Фазовые состояния и свойства пространственно-неоднородных сегнетоактивных сред с различной термодинамической предысторией / Л.А. Резниченко // Дисс...на соискание ученой степени д-ра ф.-м. н. Ростов-на-Дону, 2002. – 461 с.
3. ОСТ 11 0444-87. Материалы пьезокерамические. Технические условия. Группа Э10. Введен 01.01.88. – 140 с.

4. IEEE Standard on Piezoelectricity ANSI/IEEE Std 176-1987, New-York. 1988. DOI: 10.1109/IEEESTD.1988.79638
5. Зорин, Д.И. Высокотемпературный экологически чистый пьезоматериал современной функциональной электроники: фазообразование, структура, микроструктура, прочность механоактивированных керамик / Д.И. Зорин, Е.В. Глазунова, А.В. Назаренко, Л.А. Шилкина, А.В. Черпаков, А.В. Попов, С.И. Дудкина, И.А. Вербенко, Л.А. Резниченко // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники : материалы 28-й Всероссийской молодежной научной конференции, г. Ульяновск, 21-23 октября 2025 г. – Ульяновск : УЛГТУ, 2025. – С. 216–218.

УДК: 621.791.76

АНАЛИЗ МАССИВОВ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ ИЗДЕЛИЙ АЭС МЕТОДАМИ ДЕСКРИПТИВНОЙ СТАТИСТИКИ

Подрезов Н.Н.¹, Винныйчук В.А.², Доронин Ю.В.³, Гужавин А.А.⁴

^{1,2} *Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия,*

^{3,4} *Аттестационный центр городского хозяйства, г. Москва, Россия*

³*e-mail: acgh@naks.ru*

Аннотация. Автоматическая сварка под флюсом (АСФ) является основным дуговым способом для изготовления ответственных изделий АЭС. Одна из особенностей АСФ – отсутствие у сварщика-оператора визуального контроля зоны горения дуги из-за насыпного слоя сварочного флюса. Для повышения информативности технологического процесса АСФ в работе предложено применить автономную систему регистрации и мониторинга на базе преобразователя NI 9229. Зарегистрированные измерения по току напряжению АСФ в форме эквидистантных временных рядов передавались в программно-аналитические приложения для обработки и визуализации результатов анализа. Массивы данных сварочного процесса в обязательном порядке подвергались предобработке. Параметризацию полученных временных рядов выполняли в дескриптивной (описательной) постановке задачи Data Mining.

По результатам АСФ технологических проб сделан вывод о необходимости разработки и введения процедуры регистрации данных процесса сварки и проведения первичного (описательного) количественного статистического контроля с занесением в отчетную документацию по качеству наряду с другими протоколируемыми контрольными операциями.

Ключевые слова: автоматическая сварка под флюсом, временной ряд, описательная статистика, массивы данных, ток, напряжение.

ANALYSIS OF DATASETS FROM MONITORING THE SUBMERGED ARC WELDING PROCESS OF NPP COMPONENTS USING DESCRIPTIVE STATISTICS METHODS

Podrezov N.N.¹, Vinnichuk V.A.², Doronin Yu.V.³, Guzhavin A.A.⁴

^{1,2} *Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”
Volgodonsk, Russia*

University MEPhI, Volgodonsk, Russia

^{3,4} *Certification Center for Municipal Economy, Moscow Russia
acgh@naks.ru*

Abstract. Automatic submerged arc welding (ASW) is the primary arc welding method for manufacturing critical components at nuclear power plants. One of the characteristics of ASW is the lack of visual control of the arc zone by the welder due to the bulk layer of welding flux. To improve the information content of the ASW process, this paper proposes using an autonomous recording and monitoring system based on the NI 9229 converter. Recorded ASW current and voltage measurements in the form of equidistant time series were transferred to software and analytical applications for processing and visualization of the analysis results. Welding process data sets were subject to mandatory preprocessing. The resulting time series were parameterized using a descriptive DataMining formulation.

Based on the results of the automated process testing, a conclusion was made on the need to develop and introduce a procedure for recording welding process data and conducting primary (descriptive) quantitative statistical control with recording in the quality reporting documentation along with other recorded control operations.

Keywords: automatic submerged arc welding, time series, descriptive statistics, data sets, current, voltage.

Данное исследование выполнено в развитие результатов анализа технологических характеристик АСФ, ранее полученных при параметризации временных рядов мгновенных значений тока и напряжения в сварочном контуре в работе [1].

Авторами выполнялись опытные наплавки на пластину толщиной 16 мм из стали 09Г2С в с конвенциональном режиме: ток постоянный обратной полярности, скорость подачи сварочной проволоки $V_{пп} = 110$ см/мин., что соответствовало заданию (уставке) тока дуги $I_d = 460$ А, уставка на режим нагрузки по напряжению сварки на выходе источника питания $U_c = 36$ В. Сварочные материалы: электродная проволока Св – 09ХГНМТА-ВИ диаметром 4 мм, керамический флюс ФЦК – 16. Основной элемент сварочного контура АСФ – микропроцессорный инверторный источник питания ИОН 48 – 900 фирмы «Донавтоматика». По схемному решению источник питания (ИП) является электрическим преобразователем и обеспечивает преобразование трехфазного переменного тока питающей сети в постоянный выходной выпрямленный ток. Возможные режимы функционирования ИП – конвенциональный, модулированный по току (напряжению) и программируемый.

В [1] показано, что конвенциональная сварка под флюсом, которая выполняется под управлением современных микропроцессорных систем питания сварочной дуги, является центрированным случайным процессом (ЦСП) относительно внешней статической вольтамперной характеристики (ВАХ) инверторного источника питания, рисунок 1.

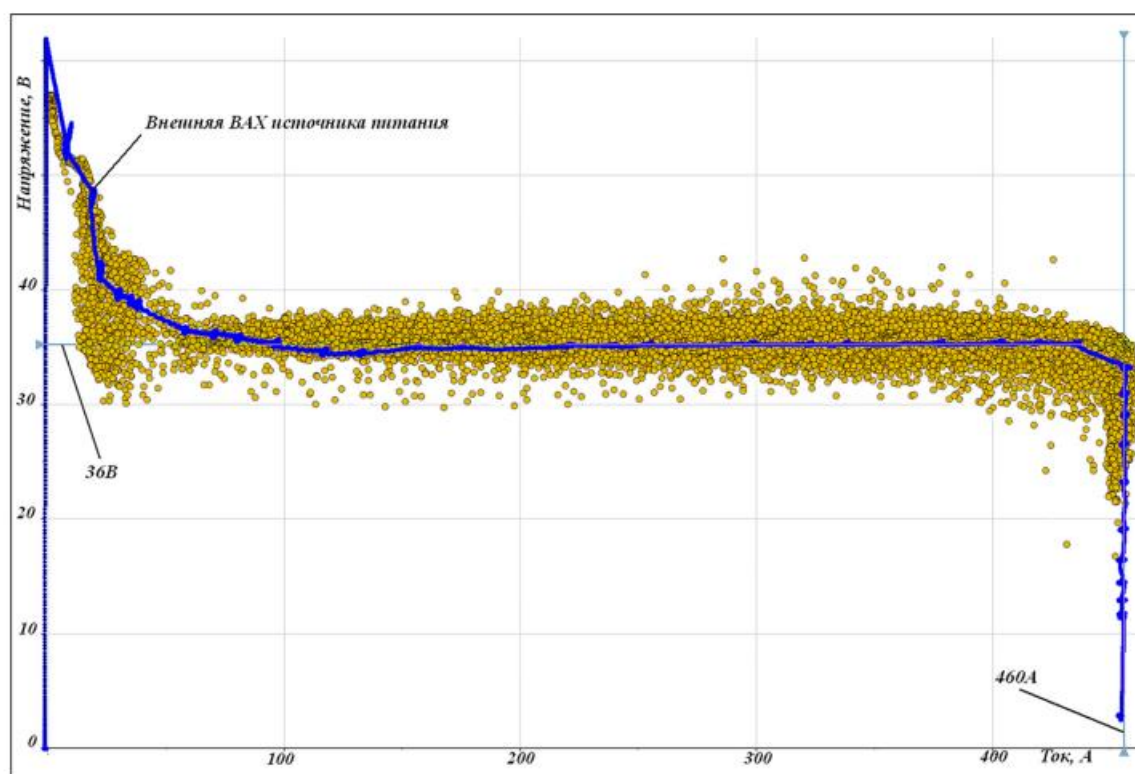


Рисунок 1 – Совмещенная синхронная диаграмма рассеяния исследуемых временных рядов мгновенных значений тока и напряжения и внешняя ВАХ ИП, режим конвенциональный [1].

Универсальная ВАХ ИП включает в себя продолжительные участки постоянного напряжения 36 В (горизонтальная прямая) и постоянного тока 460 А (вертикальная прямая).

Известно [2], что подобная форма выходных ВАХ относится к идеальной, поскольку максимально поддерживает статическую точность ИП – показателя характеризующего способность поддерживать заданные параметры выходного тока и напряжения в установившемся режиме сварки. Высокая статическая точность ИП необходима также для точного контроля параметров сварки и во избежание помех, вызванных колебаниями напряжения сети и длины дуги.

В ЦСП сварки горизонтальные и вертикальные участки статической ВАХ ИП являются постоянным математическим ожиданием процесса. В дополнение зависимость ковариационной функции только от разности моментов времени, в частности, постоянство дисперсии, позволяют установившийся процесс сварки считать стационарным в широком смысле. Следовательно, к установившемуся процессу АСФ применима теорема Винера – Хинчина, которая допускает в качестве статистических характеристик применять моменты первого и второго порядков.

Это означает, что параметризации временных рядов по току и напряжению, выполняемая в дескриптивной (описательной) постановке задачи Data Mining [3], вполне достаточна для получения первичной и достаточно полной информации о стадии установившегося процесса сварки под флюсом.

По результатам АСФ технологических проб сделан вывод о необходимости разработки и введения процедуры регистрации данных установившегося процесса сварки ответственных изделий АЭС и проведения первичного (описательного) количественного статистического контроля с занесением в отчетную документацию по качеству наряду с другими протоколируемыми контрольными операциями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жидков М.Е., Винныйчук В.А., Подрезов Н.Н., Чернов А.В. Исследование технологических характеристик процесса сварки под флюсом с использованием методов параметризации временных рядов // Современные наукоемкие технологии. 2025. № 12. С. 59-68; DOI: <https://doi.org/10.17513/snt.40605>.
2. Pan, Jiluan. Arc Welding Control. – Cambridge, England : Woodhead Pub., CRC Press, 2003. - xviii, 603 p.: ill.; ISBN 1-85573-687-X.
3. Han Jiawei, Pei Jian, Tong Hanghang. Data Mining: Concepts and Techniques. 4th Edition. Morgan Kaufmann, 2023. 752 c. ISBN: 978-0-12-811760-6.

УДК: 621.039.58:621.865.8

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ СЪЕМНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОМ РЕМОНТЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЭНЕРГОБЛОКА АЭС

Перепелицына А.В., Томилина А.С., Матвеев С.А.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
novicovaav@mail.ru*

Аннотация: В работе рассматривается применение беспилотных авиационных и робототехнических систем для обеспечения безопасности персонала при утилизации съёмных деталей (трубопроводов, насосов, арматуры) в рамках планово-предупредительного ремонта действующего энергоблока АЭС. Анализируются современные отечественные и зарубежные разработки, включая манипуляторы для демонтажа крупногабаритных узлов, дроны для мониторинга и мобильные платформы для транспортировки. Показано, что внедрение данных технологий позволяет исключить персонал из зон с высоким уровнем радиации, сократить время инспекционных работ и минимизировать риски аварийных ситуаций. Рассмотрены ключевые барьеры внедрения, такие как радиационная стойкость электроники и проблемы связи, а также перспективы развития, включая интеграцию с цифровыми двойниками и повышение автономности на основе искусственного интеллекта.

Ключевые слова: АЭС, планово-предупредительный ремонт (ППР), утилизация съёмных деталей, беспилотные авиационные системы (БПЛА), робототехнические комплексы, радиационная безопасность, принцип ALARA, дистанционное управление, цифровой двойник.

APPLICATION OF UNMANNED AND ROBOTIC SYSTEMS FOR THE SAFE DISPOSAL OF REMOVABLE COMPONENTS DURING PLANNED PREVENTIVE MAINTENANCE OF AN OPERATING NPP POWER UNIT

Perepelitsyna A.V., Tomilina A.S., Matveev S.A.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"
Volgodonsk, Russia
novicovaav@mail.ru*

Abstract: The paper examines the application of unmanned aerial and robotic systems to ensure personnel safety during the disposal of removable components (pipelines, pumps, valves) as part of planned preventive maintenance (PPM) of an operating NPP power unit. The study analyzes modern domestic and foreign developments, including manipulators for the dismantling of large-sized units, drones for monitoring, and mobile platforms for transportation. It is demonstrated that the implementation of these technologies allows for the complete exclusion of personnel from high-radiation areas, reduces the time required for inspection work, and minimizes the risks of emergency situations. The key barriers to implementation are discussed, such as the radiation resistance of electronics and communication problems, as well as development prospects, including integration with digital twins and increasing autonomy through artificial intelligence.

Keywords: NPP, planned preventive maintenance (PPM), disposal of removable components, unmanned aerial systems (UAS), robotic complexes, radiation safety, ALARA principle, remote control, digital twin.

В условиях действующего энергоблока АЭС планово-предупредительный ремонт (ППР) требует демонтажа и утилизации съёмных деталей (трубопроводов, насосов, теплообменников, арматуры), которые могут сохранять наведенную радиоактивность. Традиционные методы сопряжены с высокими дозовыми нагрузками на персонал, необходимостью применения тяжёлых средств индивидуальной защиты и жесткими ограничениями по времени пребывания в радиационно-опасной зоне. Принцип ALARA требует минимизации облучения, что диктует переход к дистанционным технологиям. Применение беспилотных авиационных и робототехнических систем позволяет вывести персонал из-под воздействия радиации при утилизации съёмных элементов [1].

Классификация робототехнических систем для утилизации:

- наземные манипуляторы. Используются для демонтажа крупногабаритных съёмных деталей, их резки, фрагментации и перемещения в транспортные контейнеры. Примером служит отечественный робот РОИН Р700М, способный работать при мощности дозы свыше 60 Гр/ч, обладающий телескопической стрелой длиной 8,5 м и грузоподъёмностью 1,5 т. Это позволяет безопасно извлекать и утилизировать массивные узлы без прямого участия человека;

- беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Применяются для предварительного мониторинга состояния съёмных деталей, оценки их остаточного ресурса, поиска скрытых дефектов и контроля радиационного фона в зоне демонтажа. Дроны Flyability Elios 2 RAD с датчиками измерения мощности дозы от 3 мкЗв до 10 Зв/ч обеспечивают детальный осмотр труднодоступных участков перед началом работ [2];

- мобильные платформы (квадропеды): используются для навигации в сложных промышленных помещениях, транспортировки фрагментов демонтированных деталей к местам временного хранения или дезактивации, а также для создания точных радиационных карт зоны ППР;

Технологические преимущества и эффект от внедрения:

- 1) снижение дозовых нагрузок: применение дистанционных систем позволяет исключить персонал из зон с высоким уровнем радиации на всех этапах утилизации, снижая индивидуальные дозы до 100%;

2) сокращение времени работ: внедрение БПЛА для мониторинга и мобильных роботов для демонтажа позволяет сократить время инспекционных и подготовительных операций с одного дня до одного часа, что критически важно при жестких графиках ППР;

3) повышение точности и безопасности: роботизированные системы обеспечивают высокую точность позиционирования (до $\pm 0,01$ мм в специализированных решениях), минимизируя риск повреждения смежных конструкций и предотвращая аварийные ситуации при манипуляциях с радиоактивными элементами [3].

Барьеры внедрения и перспективы развития

К основным барьерам внедрения относятся недостаточная радиационная стойкость электроники, проблемы со связью в железобетонных конструкциях энергоблоков, отсутствие единых стандартов для мобильных роботизированных систем в ядерной отрасли (ведется разработка стандарта IEC 63048) и вопросы кибербезопасности автономных платформ. Перспективными направлениями являются интеграция робототехнических комплексов с цифровыми двойниками энергоблока, развитие методов «переменной автономии» (адаптация уровня автоматизации к условиям работы) и повышение автономности на основе искусственного интеллекта для выполнения сложных операций по демонтажу и сортировке деталей [4].

Интеграция беспилотных авиационных и наземных робототехнических систем в процессы ППР позволяет радикально повысить безопасность персонала при утилизации съемных деталей действующего энергоблока АЭС. Это обеспечивает выполнение принципа ALARA, сокращает сроки ремонта и минимизирует риски аварийных ситуаций за счет высокой точности и дистанционного управления операциями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НОУ ИНТУИТ. Робототехника. Лекция 11: Роботы в атомной промышленности. – 2024. – URL: <https://intuit.ru> (дата обращения: 13.03.2026).
2. Центр развития базовых отраслей промышленности РФ. В России создан робот для работы в условиях особенно сильной радиации. – 12 мая 2025. – URL: <https://crp.gov.ru> (дата обращения: 13.03.2026).
3. Атомная энергия 2.0. Китай создал крупнейшего в мире робота с радиационной защитой для термоядерной электростанции. – 24 сентября 2025. – URL: <https://www.atomic-energy.ru> (дата обращения: 13.03.2026).
4. ENEC, TII and Aspire test autonomous aerial systems for critical infrastructure security // Computer Weekly. – 28 January 2026.

УДК 621.004.8:658.5

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РОССИЙСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЕГО ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ ГИБРИДНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Кузьмин А.А., Лозюк Д.С., Перепелицына А.В.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
novicovaav@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается внедрение гибридного искусственного интеллекта в процессы ультразвукового контроля машиностроительной продукции. Анализируется современное состояние и перспективы автоматизации расшифровки дефектограмм, классификации дефектов и прогнозирования качества изделий. Выполнен анализ возможностей ИИ в автоматизации работы службы контроля качества, включая обработку данных ультразвуковой дефектоскопии. На основе исследования отечественных разработок определены ключевые барьеры внедрения и перспективные направления развития систем ИИ в дефектоскопии. Показано, что применение гибридного ИИ позволяет повысить точность выявления дефектов на 40% и сократить время анализа дефектограмм на 50%.

Ключевые слова. Дефектоскопия, ультразвуковой контроль, гибридный ИИ, автоматизация контроля качества, машинное обучение, цифровая трансформация, неразрушающий контроль.

MODERN TRENDS OF RUSSIAN MACHINE BUILDING AND ITS TRANSFORMATION BASED ON THE INTRODUCTION OF HYBRID ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Kuzmin A.A., Lozyuk D.S., Perepelitsyna A.V.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"
Volgodonsk, Russia
novicovaav@mail.ru*

Abstract. The paper examines the implementation of hybrid artificial intelligence in ultrasonic testing processes of engineering products. The current state and prospects of automating the decoding of flawgrams, defect classification, and product quality forecasting are analyzed. An analysis of AI capabilities in automating quality control service operations, including ultrasonic flaw detection data processing, has been performed. Based on the study of domestic developments, key implementation barriers and promising directions for the development of AI systems in flaw detection have been identified. It is shown that the use of hybrid AI can increase the accuracy of defect detection by 40% and reduce the time for analyzing flawgrams by 50%.

Keywords. Flaw detection, ultrasonic testing, hybrid AI, quality control automation, machine learning, digital transformation, non-destructive testing.

Современное машиностроение России сталкивается с необходимостью модернизации систем неразрушающего контроля в условиях дефицита квалифицированных специалистов-дефектоскопистов и растущих требований к качеству продукции. Традиционные методы расшифровки дефектограмм уступают место интеллектуальным системам анализа на основе гибридного ИИ, способным обрабатывать большие массивы данных с датчиков контроля.

Анализ современных решений в области автоматизации дефектоскопии позволяет выделить ключевые направления применения ИИ [1]:

Автоматизированная обработка ультразвуковых сигналов с использованием методов глубокого обучения

- классификация дефектов на основе анализа акустических характеристик;
- прогнозирование развития дефектов в процессе эксплуатации
- создание цифровых двойников контролируемых изделий
- интеграция с системами управления качеством

Особую значимость приобретают разработки в области компьютерного зрения для анализа дефектограмм.

Современная промышленность находится на пороге масштабных изменений, где ключевым элементом становится интеграция гибридного искусственного интеллекта в производственные процессы. Особенно актуальным представляется применение ИИ-технологий в сфере неразрушающего контроля машиностроительной продукции, где традиционные методы диагностики уступают место интеллектуальным системам анализа [2].

Дефицит квалифицированных специалистов в области дефектоскопии, растущие требования к качеству продукции и необходимость повышения эффективности производственных процессов определяют необходимость цифровизации контроля качества. Внедрение гибридного ИИ позволяет преодолеть существующие ограничения и обеспечить новый уровень точности диагностики.

Анализ современных тенденций показывает формирование следующих ключевых направлений развития цифровизации дефектоскопии в процессе производства изделий тяжёлого и атомного машиностроения [3]:

1) автоматизация анализа данных неразрушающего контроля с применением методов машинного обучения. Это позволит сократить время расшифровки полученных результатов, время составления отчётных документов и заключений;

2) интеллектуальная обработка результатов ультразвукового и радиографического контроля. Внедрение ИИ позволит исключить ошибки человека;

3) прогнозирование дефектов на основе анализа исторических данных. Машины – имеют память, а человек, к сожалению иногда может забывать;

4) создание цифровых моделей процессов дефектоскопии;

5) интеграция систем контроля качества с производственными платформами.

Современные ИИ-системы в дефектоскопии способны осуществлять автоматическую классификацию дефектов по типу и размеру, они позволяют проводить многокритериальный анализ качества материалов, они способны писать заключения и формировать рекомендации по устранению выявленных несоответствий, а также генерировать электронные протоколы контроля в режиме реального времени, не заставляя простаивать цех в ожидании результата.

Однако, существуют барьеры внедрения, так как эта сфера достаточно новая и в России ещё мало освоена.

Основными препятствиями на пути цифровизации являются:

- недостаточное количество структурированных данных для обучения моделей;
- сложность верификации решений ИИ-систем;
- высокие требования к защите информации;
- необходимость профессиональной переподготовки специалистов.

Несмотря на трудности в перспективе будущее дефектоскопии связано с созданием отраслевых датасетов дефектов (некой базы данных, которая поможет обучить нейросеть), разработкой стандартов цифровой диагностики, так как на данный момент в России и в мире не существует ГОСТов и других стандартов, в которых отражены правила применения ИИ в промышленности. Кроме того необходима интеграция ИИ-решений с существующими системами контроля на данный момент развития промышленности. А самое важное – формирование гибридных рабочих групп человек-ИИ [4].

Внедрение гибридного ИИ в процессы неразрушающего контроля открывает новые возможности для повышения эффективности системы управления качеством. Интеллектуальные системы способны не только выявлять дефекты, но и предлагать оптимальные решения по их устранению, что существенно повышает конкурентоспособность машиностроительных предприятий.

Ожидаемый эффект от внедрения включает:

- повышение точности диагностики на 35-40%;
- сокращение времени анализа данных на 45-50%;
- снижение количества ошибочных решений на 60-70%;
- оптимизацию затрат на контроль качества на 25-30%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. From the Electrospindle to Data: SMAU Innovation Award to Scm Group [Электронный ресурс] // Scm Group. – 6 November 2025. – URL: <https://www.scmgroup.com> (дата обращения: 17.05.2026).
2. ЯМЗ и ЯЗДА внедрили систему контроля качества сборки двигателей с искусственным интеллектом // MASHNEWS. – 4 июня 2025.
3. Lin J., Ning J., Goldfeder J., Lipson H. Can AI Build a Machine that Draws a Heart? Generative Synthesis of Kinematic Mechanisms // NeurIPS 2025. – Columbia Engineering, 13 February 2026.
4. Роботизация, искусственный интеллект и сотрудничество: в ЮУрГУ обсудили приоритетные задачи Союза машиностроителей на 2026 год [Электронный ресурс] // Официальный сайт ЮУрГУ. – 19 февраля 2026. – URL: <https://www.susu.ru> (дата обращения: 16.05.2026).

УДК: 621.791.05:004.8

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ ТРУБОПРОВОДОВ ПЕРВОГО КОНТУРА АЭС С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Перепелицына А.В.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
novicovaav@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения качества сварки трубопроводов первого контура АЭС с помощью современных методов параметризации и моделирования сварочного процесса.

Ключевые слова: импульсная электродуговая сварка, трубопроводы первого контура, нейросети, статические и динамические ВАХ, фазовые портреты.

PARAMETRIZATION AND MODELING OF PULSED ARC WELDING PROCESS FOR PRIMARY LOOP PIPELINES OF NUCLEAR POWER PLANTS USING NEURAL NETWORK ANALYSIS OF STATIC AND DYNAMIC CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS

Perepelitsyna A.V.

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"

Volgodonsk, Russia

novicovaav@mail.ru

Abstract. The article deals with the problem of improving the quality of welding of primary loop pipelines of nuclear power plants using modern methods of parametrization and modeling of the welding process.

Keywords: pulsed arc welding, primary loop pipelines, neural networks, static and dynamic current-voltage characteristics (I-V characteristics), phase portraits.

Для обеспечения надёжной и безопасной эксплуатации атомных электростанций (АЭС) к качеству сварных соединений трубопроводов первого контура предъявляются исключительно высокие требования. Традиционные методы диагностики и стабилизации электродуговой сварки, основанные на линейных моделях, не всегда позволяют выявлять и предотвращать сложные неустойчивые режимы, возникающие в реальных условиях производства. В связи с этим актуальной задачей становится переход к современным методам параметризации и моделирования сварочного процесса с использованием нейросетевого анализа статических и динамических вольт-амперных характеристик (ВАХ) и реконструкции нелинейных динамических систем.

Трубопроводы первого контура АЭС работают в условиях высоких температур и давления, а также подвергаются воздействию агрессивных сред. Поэтому качество сварных соединений напрямую влияет на безопасность и долговечность оборудования. Импульсная электродуговая сварка занимает ключевое место среди технологий соединения таких трубопроводов благодаря способности обеспечивать контролируемое тепловложение, стабильность дуги и высокое качество шва.

Процесс сварки заключается в возбуждении электрической дуги между неплавящимся вольфрамовым электродом и заготовкой [1]. Сварочная ванна формируется за счёт расплавления металла заготовки, а защита от кислорода обеспечивается инертным газом (например, аргоном). Присадочный металл подаётся непосредственно в сварочную ванну. Импульсный режим позволяет управлять переносом металла, минимизировать разбрызгивание и деформации.

Преимущества импульсной электродуговой сварки:

- возможность сварки практически всех металлов;
- сварка во всех пространственных положениях;
- высокая надёжность процесса (вероятность дефектов менее 1% благодаря автоматизации);
- отсутствие вредных дымов и шлака;
- независимая регулировка параметров режима;
- автоматическое управление напряжением на дуге.

Недостатки импульсной электродуговой сварки:

- низкая производительность по сравнению с другими дугowymi процессами;
- высокие затраты на разработку технологии и режимов сварки;
- сложное оборудование, требующее значительных капитальных вложений.

Статическая ВАХ описывает зависимость между током и напряжением в установившемся режиме и служит основой для выбора режимов сварки [2]. Динамическая

ВАХ отражает быстрые изменения параметров в переходных процессах, что особенно важно для импульсной сварки, где стабильность дуги и перенос металла зависят от мгновенных значений тока и напряжения.

Применение теоремы Такенса позволяет по временному ряду одного параметра (например, тока) восстановить фазовый портрет сварочного процесса [3]. Фазовые портреты дают возможность визуализировать устойчивость, выявлять предвестники неустойчивости и хаотических режимов, а также строить нелинейные модели для прогнозирования и управления.

Современные методы машинного обучения позволяют автоматизировать анализ фазовых портретов, выявлять скрытые закономерности и классифицировать режимы сварки. Нейросети способны в реальном времени диагностировать неустойчивости, прогнозировать развитие дефектов и предлагать оптимальные параметры управления.

Разработанные методы диагностики и стабилизации интегрируются в интеллектуальные системы автоматического управления сваркой, что обеспечивает повышение качества, снижение брака и экономическую эффективность производства.

Апробация на промышленных образцах подтверждает эффективность: повышается качество шва, снижается уровень брака, улучшаются экономические показатели. Внедрение требует модернизации оборудования, обучения персонала и разработки стандартов.

Комплексный подход, сочетающий анализ статических и динамических ВАХ, фазовый анализ, методы нелинейной динамики и искусственный интеллект, открывает новые возможности для диагностики и стабилизации импульсной электродуговой сварки трубопроводов первого контура АЭС, отвечая вызовам современной атомной энергетики [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анищенко В. С. Знакомство с нелинейной динамикой. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: URSS, 2007. – 221 с.
2. Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 360 с.
3. Крампит А. Г., Зернин Е. А., Крампит М. А. Современные способы импульсно-дуговой MIG/MAG сварки // Текст научной статьи по специальности «Технологии материалов». – 2015.
4. Князьков В. Л. Повышение эффективности ручной дуговой сварки модулированным током электродами с покрытием за счёт автоматической адаптации параметров режима к технологическому процессу: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.06. – М., 2006. – 166 с.

УДК 621.039.6.002

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И МОНТАЖЕ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

Шваб Д.А.¹, Андриюков Д. И.², Томилин С.А.³, Арсентьева Е.С.⁴

^{1,2}Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, г. Волгодонск, Россия

^{3,4}Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
shvab_da@atom mash.ru

Аннотация. В работе рассматриваются новые технологии нанесения лакокрасочных материалов для оборудования АЭС при изготовлении и монтаже. Приведены положительные и отрицательные стороны методов. Проведены сравнения с имеющимися технологиями.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы, оборудования АЭС, новые технологии, сравнения.

NEW TECHNOLOGIES OF PAINTING MATERIALS APPLICATION DURING MANUFACTURE AND MOUNTING NPP EQUIPMENT

Shvab D.A.¹, Andriukov D. I.², Tomilin S.A.³, Arsentieva E.S.⁴

^{1,2}«Atom mash» the branch of «AEM-technologies» JSC in Volgodonsk, Volgodonsk, Russia

Abstract: This paper examines new technologies for applying paint and varnishes to nuclear power plant equipment during and installation. The advantages and disadvantages of these methods are discussed. Comparisons with existing technologies are provided.

Keywords: paints and varnishes, nuclear power plant equipment, new technologies, comparisons.

Атомная отрасль всегда опиралась на высочайшие стандарты надежности. Но сегодня перед нами стоят задачи совершенного иного масштаба: строить быстрее, работать с новыми типами реакторов, повышать безопасность до абсолютного уровня и при это сохранять экономическую эффективность. Решения таких задач при помощи старых технологий становится все тяжелее, поэтому промышленные заводы вступают в гонку по внедрению новых технологий.

В данной работе рассматривает технология электростатического распыления в сравнении со способом пневматического используемого на заводе Атоммаш.

Принцип электростатического распыления [1] основан на зарядке частиц лакокрасочного материала и их движении в электрическом поле к заземленной поверхности. Лакокрасочный материал подаваемый через сопло, попадает под высокое напряжение и приобретает заряд, при этом одноимённо заряженные капли отталкиваются друг от друга, что обеспечивает тонкое диспергирование и формирование равномерного факела. Под воздействием кулоновских сил частицы переносятся на окрашиваемую деталь и осаждаются на ней. Благодаря эффекту обёртывания они огибают изделие и покрывают даже теневые стороны, что резко снижает потери материала и дает равномерное покрытие. Схема работы электростатического распыления показан на рисунке 1.

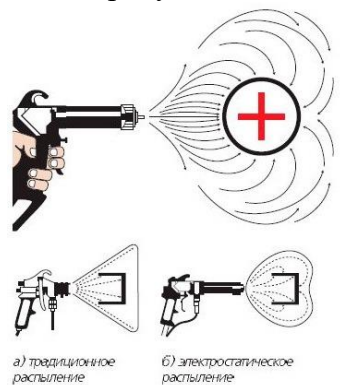


Рисунок 1 – Принцип работы электростатического распыления

Потери лакокрасочных материалов и коэффициент переноса материала в основном зависят от образования аэрозольного тумана в процессе лакокрасочных работ.

Согласно приказу Госкомэкология РФ от 12.11.97 №497 [2] «Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении лакокрасочных материалов (по величинам удельных выделений)», таблица № 2 – Выделение загрязняющих веществ при нанесении лакокрасочных покрытий, заявлены следующие доли аэрозоля при окраске в %-ном соотношении для пневматического, безвоздушного и электростатического способа:

- для пневматического способа – 30 %;
- для электростатического способа – 0,3 %.

Расчет аэрозоля краски, выделяющегося при лакокрасочных работах приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет аэрозоля краски, при работах

Расчет аэрозоля краски, выделяющегося при нанесении ЛКМ:	
Формула расчета*:	
$\Pi(a) (\text{ок}) = m(k) \times \text{дельта}(a) / 10,$ где $m(k)$ – масса краски, используемой для покрытия (кг); дельта(a) – доля краски, потерянной в виде аэрозоля (%).	
Для сравнительного анализа, примем $m(k)$ за равную величину = 10 кг.	
Пневматический способ	Электростатический способ
$\Pi(a) (\text{ок}) = 10 \times 30 / 10 = 30 (\%)$	$\Pi(a) (\text{ок}) = 10 \times 0,3 / 10 = 0,3 (\%)$
Вывод коэффициент переноса материала = 70 % от массы краски	Вывод коэффициент переноса материала = 99,7 % от массы краски
*Раздел 5 «Определение выделений (выбросов) загрязняющих веществ при нанесении лакокрасочных материалов	

Определение расхода лакокрасочного материала, представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет расхода лакокрасочного материала

Расчет расхода лакокрасочного материала при нанесении ЛКМ:	
Определение массы изделия после нанесения лакокрасочного покрытия	
Формула расчета:	
$m_2 = m_1 + m(k) - m(k) \times \Pi(a) (\text{ок})$ где $m(k)$ – масса краски, используемой для покрытия (кг); m_1 – масса изделия до нанесения лакокрасочного покрытия; $\Pi(a) (\text{ок})$ – потери лакокрасочного материала в виде аэрозоля.	
Для сравнительного анализа, примем $m(k)$ за равную величину = 10 кг, $m_1 = 100$ кг. Также следует учесть, что для того чтобы покрасить изделие полностью закладывается $m(k)$ без потерь. Следуя принципу сохранения массы делаем вывод, что $m_2 = m_1 + m(k)$ – признак полной покраски изделия.	
Уравнение соответствия	
Формула уравнения	
$m_1 + m(k) = m_1 + m(k) - m(k) \times \Pi(a) (\text{ок})$	
Пневматический способ	Электростатический способ
$m_1 + m(k) = m_1 + m(k) - m(k) \times \Pi(a) (\text{ок})$ $100 + 10 = 100 + 10 - 10 \times 30\%$ $110 = 107$	$m_1 + m(k) = m_1 + m(k) - m(k) \times \Pi(a) (\text{ок})$ $100 + 10 = 100 + 10 - 10 \times 0,3\%$ $110 = 109,7$
Вывод: для того чтобы уравнение соответствия было выполнено, необходимо закладывать $m(k)$ больше из-за потерь лакокрасочного материала в виде аэрозоля	
Определение необходимой массы $m(k)$	
Формула расчета	
$m(k) = x - x \times \Pi(a) (\text{ок})$	
где x – масса необходимая для полной покраски изделия; $m(k)$ – принимаем = 10 кг.	
Пневматический способ	Электростатический способ
$10 = x - x \times 30\%$ $x = 10 / 0,7 = 14,29$	$10 = x - x \times 0,3\%$ $x = 10 / 0,97 = 10,31$
Вывод: для полной покраски изделия необходимо закладывать ~ <u>42,9%</u> от идеальной массы	Вывод: для полной покраски изделия необходимо закладывать ~ <u>3,1%</u> от идеальной массы

Вывод: На основе приказа №497 Госкомэкология РФ от 12.11.97 №497 и расчетов, можно сделать вывод, что электростатический способ за счет меньшего преобразования лакокрасочного материала в аэрозоль, в сравнении с пневматическим способом:

- имеет меньший выброс аэрозольного тумана;
- имеет более высокий коэффициент переноса материала;
- меньше нагружает вентиляционные системы;
- имеет меньший расход лакокрасочного материала.

Также стоит обратить внимание на диапазоны толщин одного слоя лакокрасочного покрытия для пневматического и электростатического способов согласно ГОСТ 9.105 [3]

«Покрyтия лакокрасочные. Классификация и основные параметры методов окрашивания», приложение 2, таблица 1:

- 6-40 мкм – для пневматического способа;
- 10-25 мкм – для электростатического способа.

Данное сравнение показывает, что при электростатическом способе покpытия влияние «человеческого фактора» сводится к минимуму в сравнении с пневматическим способом. Оборудование электростатического покpытия проще в работе и не требует опыта работы с краскораспылителями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электростатическое распыление: сайт – URL: <https://studfile.net/preview/21750168/page:64/> (дата обращения: 05.05.2026)
2. Приказу Госкомэкология РФ от 12.11.97 №497: сайт – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=82236> (дата обращения: 05.05.2026).
3. ГОСТ 9.105-80 «Покрyтия лакокрасочные. Классификация и основные параметры методов окрашивания»: сайт – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200014787> (дата обращения: 7.05.2026)

СЕКЦИЯ

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК 681.5.08

АВТОМАТИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ И АНАЛИЗА ДАННЫХ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ АЭС

Абидова Е.А.¹, Галкин А.С.², Горбунов И.Г.³, Гордеев С.С.⁴, Глаговский Э.М.⁵,
Пугачева О.Ю.⁶, Прыткова Д.А.⁷

^{1,2,3,6,7} Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия

^{4,5} Институт промышленных ядерных технологий Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ», г. Москва, Россия

¹nii_energomash@mail.ru

Аннотация. С целью повышения безопасности и коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) атомных электростанций в НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ создана комплексная автоматизированная система хранения и анализа результатов тепловизионного контроля (КАС ТВК). Алгоритмическое и программное обеспечение КАС ТВК доработано с учетом особенностей работы Linux. Для автоматизации анализа термограмм в системе Linux были разработаны специальные решения, обеспечивающие анализ термограмм тепловизоров производства Testo, Guide и Flir. Работа КАС ТВК направлена на обеспечение безопасности АЭС в соответствии со стандартами МАГАТЭ.

Ключевые слова: КИУМ, диагностика оборудования АЭС, тепловизионный контроль, система Linux.

AUTOMATION OF DATA STORAGE AND ANALYSIS OF NPP THERMOVISION CONTROL

Abidova E.A.¹, Galkin A.S.², Gorbunov I.G.³, Gordeev S.S.⁴, Glagovsky E.M.⁵,
Pugacheva O.Yu.⁶, Prytkova D.A.⁷

^{1,2,3,6,7} Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”,
Volgodonsk, Russia

^{4,5} Institute of Industrial Nuclear Technologies at the National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

¹nii_energomash@mail.ru

Abstract. In order to improve the safety and utilization rate of the installed capacity of nuclear power plants, the Research Institute of the National Research Nuclear University MEPhI has created a comprehensive automated system for storing and analyzing thermal imaging monitoring results (CAS TVC). The algorithmic and software of CAS TVC has been improved taking into account the specifics of Linux. To automate the analysis of thermograms in the Linux system, special solutions have been developed to analyze the thermograms of thermal imagers manufactured by Testo, Guide and Flir. The work of CAS TVC is aimed at ensuring the safety of nuclear power plants in accordance with the IAEA standards.

Keywords: Installed Capacity Utilization Factor, NPP equipment diagnostics, thermal imaging control, Linux system.

В настоящее время результаты тепловизионного контроля (ТВК) хранятся сотрудниками отдела технической диагностики разрозненно и обрабатываются вручную практически без учета истории диагностирования, без учета результатов, полученных другими методами. Учитывая большой объем ТВК (каждую неделю добавляется несколько сотен снимков), данный подход является проблемой, не позволяет в полной мере обеспечить качество диагностирования. Систематизация хранения, автоматизация обработки данных, автоматизированное формирование протоколов создают востребованное преимущество на АЭС и других производствах.

С целью повышения безопасности и коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) атомных электростанций в НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ создана комплексная автоматизированная система хранения и анализа результатов тепловизионного

контроля (КАС ТВК). Алгоритмическое и программное обеспечение КАС ТВК доработано с учетом особенностей работы Linux. Выбор программного продукта на основе Linux обусловлен не только требованиями к безопасности, но и рядом других конкурентных преимуществ

База данных (БД) КАС ТВК обеспечивает сбор и создание архивов регистрации и обработки для долговременного хранения данных результатов тепловизионного контроля. БД КАС ТВК реализована на базе СУБД SQLite и содержит информацию о тепловизионных обследованиях оборудования АЭС, включая:

- модели конкретных единиц оборудования (например, арматуры системы аварийного газоудаления);
- контрольные значения параметров конкретных типов оборудования;
- расчетные параметры для различных моделей конкретных единиц оборудования.

Для автоматизации обработки термограмм разработаны диагностические модели, которые учитывают конструкцию оборудования, наиболее распространенные дефекты, опыт диагностирования не только на АЭС. Учитываются также принятые на АЭС методики, нормативные документы.

Герметичности арматуры уделяется повышенное внимание. В КАС ТВК предусмотрена возможность автоматического распознавания изображения и анализа температуры в контрольных областях, обеспечивающая автоматическое определение негерметичности арматуры (правильное распознавание 99% с использованием разработанной прикладной программой).

Прогнозирование технического состояния в КАС ТВК направлено на управление ресурсными характеристиками энергетического и тепломеханического оборудования. Мониторинг и прогноз можно увидеть в программе при переходе в режим «Обследование», выборе обследования интересующего оборудования и нажатии кнопки «История». Например, на рисунке 1 показаны история температур в контрольной точке 1 арматуры импульсного предохранительного устройства парогенератора, а также прогноз.

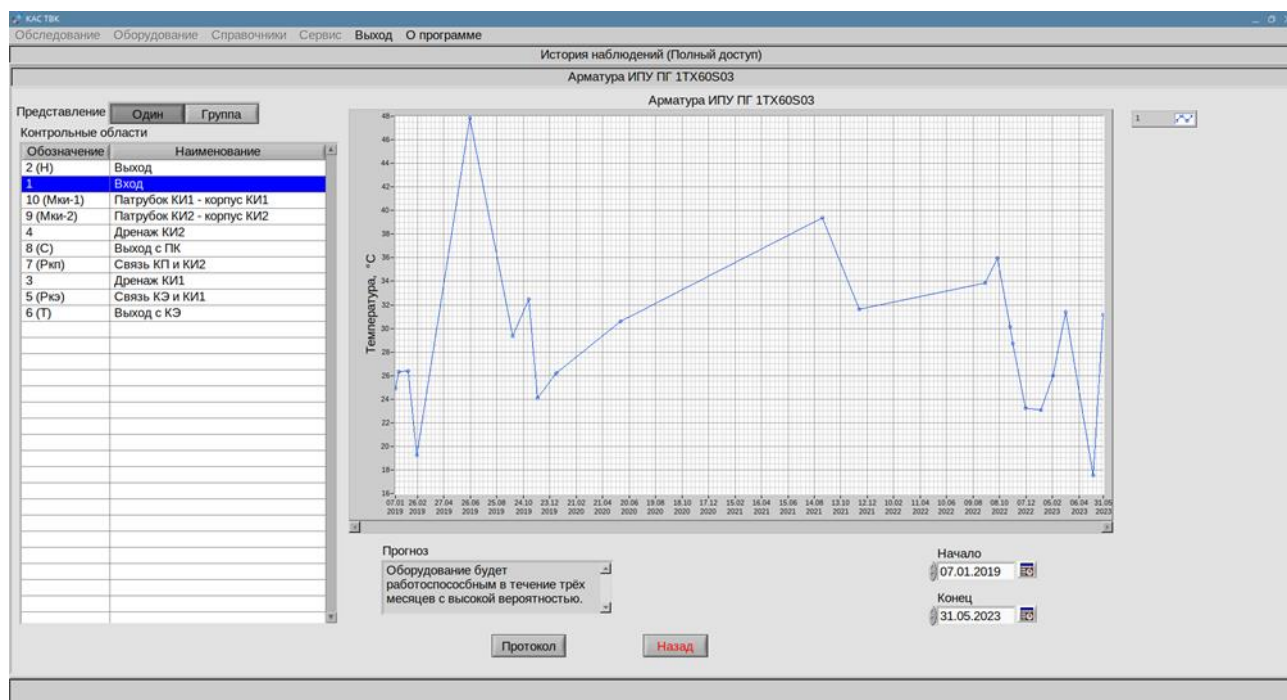


Рисунок 1 – История температур в контрольной точке 1 арматуры импульсного предохранительного устройства парогенератора

За счет прогнозирования обеспечивается экономический эффект КАС ТВК, заключающийся в увеличении интервалов между дорогостоящими и сложными ремонтными, демонтажными и инспекционными работами.

Формирование и вывод отчетных документов (протоколов, отчетов) обеспечивает подсистема ввода-вывода, которая реализует интерфейс пользователя КАС ТВК. Автоматизация обработки данных и протокольного вывода результатов контроля снижает трудоемкость создания документов (протоколов) по результатам термографического контроля оборудования. В протоколе, который формируется после сохранения обследования, можно увидеть информацию о выходе параметров за пределы нормы, результат обследования и прогноз, если прогноз неблагоприятный. Результат обследования также выводится в поле «Результат обследования» после формирования протокола.

Таким образом, разработана Linux-версия программного обеспечения КАС ТВК. Разработанное программное обеспечение Linux-версии КАС ТВК. Система обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- сбор и создание архивов обработки для долговременного хранения данных результатов тепловизионного контроля;
- обработку термографических снимков с целью определения технического состояния обследуемого оборудования с учетом его типа;
- автоматизированный анализ результатов тепловизионного контроля и прогнозирование технического состояния обследуемого оборудования с учётом ретроспективных данных;
- отображение сводной аналитической информации о состоянии оборудования на основе данных результатов тепловизионного контроля;
- формирование и вывод отчетных документов по результатам оценки технического состояния обследуемого оборудования на основании данных тепловизионного контроля.

КАС ТВК позволяет адаптировать программное обеспечение тепловизоров Testo 880, Testo 875, Testo 882, Testo 870, Testo 885, Testo 890, Guide C640P, Guide C800P и Flir T335, Flir P620, Flir T250 Western к программной среде Astra Linux. Работа КАС ТВК направлена на улучшение КИУМ, обеспечение безопасности АЭС в соответствии со стандартами МАГАТЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 153-34.0-20.364-00 «Методика инфракрасной диагностики тепломеханического оборудования».
2. Е.А. Abidova, A.E. Dembitsky, A.A. Lapkis, A.V. Chernov. Synthesis of Control Systems for Complex Technical Objects. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020.
3. Абидова Е.А., Дембицкий А.Е., Чернов А.В. Программотехнический комплекс регистрации и анализа диагностической информации дизель-генераторного оборудования АЭС // Моделирование и Анализ Безопасности и Риска в Сложных Системах: международная конференция МАБР-2020 (Санкт-Петербург, 23–25 июня, 2020 г.): – Санкт-Петербург, 2020. – 221 С. - ISBN 978-5-8088-1494.
4. Разработка автоматизированной системы хранения и обработки результатов тепловизионного контроля оборудования АЭС. Абидова Е.А., Воробьев Е.В., Калашников М.В., Прыткова Д.А. Наука и инновации в современном мире: Сборник научных статей. Ч
5. . IX/ Научный ред. канд. филол.н. Е.Н. Муратова. – М.: Издательство «Перо», 2021. 62-65 с.
6. Абидова Е.А., Дембицкий А.Е., Чернов А.В. Разработка системы диагностики дизель-генераторной установки. Системы управления и информационные технологии. Воронежский государственный технический университет. Воронеж. ISSN 1729-5068. 2021г. №1 – с. 49-53.
7. Концепция создания комплексной автоматизированной системы тепловизионного контроля. Д.В. Швеи, Е.А. Абидова, М.В. Калашников, П.В. Поваров. // Глобальная ядерная безопасность, 2022. - № 1 (42). 60-66 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ: СОВРЕМЕННЫЕ УГРОЗЫ И МЕХАНИЗМЫ ЗАЩИТЫ

Горшков Е.А.¹, Прудникова Н.Н.²

¹Балаковский филиал ФГБОУ ВО «Саратовская государственная
юридическая академия», г. Балаково, Россия

²Балаковский инженерно-технологический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Балаково, Россия

¹evgenij-gorshkov@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные угрозы информационной безопасности объектов критической информационной инфраструктуры атомной отрасли Российской Федерации. Исследуются нормативно-правовые основы обеспечения безопасности КИИ, а также современные технические механизмы защиты информационных систем предприятий атомной промышленности. Особое внимание уделяется вопросам сетевой сегментации, применению SIEM-систем, средств межсетевого экранирования нового поколения и интеграции с ГосСОПКА. На основе анализа современных киберинцидентов показана необходимость комплексного подхода к защите цифровой инфраструктуры стратегически значимых объектов.

Ключевые слова: критическая информационная инфраструктура, информационная безопасность, атомная отрасль, ГосСОПКА, SIEM, NGFW, АСУ ТП.

SECURITY OF CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE OF NUCLEAR INDUSTRY ENTERPRISES: CURRENT THREATS AND PROTECTION MECHANISMS

Gorshkov E.A.¹, Prudnikova N.N.²

¹Saratov State Law Academy (Balakovo Branch), Balakovo, Russia

²Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute), Balakovo, Russia

¹evgenij-gorshkov@mail.ru

Abstract. The article examines current information security threats to critical information infrastructure facilities in the nuclear industry of the Russian Federation. The regulatory framework and modern technical mechanisms for protecting information systems at nuclear enterprises are analyzed. Particular attention is paid to network segmentation, SIEM systems, next-generation firewalls, and integration with the State System for Detection, Prevention and Elimination of Cyberattacks (GosSOPKA). Based on the analysis of modern cyber incidents, the necessity of a comprehensive approach to protecting strategically important digital infrastructure is demonstrated.

Keywords: critical information infrastructure, information security, nuclear industry, GosSOPKA, SIEM, NGFW, industrial control systems.

Цифровизация предприятий атомной отрасли сопровождается активным внедрением автоматизированных систем управления технологическими процессами, распределённых вычислительных сетей и удалённых сервисов мониторинга. Вместе с этим возрастает и количество угроз, связанных с несанкционированным доступом к объектам критической информационной инфраструктуры (КИИ). Нарушение функционирования подобных систем способно привести не только к утечке данных, но и к серьёзным технологическим последствиям, затрагивающим вопросы государственной и энергетической безопасности [1].

В Российской Федерации обеспечение защиты КИИ регулируется Федеральным законом № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», Доктриной информационной безопасности Российской Федерации, а также нормативными актами ФСТЭК России и ФСБ России [2]. Дополнительное значение имеют отраслевые стандарты Госкорпорации «Росатом», направленные на формирование

единых требований к защите информационных систем предприятий атомной промышленности.

В последние годы существенно увеличилось количество атак, ориентированных на объекты энергетики и промышленности. По данным Совета Безопасности РФ, в 2025 году число кибератак на российскую критическую инфраструктуру увеличилось в несколько раз по сравнению с предыдущим периодом [3]. Значительная часть подобных инцидентов связана с деятельностью организованных АPT-группировок.

Одной из особенностей современных кибератак является их высокая степень подготовки и длительное скрытое присутствие злоумышленников внутри инфраструктуры предприятия. Основными каналами проникновения остаются фишинговые рассылки, эксплуатация уязвимостей VPN-шлюзов, компрометация подрядных организаций и атаки через цепочки поставок программного обеспечения.

В 2024–2025 гг. специалисты по информационной безопасности зафиксировали рост целевых атак на организации атомной энергетики. В частности, группа Lazarus использовала вредоносные архивы, распространявшиеся под видом тестовых заданий для ИТ-специалистов [4]. Одновременно с этим эксперты Kaspersky GReAT сообщили о первых атаках группировки SideWinder на объекты атомной отрасли [5].

Отдельного внимания заслуживают инциденты, связанные с компрометацией научных и исследовательских центров. Так, в 2021 году сообщалось о взломе инфраструктуры Корейского института атомных исследований через уязвимость VPN-сервиса [6]. Подобные случаи подтверждают, что даже высокозащищённые организации остаются потенциальными целями сложных кибератак.

Практика защиты объектов атомной отрасли строится на принципе многоуровневой обороны. Внешний периметр сети, как правило, защищается межсетевыми экранами нового поколения (NGFW), обеспечивающими фильтрацию трафика, контроль приложений и выявление сетевых аномалий.

Одним из ключевых механизмов защиты является сегментация сети. Производственные сегменты, корпоративная инфраструктура и системы АСУ ТП изолируются друг от друга с использованием VLAN, DMZ и специализированных шлюзов безопасности. Такой подход позволяет минимизировать распространение вредоносной активности внутри инфраструктуры предприятия.

Для централизованного мониторинга событий информационной безопасности применяются SIEM-системы, обеспечивающие сбор и корреляцию журналов безопасности с различных компонентов сети. В ряде организаций атомной отрасли используются отечественные решения, сертифицированные ФСТЭК России и интегрированные с ГосСОПКА [7].

Дополнительно используются механизмы поведенческого анализа, песочницы для проверки подозрительных файлов и системы обнаружения вторжений IDS/IPS. Важную роль играет переход к отечественным программно-аппаратным комплексам, обеспечивающим технологическую независимость критической инфраструктуры [8].

Таким образом, обеспечение безопасности критической информационной инфраструктуры представляет собой комплексную многоуровневую задачу, сочетающую нормативно-правовое регулирование, применение актуальных средств механизмов защиты, в том числе с применением отечественного ПО, а также SIEM-платформ, межсетевых экранов нового поколения и взаимодействие с ГосСОПКА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рашитова М.И., Негреева В.В. Международно-правовые основы противодействия киберпреступности на ядерных объектах // Cyberleninka. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhdunarodno-pravovye-osnovy-protivodeystviya-kiberprestupnosti-na-yadernyh-obektah> (дата обращения: 08.05.2026).
2. Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации»; Указ Президента РФ от 05.12.2016 № 646 «Об утверждении Доктрины информационной безопасности Российской Федерации».

3. Число кибератак на информационную инфраструктуру России выросло в четыре раза // Коммерсантъ. 09.10.2025. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/8101273> (дата обращения: 08.05.2026).
4. Лаборатория Касперского. Lazarus атакует атомную промышленность новым вредоносным ПО // Официальный сайт. URL: <https://www.kaspersky.ru/about/press-releases/lazarus-atakuet-atomnuyu-promyshlennost-novym-vredonosnym-po> (дата обращения: 08.05.2026).
5. Эксперты Kaspersky GReAT впервые зафиксировали кибератаки группы SideWinder на объекты атомной отрасли // Официальный сайт. URL: <https://www.kaspersky.ru/about/press-releases/eksperty-kaspersky-great-vpervye-zafiksirovali-kiberataki-gruppy-sidewinder-na-obuekty-atomnoj-otrasli> (дата обращения: 08.05.2026).
6. KAERI VPN Vulnerability Leads To South Korea's Institute Being Hacked // Heimdal Security. URL: <https://heimdalsecurity.com/blog/kaeri-vpn-vulnerability-network-breach/> (дата обращения: 08.05.2026).
7. Росэнергоатом повысит уровень киберзащищённости за счёт нового отечественного программно-аппаратного комплекса // АО «Концерн Росэнергоатом». URL: <https://www.rosenergoatom.ru/zhurnalistam/news/42336/> (дата обращения: 08.05.2026).
8. «Росатом» объединит предприятия, работающие над кибербезопасностью важных объектов // Кодекс: информационно-правовой портал. URL: <https://kodeks.ru/news/read/rosatom-obiiedinit-predpriatiia-rabotaiushhie-nad-kiberbezopasnostiu-vaznyx-obiiektov> (дата обращения: 08.05.2026).

УДК 006.91

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ АНАЛИТИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ

Карпенко А.Я.

*Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования
«Техническая академия Росатома», г. Обнинск, Россия
AYKarpenko@rosatom.ru*

Аннотация. Разработана новая методика калибровки, которая позволяет использовать в технологических задачах действительные значения дозированных объемов жидкости. Приводится алгоритм вычисления объема с учетом испарившейся воды за время калибровки, аэродинамической подъемной силы, температурного коэффициента расширения. Разработан алгоритм вычисления бюджета неопределенности, расширенной неопределенности результата измерения.

Ключевые слова: калибровка средств измерений, неопределенность измерений, дозирующие устройства аналитических лабораторий, бюджет неопределенности, алгоритмы обработки результатов измерений.

DEVELOPMENT OF CALIBRATION METHOD FOR METERING DEVICES IN ANALYTICAL LABORATORIES

Karpenko A.Y.

*Autonomous Non-Profit Organization of Additional Professional Education "Rosatom Technical Academy",
Obninsk, Russia
AYKarpenko@rosatom.ru*

Abstract. A new calibration method has been developed, which, unlike the verification method, allows the actual values of the dosed liquid volumes to be used in technological tasks. An algorithm for calculating the volume is given, considering evaporated water during calibration, aerodynamic lift, and temperature coefficient of expansion. An algorithm for calculating the uncertainty budget and extended uncertainty of the measurement result has been developed.

Keywords: calibration of measuring instruments, measurement uncertainty, metering devices of analytical laboratories, uncertainty budget, algorithms for processing measurement

Автор данной публикации разработал несколько методик калибровки, которые были представлены на предыдущих конференциях [6,7].

В настоящей работе поставлена задача разработки методики калибровки с целью измерений с высокой точностью дозированных объемов жидкости, оценки бюджета неопределенности, вычисления расширенной неопределенности результата измерения

объема. Это необходимо для методик измерений, например, методик количественного химического анализа теплоносителя АЭС.

Калибровка осуществляется с использованием гравиметрического метода. При этом методе определяется масса объема жидкости с учетом аэродинамической подъемной силы и массы испарившейся жидкости во время калибровки. Объем дозированной жидкости вычисляется через плотность жидкости с учетом измеренных параметров окружающей среды (температура воды, воздуха, атмосферного давления, влажности). Метрологическая прослеживаемость объема осуществляется к единице массы в качестве эталона.

После выполнения серии измерений масс объема жидкости вычисляется действительное значение объема дозирования:

$$V_x = M \cdot A \cdot T \quad (1)$$

где M – составляющая “Масса”;

A – составляющая “Аэродинамическая подъемная сила”;

T – составляющая “Температурный коэффициент расширения”.

Составляющая M вычисляется с учетом массы брутто m_b , тары m_t и массы m_i испарившейся воды за время измерений:

$$M = m_b - m_t + m_i \quad (2)$$

Масса испарившейся воды определяется экспериментальным методом. Например, в данной работе для стакана В-1-150 ТС с использованием линейного регрессионного анализа получена следующая зависимость массы испарившейся воды за время калибровки:

$$m(t) = 0,3693 + 0,08173 \cdot t \quad (3)$$

Составляющая A вычисляется следующим образом:

$$A = \frac{1}{\rho_w - \rho_a} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_b} \right) \quad (4)$$

где ρ_w , ρ_a , ρ_b – плотность воды, воздуха, металла, из которого изготовлена гиря.

Плотность воды ρ_w определяется по формуле Танаки [3]. Плотность воздуха ρ_a определяется как изложено в [4].

Составляющая T вычисляется следующим образом:

$$T = 1 - \gamma(t_w - t_r) \quad (5)$$

где γ – коэффициент объемного расширения материала дозатора;

t_w , t_r измеренная и исходная температура воды.

Рассмотрим вычисление бюджета неопределенности объема дозирования. Для этого объем представим как функцию переменных, которые были рассмотрены выше:

$$V_x = F(m, t_w, \rho_w, \rho_a, \gamma) \quad (6)$$

Для нахождения дисперсии V_x применим метод разложения в ряд Тейлора. Коэффициент чувствительности для взвешивания будет:

$$C_m = \frac{\partial F}{\partial m} = A \cdot T = \frac{V_x}{M} \quad (7)$$

Стандартная неопределенность взвешивания:

$$u(m) = \sqrt{u^2(m_b) + u^2(m_t) + u^2(m_i) + u^2(\delta m)} \quad (8)$$

Коэффициент чувствительности для температуры воды:

$$C_{t_w} = \frac{\partial F}{\partial t_w} = M \cdot A \cdot (-\gamma) = \frac{V_x}{T} \cdot (-\gamma) \quad (9)$$

Стандартная неопределенность измерение температуры воды:

$$u(t_w) = \sqrt{u^2(t_r) + u^2(d) + u^2(\delta_{ts}) + u^2(\delta t)} \quad (10)$$

Коэффициент чувствительности для плотности воды:

$$C_{\rho_w} = \frac{\partial F}{\partial \rho_w} = -M \cdot T \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_b}\right) \cdot \frac{1}{(\rho_w - \rho_a)^2} = \frac{V_x}{(\rho_w - \rho_a)} \quad (11)$$

Стандартная неопределенность определения плотности воды:

$$u(\rho_w) = \sqrt{u^2(\rho_{w,t}) + u^2(\rho_{w,f}) + u^2(\delta \rho_w)} \quad (12)$$

Коэффициент чувствительности для плотности воздуха:

$$C_{\rho_a} = \frac{\partial F}{\partial \rho_a} = M \cdot T \cdot \frac{\rho_b - \rho_w}{\rho_b (\rho_w - \rho_a)^2} = \frac{V_x \cdot (\rho_b - \rho_w)}{(\rho_b - \rho_a) \cdot (\rho_w - \rho_a)} \quad (13)$$

Стандартная неопределенность определения плотности воздуха:

$$u(\rho_a) = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_a}{\partial p}\right)^2 u_p^2 + \left(\frac{\partial \rho_a}{\partial t_a}\right)^2 u_{t_a}^2 + \left(\frac{\partial \rho_a}{\partial h_r}\right)^2 u_{h_r}^2 + u_F^2} \quad (14)$$

Коэффициент чувствительности для коэффициента объемного расширения материала дозатора:

$$C_\gamma = \frac{\partial F}{\partial \gamma} = M \cdot A \cdot [-(t_w - t_r)] = \frac{V_x}{T} \cdot [-(t_w - t_r)] \quad (15)$$

Оценивается сходимости, которая связана с процессом дозирования и измерением массы каждой дозы воды:

$$u_{cx} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \quad (16)$$

Стандартная неопределенность воспроизводимости с учетом результатов международных сличительных испытаний дозаторов:

$$u_{gc} = \frac{0,001 \cdot V_x}{\sqrt{3}} \quad (17)$$

Учитывая выше приведенные выражения, суммарная стандартная неопределенность будет вычисляться:

$$u(V_x) = [C_m^2 u^2(m) + C_{t_w}^2 u^2(t_w) + C_{\rho_w}^2 u^2(\rho_w) + C_{\rho_a}^2 u^2(\rho_a) + C_\gamma^2 u^2(\gamma) + u_{cx}^2 + u_{gc}^2]^{1/2} \quad (18)$$

Расширенная неопределенность определения объема дозирования:

$$U(V_x) = t_{p,v} \cdot u(V_x) \quad (19)$$

Число степеней свободы ν вычисляется по формуле Уэлча-Саттертуэйта [5]:

$$\nu_{эфф} = \frac{u^4(V_x)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4}{\nu_i}} \quad (20)$$

Результат определения дозированного объема будет:

$$V_x \pm U(V_x) \quad (21)$$

Результаты калибровки оформляют сертификатом в соответствии с требованиями документов системы калибровки в области использования атомной энергии [1,2].

Пример результатов калибровки дозатора представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты калибровки дозатора одноканального BIONIT Proline

$V_{\text{ном}}$ мкл	V_x мкл	U_p мкл	t_a °C	t_w °C	P_a гПа	h_r %
1000	1003,3	2,5	21,1	21,6	1017	50,1

Автор данной работы направляет полный текст разработанной методики калибровки по запросам пользователей и собирает отзывы об использовании, предложения, замечания, которые будут способствовать улучшению и актуализации представленной версии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Система калибровки в области использования атомной энергии. Требования к методикам калибровки. Методические указания», 2017
2. «Система калибровки в области использования атомной энергии. Требования к калибровочным лабораториям. Методические указания», 2017
3. Tanaka, M. Girard, G. Davis, R., Peuto, A. and Bignell, N., Recommended table for the density of water between 0 °C and 40 °C based on recent experimental reports, Metrologia, 2001, 38, 301-309.
4. ISO/TR 20461:2023(E) Determination of uncertainty for volume measurements of a piston operated volumetric apparatus using a gravimetric method.
5. ГОСТ 34100.3–2017 Руководство по выражению неопределенности измерения.
6. Карпенко А.Я. Анализ алгоритмов калибровки и поверки манометров. Тезисы докладов XX Международной научно-практической конференции, 19 – 20 сентября 2024 г. / НИЯУ МИФИ. – Волгоград: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2024. – С. 180-183. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=74503262&pff=1> (дата обращения: 05.05.2026).
7. Карпенко А.Я. Разработка методики калибровки амперметров и вольтметров. Тезисы докладов XXI Международной научно-практической конференции, 23 октября 2025 г. / НИЯУ МИФИ. – Волгоград: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2025. – С. 204-208. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=85424250> (дата обращения: 05.05.2026).

УДК 621.039.74

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АЭС НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА

Клятецкий С.А.

*Департамент технологической независимости объектов АСУ ТП и КИИ,
ГК «Росатом», г. Москва, Россия
ceo@thetop.pro*

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы, связанные с разработкой системы поддержки принятия решений (СППР) при сооружении объектов атомной энергетики на основе цифрового мониторинга строительной площадки. Сформулированы проблемы, возникающие на этапе строительно-монтажных и пуско-наладочных работ, а также предложены пути их решения за счет создания импортонезависимого программного обеспечения. Рассмотрены проблемы, связанные с обеспечением безопасности атомных станций. Приведено экономическое обоснование целесообразности разработки. Разработанная СППР прошла апробацию на площадке Курской АЭС-2.

Ключевые слова: атомная электрическая станция, поддержка принятия решений, цифровой мониторинг, информационная система.

INFORMATION SYSTEM FOR DECISION SUPPORT IN NUCLEAR POWER PLANT CONSTRUCTION BASED ON DIGITAL MONITORING DATA

Klyatetsky S.A.

*Department of Technological Independence of Automated Process Control Systems and Critical Information Systems,
Rosatom State Corporation, Moscow, Russia
ceo@thetop.pro*

Abstract. This paper examines issues related to the development of a decision support system (DSS) for the construction of nuclear power facilities based on digital monitoring of the construction site. The problems

encountered during construction, installation, and commissioning are identified, and solutions are proposed through the development of import-independent software. Issues related to ensuring the safety of nuclear power plants are also considered. An economic justification for the feasibility of the development is presented. The developed DSS was tested at the Kursk NPP-2 site.

Keywords: nuclear power plant, decision support, digital monitoring, information system.

Постановка задачи. В соответствии с законодательством Российской Федерации атомные станции относятся к особо опасным и технически сложным объектам [1, ст. 48.1], в связи с чем к ним предъявляются повышенные требования на всех этапах жизненного цикла, включая этап проектирования и строительства. Особенностью управления строительством АЭС является частичное перекрытие фаз проектирования, проведения строительно-монтажных (СМР) и пуско-наладочных (ПНР) работ. В соответствии с [2] неполная готовность проектной документации на момент начала строительства приводит к задержкам в выполнении работ и увеличению сроков строительства, которые, по данным МАГАТЭ, могут составлять до 14 лет. Кроме того, масштабы сооружения порождают огромные потоки информации, которые необходимы для оперативного принятия решений. В то же время, несмотря на предоставляемые современными цифровыми системами возможности сбора данных, их передача на управленческий уровень и использование для принятия решений находятся на достаточно невысоком уровне, что приводит временным потерям и ошибкам. Решением данной проблемы становится создание автоматизированной системы поддержки принятия решений, базирующейся на формализованных математических моделях и учитывающей требования МАГАТЭ к безопасности АЭС.

Основные результаты. Достижение поставленной цели включало следующие этапы:

- проведен анализ международного опыта строительства АЭС [1], а также рассмотрены классические методы принятия решений в условиях неопределенности и риска, что позволило определить задачи исследования и описать ключевые данные, необходимые для обеспечения оперативного мониторинга и управления;
- разработан и обоснован математический аппарат, составляющий основу модели информационной системы (ИС) оперативного мониторинга строительной площадки АЭС;
- разработана архитектура ИС и определен ее оптимальный состав с описанием необходимых для обеспечения полного информационного покрытия строительной площадки технологических подсистем и их конфигурации;
- разработана концептуальная модель архитектуры СППР, представленная с использованием открытого стандарта моделирования ArchiMate 3.1 [3], обеспечивающего формализованное представление бизнес-процессов, приложений и технологической инфраструктуры в единой модели;
- на платформе 1С:Предприятие разработаны модуль «Электронные журналы ПНР ЭПА» и модуль принятия решений.

Все полученные модели, методы и программное обеспечение были апробированы и верифицированы на данных строительства Курской АЭС-2: проанализировано более 238 тысяч записей за 396 дней эксплуатации и сделано около 18 тысяч рекомендаций.

Экономический эффект от внедрения разработанной системы поддержки принятия решений (СППР) формируется за счет сокращения сроков строительства и уменьшения длительности критических отклонений, снижения затрат на переделки и позднее устранение дефектов, сокращения трудозатрат на документирование и сопровождение процессов, а также снижения потерь, связанных с простоями зависимых операций и задержками управленческого реагирования. В соответствии с базовым сценарием экономический эффект от внедрения СППР составил 6,621 млрд. руб., что свидетельствует о высокой экономической эффективности внедрения СППР на площадке Курской АЭС-2. Дополнительно был рассчитан коэффициент возврата инвестиций, который составил 31,7, т.е. каждая единица совокупных затрат на создание и эксплуатацию СППР соответствует более чем тридцатикратному экономическому эффекту. Таким образом, проведенный расчет

экономической эффективности подтвердил не только техническую и организационную, но и финансовую целесообразность внедрения разработанной СППР.

Учитывая повышенные требования безопасности, предъявляемые к объектам ядерной энергетики, была проведена проверка разработанной СППР на соответствие рекомендациям МАГАТЭ TECDOC-1651 и требованиям GSR Part 2 [2, 4, 5]. Все требования реализованы полностью, а в отдельных аспектах (формализация связи «данные – решение», отказоустойчивость, импортонезависимость и др.) разработанная СППР превышает рекомендации TECDOC-1651.

Выводы и перспективы. Разработанные в ходе исследования математический аппарат и информационная система поддержки принятия решений позволяют обеспечить формализованную связь между данными цифрового мониторинга процесса строительства и управленческими решениями с учётом градуированного подхода МАГАТЭ к безопасности объектов атомной энергетики. Практическая применимость предлагаемой СППР подтверждена в условиях практической эксплуатации на Курской АЭС-2. В качестве перспективного развития предложенного подхода возможно тиражирование проекта на другие строящиеся блоки как в России, так и за рубежом, а также, с учетом соответствующей специфики, и на другие классы сложных инженерных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 23.03.2026) https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/
2. Nuclear Power Plant Construction: What Can Be Learned from Past and Current Projects : IAEA-TECDOC-1651 / International Atomic Energy Agency. - Vienna : IAEA, 2010. - 124 p
3. The Open Group. ArchiMate 3.1 Specification. - Berkshire : The Open Group, 2019. – 208 p.
4. Leadership and Management for Safety : General Safety Requirements : GSR Part 2 / International Atomic Energy Agency. - Vienna : IAEA, 2016. - 36 p.
5. Woodhead, R. Digital Construction: From Point Solutions to IoT Ecosystem / R. Woodhead [et al.] // Automation in Construction. – 2018. – Vol. 93. – P. 35-46.

УДК 681.5

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ SCRATCH И LIVETRONIC ПРИ УПРАВЛЕНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ УСТРОЙСТВАМИ

Магеррамова А.Р., Мечетина В.А., Полковникова Е. А., Щеголев С.С.

*Балаковский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Балаково, Россия
magerramovaarina10@gmail.com*

Аннотация. Визуальное программирование в Scratch может эффективно использоваться для обучения управлению исполнительными механизмами через контроллер Livetronic. Благодаря блочному интерфейсу, расширениям и протоколам связи, таким как Firmata и Serial, школьники и начинающие разработчики получают возможность создавать понятные робототехнические проекты. Исследование показывает доступность такого подхода для образовательных задач, прототипирования и постепенного перехода к текстовому программированию.

Ключевые слова: визуальное программирование, Scratch, контроллер Livetronic, робототехника, микроконтроллер, протокол Firmata, исполнительные механизмы, образовательная робототехника, блочное программирование, прототипирование, интернет вещей, алгоритмическое мышление.

ALGORITHMIZATION OF THE INTERACTION BETWEEN SCRATCH AND LIVETRONIC WHEN CONTROLLING ROBOTIC DEVICES

Magerrramova A.R., Mechetina V.A., Polkovnikova E. A., Shchegolev S.S.

*Balakovo Engineering and Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”,
Balakovo, Russia
magerramovaarina10@gmail.com*

Abstract. Visual programming in Scratch can be effectively used to teach the control of actuators through the Livetronic controller. Thanks to the block interface, extensions and communication protocols such as Firmata and Serial, students and novice developers get the opportunity to create understandable robotics projects. The study shows the availability of such an approach for educational tasks, prototyping and a gradual transition to text-based programming.

Keywords: visual programming, Scratch, Livetronic controller, robotics, microcontroller, Firmata protocol, actuators, educational robotics, block-based programming, prototyping, Internet of Things (IoT), algorithmic thinking.

Актуальность работы определяется растущей потребностью в простых и наглядных инструментах для обучения основам программирования и управления техническими устройствами, а также значительным образовательным потенциалом среды Scratch. Цель исследования – изучить и продемонстрировать возможности визуального программирования в Scratch для управления исполнительными механизмами, подключёнными к контроллеру Livetronic. Объектом выступает сам контроллер с подключённой периферией, а предметом – технические и методические аспекты блочного программирования для управления этими устройствами.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательно рассмотреть три ключевых аспекта исследования. Во-первых, изучить саму концепцию визуального программирования – её сущность, преимущества и ограничения как образовательного подхода. Во-вторых, проанализировать среду Scratch как конкретный инструмент реализации этой концепции, её структуру, возможности и средства взаимодействия с внешними устройствами. В-третьих, рассмотреть технические характеристики контроллера Livetronic, к которому будут подключаться исполнительные механизмы, а также поддерживаемые им интерфейсы и протоколы связи. Такая последовательность позволит перейти от общих принципов к практической реализации управления оборудованием через блочное программирование.

1. Визуальное программирование. Подход, при котором программа собирается из графических блоков и схем вместо написания текстового кода. Его ключевыми преимуществами являются низкий порог входа, наглядность, быстрое прототипирование, развитие алгоритмического мышления, интерактивность и высокая мотивация учащихся. Вместе с тем подход имеет ограничения: сложность масштабирования крупных проектов, меньшая гибкость по сравнению с текстовыми языками, проблемы переносимости между средами, снижение глубины понимания внутренней работы программы и более низкая производительность.

2. Среда Scratch – бесплатная визуальная среда от MIT Media Lab, в которой программы создаются из спрайтов и блоков, сгруппированных по категориям: движение, внешний вид, звук, события, управление, сенсоры, операторы, переменные и пользовательские блоки. Программы собираются перетаскиванием блоков и запускаются по зелёному флажку. Для взаимодействия с внешними устройствами применяются расширения (LEGO WeDo/EV3, Firmata для Arduino-совместимых плат), а также HTTP API, последовательный порт и программы-посредники (Scratch Link, Python-скрипты), транслирующие команды между Scratch и контроллером.

3. Серия микроконтроллеров Livetronic построена на базе ARM Cortex-M или ATmega с тактовой частотой 48–168 МГц, объёмом Flash 64–512 КБ и RAM 8–64 КБ, питанием 5 или 3,3 В и рабочим диапазоном 0–70 °С. Платы оснащены цифровыми и аналоговыми входами/выходами, ШИМ-каналами, интерфейсами UART, I²C, SPI и USB для подключения кнопок, светодиодов, реле, датчиков и моторов. Поддерживаются протоколы Firmata (для управления из Scratch и других ПК-программ), Serial, I²C/SPI, а в отдельных моделях – Bluetooth и Wi-Fi, что обеспечивает гибкую интеграцию контроллера с визуальной средой программирования.

Перечень используемых компонентов:

1. Контроллер Livetronic (модель XYZ) – основной управляющий модуль.

2. Исполнительные механизмы: светодиод (5 мм, красный) – для демонстрации цифрового выхода, сервомотор SG90 – для тестирования управления углом поворота, двигатель постоянного тока с драйвером L298N – для проверки ШИМ управления скоростью, реле (5 В) – для коммутации нагрузки.

3. Датчики: фоторезистор с делителем напряжения – для измерения освещённости, потенциометр (10 кОм) – для ручного ввода данных, ультразвуковой датчик HC SR04 – для измерения расстояния.

4. Вспомогательные компоненты: макетная плата и провода, резисторы (220 Ом, 10 кОм), источник питания 5 В/2 А.

5. Версии ПО и дополнительные библиотеки/расширения: Scratch 3.0 – основная среда визуального программирования, Firmata Firmware (версия 2.6.5) – прошивка для контроллера, обеспечивающая совместимость с протоколом Firmata, Scratch Firmata Extension – расширение для Scratch, позволяющее взаимодействовать с контроллером через Firmata, Arduino IDE – используется для загрузки прошивки Firmata на контроллер Livetronic, Python с библиотеками pyFirmata – для тестирования и отладки связи и serial – для работы с последовательным портом. Драйверы USB to Serial (CH340/CP210x) – для корректного распознавания контроллера ПК.

Для наглядности рекомендуется создать схему в программе Fritzing или Tinkercad Circuits, где будут отображены контроллер Livetronic и все подключённые компоненты, а также соединения между ними, полярность и номиналы резисторов [2].

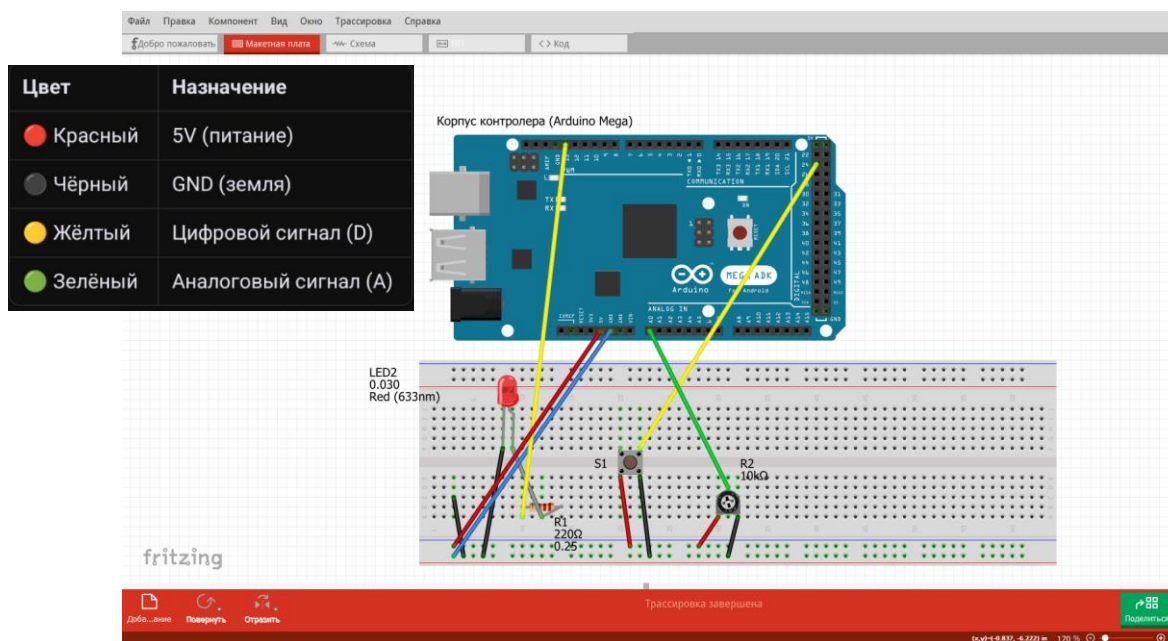


Рисунок 3 – Схема подключения периферийных устройств к контроллеру Livetronic (светодиод, кнопка, потенциометр)

Практическая реализация заключается в следующем:

1. Установка и настройка ПО. Установите Arduino IDE с официального сайта и добавьте поддержку контроллера Livetronic: в Arduino IDE откройте Файл → Настройки → Дополнительные URL-адреса менеджера плат, добавьте ссылку на пакет Livetronic из документации на микроконтроллер. Перейдите в Инструменты → Плата → Менеджер плат, найдите и установите пакет Livetronic. Установите Scratch и драйверы USB-to-Serial (CH340/CP210x) для корректного распознавания контроллера ПК.

2. Загрузка прошивки Firmata на контроллер. Подключите контроллер Livetronic к ПК через USB-кабель. В Arduino IDE выберите плату Livetronic в Инструменты → Плата, выберите COM-порт в Инструменты → Порт, Откройте пример прошивки: Файл → Примеры → Firmata → StandardFirmata и нажмите кнопку «Загрузить» – прошивка будет скомпилирована и залита на контроллер.

3. Настройка связи Scratch с контроллером. Запустите Scratch и нажмите на значок «Расширения», выберите расширение Firmata. В появившемся окне выберите COM-порт, соответствующий контроллеру Livetronic и нажмите «Подключиться». При успешной связи индикатор соединения станет зелёным.

В ходе исследования были изучены и практически проверены возможности визуального программирования в среде Scratch для управления исполнительными механизмами контроллера Livetronic. Работа позволила подтвердить гипотезу о том, что Scratch может служить эффективным инструментом для взаимодействия с реальными физическими устройствами – при условии правильной настройки интеграции и учёта ограничений среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарапата В. В. Scratch. Программировать сможет каждый : учебное пособие / В. В. Тарапата. – Москва : Лаборатория знаний, 2025. – 299 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/451520> (дата обращения: 30.04.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Бейктал Д. Конструируем роботов на Arduino. Первые шаги : руководство / Д. Бейктал ; перевод с английского О. А. Трефиловой. – 4-е изд. (эл.). – Москва : Лаборатория знаний, 2024. – 323 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/418001> (дата обращения: 30.04.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

УДК 621.039, 519.216, 519.213

ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ КОРПУСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

Жидков М.Е.¹, Пугачева О.Ю.², Поваров П.В.³

¹*Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш», г. Волгодонск, Россия*

^{2,3}*Волгодонский филиал инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия*

¹*mezhidkov@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены предпосылки и перспективы цифровизации процессов сварки корпусного оборудования АЭС. На основе выполненных экспериментов по регистрации параметров, влияющих на стабильность сварочного процесса, сделан вывод о высоком потенциале цифровой трансформации данного этапа производства. Оцифровка процессов сварочного производства позволит не только организовать паспортизацию сварных соединений и оптимизировать рутинные операции входного контроля, испытаний готовых изделий и контрольных образцов, но и сформировать банк данных, который послужит основой для разработки цифровых двойников сварочных процессов и алгоритмов машинного обучения, направленных на повышение качества сварных соединений ответственного корпусного оборудования АЭС.

Ключевые слова: Корпусное оборудование АЭС, система управления сварочным процессом, оценка качества сварки, анализ данных, паспортизация оборудования АЭС.

PROSPECTS FOR THE DIGITALIZATION OF WELDING PROCESSES IN THE MANUFACTURE OF NPP PRESSURE VESSEL EQUIPMENT

Zhidkov M.E.¹, Pugacheva O.Yu.², Povarov P.V.³

¹*Branch of JSC AEM-Technologies "Atommas", Volgodonsk, Russia*

^{2,3}*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI" Volgodonsk, Russia*

Abstract. The work describes the prerequisites and prospects for digitalizing welding processes for NPP pressure vessel equipment. Experimental data on recording stability-critical welding parameters confirm the feasibility of digitalization. Expected outcomes include weld certification, optimized incoming inspection and testing, and the creation of a database. Accumulated data will support the development of digital twins and machine learning algorithms, ultimately enhancing the quality of critical pressure vessel welds.

Keywords: NPP pressure vessel equipment, welding process control system, welding quality assessment, data analysis, NPP equipment certification.

К качеству изготовления корпусного оборудования атомных электростанций (реактор, парогенератор, гидроемкость системы аварийного охлаждения) предъявляется высочайший уровень требований, определяемый ядерной и радиационной безопасностью [1].

Традиционное управление процессами сварки корпусного оборудования АЭС характеризуется следующими системными проблемами:

- зависимость качества электродуговой сварки (особенно ручной и механизированной) от квалификации сварщика;
- влияние человеческого фактора на активный контроль в процессе сварки;
- апостериорный характер оценки качества (разрушающий и неразрушающий контроль уже после выполнения сварки);
- сложность регулирования процесса в реальном времени по традиционным наблюдаемым параметрам (ток, напряжение).

Перечисленные проблемы можно рассматривать как реальные области для улучшений, а также реальные перспективы для совершенствования существующих подходов к управлению сварочным процессом корпусного оборудования АЭС [1].

Системный анализ производства корпусного оборудования и структурирование организационных и не менее сложных физических процессов позволяет, используя принцип декомпозиции, сформировать структуру технологических операций по изготовлению корпусного оборудования на множествах более простых подпроцессов [2].

Последовательная формализация входных воздействий, а также взаимосвязей и контролируемых параметров для каждого подпроцесса позволит, исходя из выявленных областей для улучшения, разработать информационную модель и приступить к её наполнению реальными данными.

ВИТИ НИЯУ МИФИ имеет в своем составе лабораторию и полигон для исследований и моделирования процессов сварки, обучения сварочным процессам. Специализированные лаборатория и полигон оснащены сварочным оборудованием ESAB, Kempu и других известных брендов, что позволяет моделировать производственные процессы и решать задачи их оптимизации.

Очередные шаги в этом направлении предприняты сотрудниками ВИТИ НИЯУ МИФИ совместно с АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» и связаны с разработкой регистратора сварочных процессов, который предназначен для регистрации, отображения и хранения полученных в производственных условиях параметров сварочных процессов: ток, напряжение, время горения дуги, данные акустических датчиков (анализ звуковых сигналов дуги). Собранные таким образом массивы данных будут использованы для интеллектуального анализа (Data Mining).

В настоящее время выполняется анализ информационного отображения физических процессов в сварочном контуре на основе собственных накопленных лабораторных данных. Применение регистратора сварочных процессов в производственных условиях и анализ реальных производственных данных позволит перейти к разработке алгоритмов машинного обучения для управления процессом электродуговой сварки по его состояниям и обеспечения качества сварных соединений.

Дополнительными источниками данных на пути цифровизации процессов сварки корпусного оборудования АЭС являются:

- таблицы контроля качества основного металла (ТБ1);
- таблицы контроля качества сварных соединений (ТБ2) со схемой расположения швов;
- карты технологического процесса сварки и карты контроля (ВИК, УЗК, РД, КК);
- протоколы испытаний материалов и сварных соединений;
- данные автоматизированных систем контроля и диагностики (простои, температура изделия в зоне шва, идентификация сварщика и др.).

Цифровизация процессов сварки корпусного оборудования позволит не только оптимизировать рутинные процессы, но также выявить новые области для улучшений и обеспечить сквозной цифровой контроль от конструкторской документации до управления ресурсными характеристиками в процессе эксплуатации оборудования АЭС. Описанные работы внесут весомый вклад в цифровую трансформацию [3] сварочного производства в атомной отрасли России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полякова Р.О. Исследование металла ЗТВ сварных соединений корпусов реакторов из стали 15Х2НМФА-А. Дисс. ... канд. техн. наук. Москва: 2023. 182 с.
2. Балашов Е.П., Пузанков Д.В. Проектирование информационно- управляющих систем. – М.: Радио и связь, 1987. - 856 с.
3. <https://www.rosenergoatom.ru/zhurnalistan/news/30215/?ysclid=mpf4d0g1p645542794>.

УДК 004.65

ФОРМИРОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ ТРЁХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ КОМПЛЕКТОВ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ, ИНСТРУМЕНТОВ И ПРИНАДЛЕЖНОСТЕЙ ДЛЯ ИТ-ОБОРУДОВАНИЯ

Полякова Е.Е., Корчагова Т.Р.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
epolyakova2020@mail.ru*

Аннотация. В работе описаны принципы построения информационной базы для регистрации трёхмерных моделей ЗИП ИТ-оборудования, предназначенной для накопления и упорядочивания данных о запасных частях, используемых в АО «КОНСИСТ-ОС». Разработанная система позволяет централизованно хранить и наглядно отображать информацию. Благодаря этому обеспечивается оперативный доступ к особо значимым сведениям и возрастает общая эффективность технического обслуживания вычислительной техники.

Ключевые слова: автоматизация, 3D-моделирование, база данных, производственный процесс, 1С:Предприятие.

FORMATION OF A LIBRARY OF THREE-DIMENSIONAL MODELS OF SPARE PARTS, TOOLS, AND ACCESSORIES FOR IT EQUIPMENT

Polyakova E.E., Korchagova T.R.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"
Volgodonsk, Russia
epolyakova2020@mail.ru*

Abstract. The paper describes the principles for building an information database for registering three-dimensional models of IT equipment spare parts, intended for accumulating and organizing data on spare parts used at JSC "KONSIST-OS." The developed system allows for centralized storage and clear visualization of information. This ensures prompt access to particularly important information and increases the overall efficiency of IT maintenance.

Keywords: automation, 3D modeling, database, production process, 1С:Enterprise.

Переход к цифровой экономике подразумевает фундаментальное изменение бизнес-моделей и процессов деятельности предприятий, основанное на широком внедрении цифровых технологий. В то же время в условиях импортозамещения и ограничения поставок зарубежных комплектующих предприятия и подразделения, обслуживающие ИТ-инфраструктуру, часто сталкиваются с критической проблемой отсутствия необходимых запасных частей при выходе оборудования из строя.

Традиционные модели управления запасами (заблаговременная закупка или закупка по факту поломки) либо приводят к иммобилизации финансовых ресурсов, либо

увеличивают время простоя оборудования. Альтернативой является 3D-печать комплектующих, однако для её реализации необходима система централизованного хранения и учёта 3D-моделей запасных частей. Данное решение позволяет оптимизировать процессы обеспечения комплектующими и сократить время обслуживания оборудования.

В настоящее время в филиале АО «КОНСИСТ-ОС» «Волгодонский» учёт запасных частей ведётся в платформе 1С:Предприятие, однако 3D-модели в системе отсутствуют. Цифровые модели деталей, если и создаются, хранятся разрозненно – на локальных рабочих станциях или в сетевых папках без какой-либо структуры. Это приводит к следующим последствиям:

- затруднённый поиск и идентификация деталей;
- отсутствие контроля версий;
- риск утраты данных при кадровых изменениях.

Разрабатываемое решение направлено на устранение указанных недостатков за счет создания единой базы данных, объединяющей учетную информацию и 3D-модели. Это позволит существенно повысить точность идентификации деталей, снизить количество ошибок при подборе комплектующих и ускорить процесс выполнения ремонтных работ, а также повысить экономическую эффективность.

Новизна работы заключается в интеграции учетной информации с 3D-моделями в единой конфигурации 1С, обеспечивающей версиюность, совместимость с оборудованием и аналитическую отчетность.

Целью данной работы является упрощение учёта и управления запасными частями, а также сокращение времени на их подбор и идентификацию. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- анализ предметной области и требований к системе;
- разработка функциональных и логических моделей системы;
- реализация интерфейса для загрузки, просмотра и поиска ЗИП в 1С;
- настройка механизмов отображения 3D-моделей;
- тестирование производительности и удобства использования.

Разработка велась с использованием современных программных средств, включая платформу 1С:Предприятие и инструменты для работы с 3D-моделями. Информационной основой проекта являются каталоги комплектующих и техническая документация производителей оборудования.

Для описания бизнес-процессов были разработаны диаграммы деятельности, описывающие последовательность действий при работе с системой.

В частности, на рисунке 1 представлен процесс добавления новой запасной части и загрузки соответствующей 3D-модели. Данный процесс обеспечивает прослеживаемость изменений и исключает использование устаревших моделей.

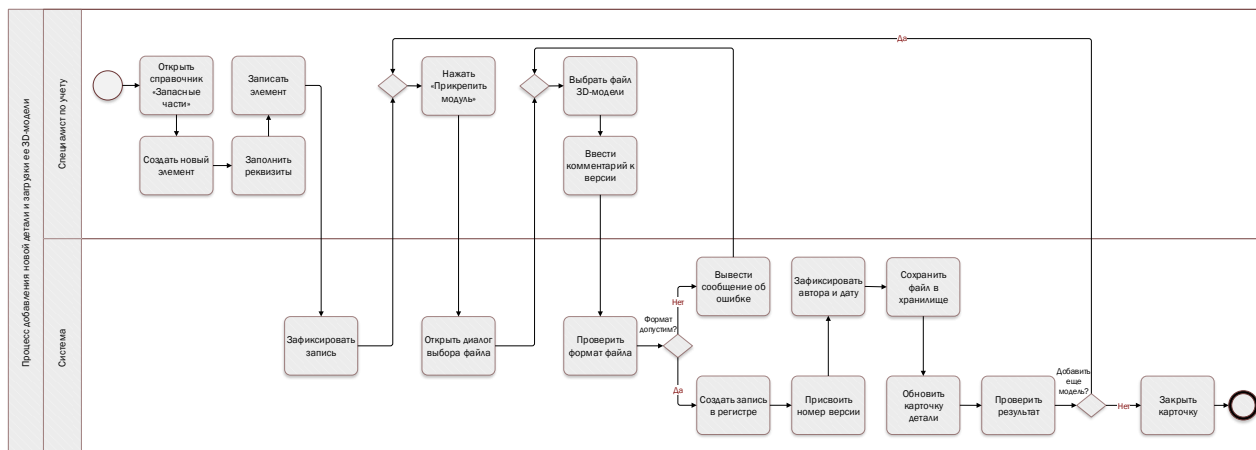


Рисунок 1 – Диаграмма деятельности

В рамках работы был создан справочник «Список 3D-моделей», представленный на рисунке 2. Каждая модель представлена в виде отдельной карточки. В табличной части карточки модели можно указать номенклатуру (оборудование или деталь), к которой данная модель подходит. После этого в карточке соответствующей номенклатуры на вкладке «Доступные модели» автоматически отображается связь с этой трёхмерной моделью.

Артикул	Дата соз...	Наименование	Описание	Формат	Материал печати	Расход матер...	Вер...	Автор
art_68037	03.05.2026	Brother label		ZIP	TPU	40,000	1	
CAN-C5250-GUIDE	01.05.2026	Canon iR-ADV C5250	Направляющая каретки для принтера	ZIP (OBJ + инструкция)	ABS	25,000	1	Полов Ю.Р.
DGS1210-LATCH	01.05.2026	D-Link DGS-1210-28	Фиксатор верхней крышки, часто ломается при обл...	ZIP (STL)	PETG	5,000	1	Полов Ю.Р.
DELTA-FAN40	01.05.2026	Delta DPS-400AB	Вентилятор 40x40x10 мм для блока питания сервера	ZIP (STL + спецификация)	Nylon	8,000	1	
HP-P1320	04.05.2026	HP 1320 gear engranaje 3D		ZIP (STL + спецификация)	Nylon		4	
KYO-M2635-SEAL	01.05.2026	Kyocera ECOSYS M2635dn	Уплотнитель дверцы МФУ	ZIP (OBJ + схема установк	TPU	3,000	1	
HP-P3015-GEAR	01.05.2026	Шестерня подачи бумаги	Для HP LaserJet P3015. Шестерня привода подачи б...	ZIP (STL + чертёж)	PLA	12,000	1	

Рисунок 2 – Справочник «Список 3D-моделей»

Для загрузки и скачивания файлов моделей в верхней части карточки модели предусмотрены кнопки «Загрузить файл» и «Скачать файл». При нажатии на «Загрузить файл» открывается окно выбора файла – модель загружается именно в виде архива (например, пятая версия модели). После успешной загрузки в карточке появляется статус «Архив загружен» с указанием версии, а поле «Версия» в карточке модели обновляется автоматически; также в нижней части интерфейса выводится сообщение об успешной операции.

Чтобы скачать архив, достаточно нажать кнопку «Скачать файл» и выбрать опцию «Сохранить». Пользователь сохраняет файл в нужную папку, и архив модели оказывается на локальном компьютере.

Помимо справочника моделей, создан справочник «Материалы для печати» (для последующего изготовления деталей на 3D-принтере). В карточке материала реализован раздел «Поступления материалов»: здесь можно создавать документы поступления, указывая количество закупаемого материала. Цена подтягивается из карточки материала автоматически, а общая сумма рассчитывается программно. Кроме того, поддерживается создание документа «Списание материалов».

Для контроля запасов и анализа использования материалов предусмотрены два отчёта: отчёт по остаткам материалов и отчёт по расходу материалов. Эти инструменты позволяют оперативно отслеживать наличие сырья и эффективность его использования.

Разработанная конфигурация обеспечивает логическую связь между учетной информацией о номенклатуре ЗИП и их 3D-моделями. Реализованный механизм версионного контроля 3D-моделей позволяет фиксировать новые версии при изменении конструкции или уточнении геометрических параметров. Каждая новая версия сопровождается информацией о дате изменения, авторе и комментарии. Конфигурация обеспечивает удобный поиск и фильтрацию моделей по различным параметрам.

Несмотря на то, что система разрабатывалась под конкретное предприятие, она является универсальной и может быть внедрена на любом предприятии, располагающем возможностью 3D-печати.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компания «КОНСИСТ-ОПЕРАТОР СВЯЗИ» // Консист-ос URL: <https://consyst-os.ru/about> (дата обращения: 27.02.2026).
2. Грекул В. И., Денищенко Г. Н., Коровкина Н. Л. Проектирование информационных систем: учебное пособие. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2018. – 300 с.

3. Трофимов В. В. Информационные системы и технологии в экономике и управлении: учебник. – М.: Юрайт, 2021. – 482 с.
4. Хрусталёва Е. Ю. Разработка прикладных решений в системе «1С:Предприятие 8.3»: учебное пособие. – М.: 1С-Паблишинг, 2021. – 784 с.

УДК 004.418: 005.95/96

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Ручьева О.Н.¹, Цуверкалова О.Ф.²

¹АО «Концерн Росэнергоатом», г. Москва, Россия;

²Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия

¹olga.rucheva@internet.ru

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы, связанные с изучением отношения пользователей к внедрению корпоративной информационной системы «Управление программами мероприятий» (ИС УПМ). На основании анкетирования выявлены основные факторы, порождающие сопротивление изменениям, а также предложены пути решения проблемы. Разработаны дорожная карта и целевые показатели.

Ключевые слова: импортозамещение, управление изменениями, Производственная система Росатома.

SYSTEM ANALYSIS AND WAYS TO REDUCE USER RESISTANCE WHEN IMPLEMENTING SOFTWARE

Ruchyeva O.N.¹, Tsuverkalova O.F.²

¹JSC Rosenergoatom Concern, Moscow, Russia;

²Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI" Volgodonsk, Russia

¹olga.rucheva@internet.ru

Abstract. This paper examines user attitudes toward the implementation of the corporate information system "Event Program Management" (IPM). Based on a survey, the key factors driving resistance to change were identified and solutions proposed. A roadmap and target indicators were developed.

Keywords: import substitution, change management, Rosatom Production System.

На сегодняшний день Госкорпорация «Росатом» является одним из лидеров перехода к цифровой экономике. Основным документом, в рамках которого осуществляются процессы цифровизации в отрасли, является Единая цифровая стратегия, принятая в 2018 году и регулярно обновляемая с учетом актуальных тенденций [1]. Цифровые преобразования осуществляются во всех дивизионах Госкорпорации, в том числе и в АО «Концерн Росэнергоатом». С 2025 года В Концерне проводилась масштабная работа по созданию информационной системы «Управление программами мероприятий» (ИС УПМ). В соответствии с приказом Концерна информационная система ИС УПМ введена в продуктивную эксплуатацию в центральном аппарате и на всех действующих АЭС.

Вместе с тем, любое внедрение инноваций неизбежно порождает сопротивление изменениям [2]. Основными задачами проведенного исследования стали проведение системного анализа причин сопротивления пользователей, возникшего после ввода ИС УПМ в действие, несмотря на предшествующий успешный опыт замещения SAP ERP, а также определение возможных путей решения этой проблемы.

На первом этапе было выполнено функциональное моделирование с использованием взаимодополняющих методологии описания бизнес-процессов: IDEF0 и BPMN [3, 4]. На верхнем уровне (нотация IDEF0) было выделено пять основных функциональных блоков:

выявление и понимание сопротивления, анализ причин, планирование мер, реализация мер и вовлечение пользователей, оценка результатов. В свою очередь, в нотации BPMN детализирован первый блок, описывающий взаимодействие трёх групп участников (пользователи, владелец процесса/заказчик, разработчики) при сборе и анализе обратной связи.

Следующим этапом работы стали разработка анкеты и проведение анкетирования, инструментально базирующегося на принципах Производственной системы «Росатом» (ПСР) [5]. Анкета включала семь тематических блоков: общая информация, осведомлённость и ожидания, опыт использования и технические аспекты, удобство и функциональность, барьеры сопротивления, влияние на продуктивность, предложения по улучшению. Выборка составила 20 респондентов из числа сотрудников центрального аппарата (главные специалисты, руководители отделов) с опытом работы от 6 месяцев до 15 лет; 35% из них не имели предшествующего опыта работы с аналогичными системами.

Результаты анкетирования зафиксировали неоднородную картину. Осведомлённость о внедрении оказалась относительно высокой (70% получили информацию заблаговременно), однако качество информирования о целях системы оценили как достаточное лишь 55% опрошенных, что указывает на коммуникационный разрыв. Готовность к изменениям составила 3,2 из 5 баллов – относительно низкий показатель, сигнализирующий о необходимости адресной работы с вовлечённостью. В технической сфере наиболее острой проблемой признана нехватка обучающих материалов (40% респондентов), а также наличие технических сбоев (30%). Оценка лёгкости освоения системы – 3,4 балла из 5 возможных.

Анализ блока «Сопротивление и барьеры» выявил, что главной причиной является когнитивная нагрузка: 35% отметили сложность освоения, 25% – нехватку времени на обучение. Инерция привычки составила 30%, тогда как фундаментальное недоверие к системе минимально – лишь 10%. Несмотря на ощущение поддержки со стороны руководства (60%), 45% респондентов испытывали внутреннее сопротивление, а 30% – периодически избегали использования системы. Это можно интерпретировать как запрос не на декларативную поддержку, а на конкретные инструментальные ресурсы.

Блок «Влияние на работу» показал, что для 35% пользователей продуктивность повысилась, для 25% – снизилась, а 40% не отметили изменений. Общая удовлетворённость системой оценена в 3,6 балла из 5. В позитивной обратной связи лидирует централизация данных (50% одобрения), тогда как основными неудобствами названы медленная работа (30%), сложный интерфейс (25%) и нехватка подсказок (20%).

Систематизация полученных результатов позволила выделить шесть «слабых зон», сгруппированных в два кластера: операционный (недостаточное обучение – 40%, функциональные пробелы – 35%, сопротивление как поведенческий феномен – 45%) и структурный (низкая готовность к изменениям, техническая производительность, неинтуитивный интерфейс). В целом проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что система в целом принята пользователями, однако барьеры лежат на уровне исполнения и управленческого сопровождения.

В качестве инструмента, позволяющего разработать необходимые управленческие решения и определить их приоритетность, была выбрана матрица «влияние vs усилие», иначе называемая матрицей Эйзенхауэра [6]. В ходе ее построения в качестве первоочередных мер были определены: разработка комплексной программы обучения (включая видео-руководства и контекстные подсказки), оптимизация производительности системы (аудит, кэширование, индексация) и организация регулярных коммуникационных мероприятий с участием руководства. Менее приоритетными, но стратегически значимыми задачами названы улучшение пользовательского интерфейса и расширение функциональности (аналитические отчёты, интеграции с SAP ERP и ЕОСДО).

Проведенное исследование позволило разработать детализированную дорожную карту на 1–2 месяца с назначением ответственных исполнителей, а также с выделением шести направлений работ: организация обучения пользователей (от записи обучающих видео до разработки полного курса по работе с ИС УПМ), повышение производительности

(устранение проблем, выявленных в процессе анкетирования, с последующим мониторингом работы системы), улучшение интерфейса (новая навигация, внедрение подсказок), совершенствование коммуникаций (организация рассылок, использование системы наставников-«чемпионов»), повышение функциональности на основании запросов пользователей, а также регулярное проведение пульс-опросов с последующей корректировкой принятых управленческих решений. В качестве ключевых целевых показателей можно выделить: охват обучением 100% пользователей, обеспечение времени бесперебойной работы 24/7, уменьшение ошибок навигации на 40%, скорость ответа техподдержки не более 4 часов и долю участников пульс-опросов не менее 80% персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Росатом» актуализировал цифровую стратегию до 2027 года – URL: <https://atommedia.online/press-releases/rosatom-aktualiziroval-tsifrovuyu-strategiyu-do-2027-goda/> (дата обращения: 30.04.2026)
2. Кобзева Н. М. Феномен сопротивления изменениям: сущность, виды и формы проявления // Вестник ВГУИТ. 2013. №4 (58). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fenomen-soprotivleniya-izmeneniyam-suschnost-vidy-i-formy-proyavleniya> (дата обращения: 15.02.2026).
3. IDEF0 Function Modeling Method. Federal Information Processing Standards Publication 183 Электронный ресурс. – National Institute of Standards and Technology, 1993. – Режим доступа к странице: https://www.edef.com/idefo-function_modeling_method/ (дата обращения: 15.02.2026).
4. Object Management Group. Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0 Электронный ресурс. – Режим доступа к странице: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0> (дата обращения: 01.03.2026).
5. Росатом. Производственная система «Росатом» Электронный ресурс. – Режим доступа к странице: <https://rosatom.ru/production/> (дата обращения: 20.02.2026).
6. Матрица Эйзенхауэра: полное руководство по управлению приоритетами. – <https://developers.sber.ru/help/business-development/the-eisenhower-matrix> (дата обращения: 20.04.2026).

УДК 004.622

КОМПАКТНОЕ ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ ГОСУДАРСТВЕННОГО АДРЕСНОГО РЕЕСТРА ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Толстов В.А.

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
vatolstov@mephi.ru*

Аннотация. Доклад посвящён преобразованию данных Государственного адресного реестра в компактный формат хранения. Это позволяет уменьшить накладные расходы на хранение и передачу данных в закрытом сегменте сети. Показана работа программы, которая выполняет преобразование адресных данных.

Ключевые слова: Государственный адресный реестр, формат данных, хранение данных, преобразование данных, программное обеспечение.

THE COMPACT DATA STORAGE OF STATE ADDRESS REGISTER FOR NUCLEAR POWER ENTERPRISES

Tolstov V.A.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”
Volgodonsk, Russia
vatolstov@mephi.ru*

Abstract. The report describes the converting State Address Registry data into a compact storage format. This reduces the overhead of storing and transmitting data in a closed network segment. The program is shown in operation that performs address data conversion.

Keywords: State Address Registry, data format, data storage, data conversion, software.

В связи с развитием электронного документооборота, а также сервисов для дистанционного получения услуг посредством сети Интернет, актуальной задачей является поддержание непротиворечивости адресной информации. Для ввода информации на веб-сайтах достаточно подключить сервис унифицированной адресной строки, предоставляемый Федеральной информационной адресной системой (ФИАС) [1]. Также для сторонних разработчиков доступна загрузка полного архива данных Государственного адресного регистра (ГАР) с сайта ФИАС. На дату обращения 19 мая 2026 года размер ZIP-файла данных ГАР составляет 52 Гб. Архив находится в свободном доступе.

Загрузка файла такого размера занимает несколько часов по широкополосным каналам связи. Поэтому разработчики настольного программного обеспечения (ПО) ищут способы уменьшения передаваемых по сети объёмов. Например, в типовых конфигурациях для технологической платформы «1С:Предприятие» реализован механизм, в котором пользователи могут загружать только данные нужных регионов. Кроме этого, разработчики библиотеки стандартных подсистем 1С уменьшили объём файлов за счёт преобразования из формата XML в бинарные файлы [2]. Это уменьшило накладные расходы на хранение XML-тегов и атрибутов.

Информационная безопасность на предприятиях атомной отрасли требует, чтобы большинство компьютеров работали в закрытой сети. При этом, если ПО требуется информация из адресного справочника, его можно расположить, например, на сервере в закрытом сегменте сети. Однако поиск информации в XML-файлах большого объёма создаст большую нагрузку на сервер, его подсистему хранения, а также саму сеть. Выходом из ситуации, когда необходимо снабдить пользователей в данной сети адресных справочником, является преобразование в более компактный вид. Открытость формата XML, а также сравнительно простая структура дерева элементов в файлах регистра, позволяет преобразовать данные в другие форматы, если это требуется для программного обеспечения.

Опишем подход, который может быть применён для организации адресного справочника в закрытой сети. Сначала отдел информационных технологий предприятия загружает полный файл данных ГАР с сайта ФНС по сети Интернет. Далее XML-файлы преобразуются в таблицы формата CSV (значения, разделённые запятыми). Этот формат данных прост для последующей обработки, не имеет разметки и связанных с ней накладных расходов, а также хорошо сжимается архиватором. Также в такой файл невозможно внедрение вредоносного кода, например, в виде SQL-инъекции [3]. ПО на рабочих местах пользователей может загружать с внутреннего сервера файлы CSV, а за счёт меньшего их размера будет снижена нагрузка на сеть предприятия.

Для реализации описанного подхода была разработана программа на языке программирования высокого уровня Python, в возможности которой входят:

- работа в режиме командной строки или графического интерфейса;
- выбор регионов из полного адресного реестра;
- преобразование адресных данных выбранных регионов из XML в CSV;
- автоматическое удаление файлов XML после завершения преобразования;
- автоматическая упаковка полученных файлов CSV в архив.

Программа может быть скомпилирована для работы в операционных системах Windows и Linux. Использование программы показало следующие результаты. Адресный справочник Ростовской области в 18 файлах в формате XML, после распаковки из полного архива ФНС, занимает 2,2 Гб. Часть из файлов несёт служебную информацию, которая не влияет на выходные файлы. Например, параметры зданий и сооружений, помещений, а также не представляли интерес данные о части видов адресных объектов, например, гаражных кооперативах и дачных посёлках. Полученные после преобразования файлы CSV содержат информацию о городах, посёлках, улицах и домах. Занимают около 460 Мб в распакованном виде или 145 Мб после сжатия в ZIP-архив. Благодаря исключению избыточной информации и простому формату данных CSV, объём хранимой информации может быть уменьшен в десятки раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная информационная адресная система (ФИАС) : офиц. сайт / Федеральная налоговая служба. – URL: <https://fias.nalog.ru> (дата обращения: 21.05.2026).
2. Адресный классификатор по данным Государственного адресного реестра (ГАР) ФНС России. Информационно-технологическое сопровождение 1С (ИТС) : офиц. сайт / Фирма «1С». – URL: <https://its.1c.ru/download/fias2> (дата обращения: 21.05.2026).
3. Баланов, А. Н. Комплексное руководство по разработке: от мобильных приложений до веб-технологий : учебное пособие для вузов / А. Н. Баланов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 412 с. – ISBN 978-5-507-53193-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/478178> (дата обращения: 21.05.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

УДК 004.8

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПАНОРАМЫ ЗАПИСЕЙ КАМЕР И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ИИ-МОДЕЛИ

Хегай Л.С., Григорьев А.Э.,

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
artem.grigorevgrigorjev@yandex.ru*

Аннотация. Современные системы видеонаблюдения, использующие видеопоток с камер напрямую, широко применяются на промышленных предприятиях атомной отрасли. Однако они имеют уязвимости и ограничения функционала, требующие создания собственной системы с моделью распознавания. Разрабатываемая система предназначена для распознавания личных автомобилей работников предприятия на снимках и панорамах записей с камер видеонаблюдения, с целью минимизации слепых зон камер и обеспечения анализа постфактум происходящего на наблюдаемой территории. Разработка веб-приложения осуществляется с соблюдением архитектуры REST API и с применением современных фреймворков.

Ключевые слова: видеонаблюдение, слепые зоны, компьютерное зрение, распознавание образов, веб-приложение, REST API, фреймворк.

DEVELOPMENT OF A WEB INTERFACE FOR CONSTRUCTING PANORAMA OF CAMERA RECORDINGS AND OBJECT RECOGNITION USING AN AI MODEL

Khagai L.S., Grigoriev A.E.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”
Volgodonsk, Russia
artem.grigorevgrigorjev@yandex.ru*

Abstract. Modern video surveillance systems that use the video stream from cameras directly are widely used in industrial enterprises of the nuclear industry. However, they have vulnerabilities and functional limitations that require creating your own system with a recognition model. The system under developing is designed to recognize objects in images and panoramas recorded by surveillance cameras, for the purpose of minimizing camera blind spots and providing a more in-depth analysis of what is happening in the monitored area. The web application is developed in compliance with the REST API architecture and using modern frameworks.

Keywords: video surveillance, blind spots, computer vision, pattern recognition, REST API, framework.

Обеспечение безопасности крупных промышленных предприятий атомной отрасли является одной из их приоритетных задач. К направлениям уязвимости относится, в частности, вход или въезд на территорию предприятия, либо близлежащую территорию, поскольку это может создать потенциальную опасность.

На таких предприятиях широко используется охранное видеонаблюдение. Данная технология обеспечивает контроль охраняемых зон, выявление фактов несанкционированного доступа, а также оценку ситуации на контролируемой территории.

Как правило, системами видеонаблюдения оборудуются локальные зоны предприятия, в том числе наружные, такие как автомобильная парковка предприятия [1].

Современные системы охранного видеонаблюдения, транслирующие прямой видеопоток с камер посредством сети, работают на основе протокола IP. Такие системы обладают рядом узвимостей.

Во-первых, каждая отдельно взятая видеокамера имеет слепые зоны – области, не попадающие в её поле зрения. Интерфейс системы видеонаблюдения, как правило, демонстрирует поток с разных камер в обособленном виде и, зачастую, с разных точек территории предприятия. Построение панорамы из записей нескольких камер нивелирует слепые зоны, предоставляя целостную картину происходящего.

Во-вторых, подобные системы служат только для обеспечения реагирования на явные угрозы, не принимая во внимание, например, размещение посторонних транспортных средств и прочих предметов, скрытое наблюдение или съёмку на подходе к территории предприятия, провоцирование работников на неправомерные действия и т.д. Анализ постфактум позволит выявлять больше значимых событий, что облегчит расследование и анализ инцидентов на предприятии.

Компьютерное зрение – область искусственного интеллекта и машинного обучения, связанная с обработкой и анализом визуальных данных. Одним из важнейших частных случаев компьютерного зрения является распознавание образов. Технология распознавания заключается в автоматическом обнаружении объектов, выделении признаков и классификации объектов по этим признакам, то есть отнесении к той или иной группе – люди, животные, транспорт и т.д. [2]

Таким образом, является актуальным совершенствование системы видеонаблюдения, используемой на промышленном предприятии атомной отрасли. Технология распознавания образов сыграет в этом важнейшую роль за счёт извлечения признаков наблюдаемых объектов и выделение данных объектов на исходном видео или изображении.

Разрабатываемая информационная система должна обеспечивать возможность создавать не только единичные снимки записей с камер видеонаблюдения, но и панорамные изображения на основе нескольких загружаемых оператором записей, для минимизации слепых зон и удобства анализа оператором. На снимках и панорамах с помощью встроенной ИИ-модели следует выделять нужные объекты, например, автомобили, и извлекать их основные признаки (например, в случае автомобилей – государственный номер, марка, модель, тип кузова, цвет).

В базе данных системы должна храниться информация о распознаваемых объектах. При дальнейшем анализе эти данные сверяются с заранее внесёнными оператором системы, для обеспечения возможности их идентификации во время работы с системой. База данных разработана в предпочтительной для многих предприятий СУБД PostgreSQL.

Между основными типами информационных систем по способу доступа был выбран формат веб-приложения, за счёт кроссплатформенного доступа и масштабируемости [3]. Система с таким форм-фактором будет предоставлять оператору системы интерфейс, доступный с любого персонального компьютера и на любом веб-браузере.

Разрабатываемое веб-приложение имеет клиент-серверную архитектуру. На сервере выполняется обработка данных, включая функционал распознавания объектов. Клиентская часть представляет собой веб-интерфейс, через который пользователь взаимодействует с сервером и базой данных.

Серверная часть веб-приложения разрабатывается на языке программирования Python, который обеспечивает кроссплатформенность и гибкое, многоцелевое применение. В разработке используются следующие библиотеки Python:

1. OpenCV – библиотека с обширным функционалом для обработки видео и изображений.

2. Ultralytics – библиотека компьютерного зрения, предоставляющая, в частности, предобученные модели распознавания YOLO.

3. Flask – веб-фреймворк (набор инструментов для разработки веб-приложений), а также его расширения: Flask-Login, Flask-SQLAlchemy, Flask-Migrate.

В программном коде серверной части предусмотрена интеграция модели распознавания объектов YOLOv8.

Клиентская часть реализуется на языке JavaScript, с использованием фреймворка React.

При разработке веб-приложения целесообразно использование архитектурного стиля REST API, предполагающего взаимодействие между клиентом и сервером посредством запросов по протоколу HTTP (HTTPS). Доступ к данным и их обработка осуществляется основными методами протокола: GET (получение), POST (отправка), PUT (изменение), DELETE (удаление) [4].

По окончании разработки, система функционирует следующим образом:

1. Оператор через веб-интерфейс загружает видеозаписи с камер наблюдения на сервер.
2. Система делает снимки из записей, соответствующие времени нахождения в данной точке тех или иных объектов, и объединяет их в панораму наблюдаемой территории.
3. На интерфейсе отображается панорама с выделенными и подписанными объектами.
4. Полученные данные об объектах сохраняются в базу данных.

Посредством системы оператор будет иметь возможность, при необходимости, получить данные за определённую дату прямо в веб-интерфейсе для повторного контроля, либо выгрузить их в файл, а затем передать в другой отдел для отчётности или использовать в расследовании инцидента.

В перспективе расширения функционала системы возможны следующие меры:

- обеспечения автоматической загрузки записей с видеокamer, вместо загрузки вручную операторами системы;
- расширение диапазона распознаваемых объектов: велосипеды, грузовики, грузовые контейнеры и коробки;
- увеличение числа рассматриваемых признаков объектов: габариты грузов, скорость движения и т.д.

Таким образом, разработанный веб-интерфейс для распознавания и визуальной аналитики не заменит, а дополнит систему видеонаблюдения, действующую на промышленном предприятии атомной отрасли. Её внедрение не снизит оперативность, но позволит реализовать более комплексный подход и обеспечить активную роль работников предприятия к обеспечению безопасности на его территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герлинг, Е.Ю. и др. Инженерно-технические методы защиты объектов [Электронный ресурс] / Е.Ю. Герлинг, М.М. Ковцур, Г.А. Орлов, П.В. Карельский. – СПб. : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2021. – 50 с. – Режим доступа: URL: <https://e.lanbook.com/book/279602> – 13.05.2026.
2. Распознавание образов с помощью искусственного интеллекта [Электронный ресурс] / Хабр – 2023. Режим доступа: URL: <https://habr.com/ru/articles/709432> – 14.05.2026.
3. Милько М.А. Преимущества выбора веб-приложений в разработке [Электронный ресурс] / М.А. Милько. – Научный аспект – 2024. – Режим доступа: URL: <https://na-journal.ru/3-2024-informacionnye-tehnologii/10140-preimushchestva-vybora-veb-prilozhenii-v-razrabotke> – 17.05.2026.
4. Понимание REST API: основные понятия и принципы работы [Электронный ресурс] / Yandex Cloud - Документация – 2024. Режим доступа: URL: <https://yandex.cloud/ru/docs/glossary/rest-api> – 21.05.2026.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНЧЕСКИХ ОБЪЕДИНЕНИЙ: АРХИТЕКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МОДУЛЮ «АУДИТ»

Цуверкалова О. Ф., Савельева К. А.

*Волгодонский инженерно-технический институт - филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия
ksiushasav@yandex.ru*

Аннотация. В рамках данного исследования рассматривается архитектура специализированного аналитического модуля «Аудит», интегрируемого в общую программную экосистему «Федеральный мониторинг» для нужд Сообщества студентов Росатома. Авторами предложена концепция ухода от традиционных децентрализованных систем фиксации метрик. Проектируемое решение базируется на строгом разграничении прав доступа на уровне серверной логики и автоматизации мониторинга выполнения КПЭ, что значительно повышает достоверность собираемых аналитических данных.

Ключевые слова: автоматизация учета, веб-приложение, аудит, Сообщество студентов Росатома, КПЭ, логическая структура данных, разграничение ролей.

AUTOMATION OF PROCESSES FOR MONITORING THE ACTIVITIES OF STUDENT ASSOCIATIONS: ARCHITECTURE AND FUNCTIONAL REQUIREMENTS FOR THE "AUDIT" MODULE

Savelyeva K. A., Tsuverkalova O. F.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"
Volgodonsk, Russia
ksiushasav@yandex.ru*

Abstract. Within the framework of this study, the architecture of the specialized analytical module "Audit", integrated into the general software ecosystem "Federal Monitoring" for the needs of the Rosatom Student Community, is considered. The authors proposed the concept of moving away from traditional decentralized metric fixation systems. The designed solution is based on strict differentiation of access rights at the server logic level and automation of monitoring the implementation of KPIs, which significantly increases the reliability of the collected analytical data.

Keywords: accounting automation, web application, audit, Rosatom Student Community, KPI, logical data structure, role differentiation.

Сообщество студентов Росатома (ССР) представляет собой распределенную всероссийскую сеть, функционирующую на базе опорных вузов атомной отрасли [1]. Эффективное стратегическое управление столь масштабным объединением невозможно без постоянного сбора, верификации и централизованного анализа ключевых показателей деятельности региональных подразделений. Разработка и практическая интеграция подсистемы «Аудит» в архитектуру платформы «Федеральный мониторинг» направлена на решение проблемы оперативной оценки эффективности студенческих ячеек. Основной фокус исследования сосредоточен на алгоритмизации процессов учета проектных мероприятий, расчете охватов целевой аудитории, фиксации показателей медийного присутствия и автоматизированном аудите выполнения ключевых показателей эффективности (КПЭ).

Ранее аудит и мониторинг результатов деятельности ячеек ССР осуществлялись с применением локальных электронных таблиц и облачных сервисов общего доступа (Google Таблицы). Эксплуатация децентрализованных табличных документов выявила ряд критических уязвимостей. Во-первых, при таком подходе возникают регулярные задержки при попытке консолидации данных для формирования сводных общедокументальных отчетов. Во-вторых, полное отсутствие разграничения пользовательских прав на редактирование отдельных диапазонов ячеек создает высокие риски несанкционированного искажения или

случайной потери отчетных сведений. Наконец, отсутствие строгого системного логирования не позволяет верифицировать историю изменений, перекладывая всю вычислительную нагрузку на главного аудитора. В связи с этим было принято решение о разработке системы «Аудит», которая позволит систематизировать данные о деятельности Сообщества.

К настоящему моменту полностью формализованы функциональные требования к разрабатываемой подсистеме, спроектирована структура реляционной базы данных и реализованы ключевые программные компоненты backend-логики. Проектируемая архитектура опирается на модель авторизации и строгого контроля доступа, функционирующую на серверном уровне. Каждому зарегистрированному пользователю сопоставляется конкретная роль, определяющая границы видимости данных и набор доступных транзакций [2]. Базовые функциональные обязанности и уровни распределения прав внутри модуля представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Функциональные роли и разграничение прав в модуле «Аудит»

Роль пользователя	Уровень прав и поддерживающий функционал в системе
Главный аудитор	Обладает полными правами администрирования. Доступно сквозное inline-редактирование любых записей, управление учетными записями и аудит системного журнала изменений.
Руководитель сообщества	Имеют полномочия на верификацию и редактирование параметров мероприятий, а также на ручную корректировку итоговых рейтинговых баллов.
Руководитель направления по предприятиям	Доступ к специализированным фильтрам и выборкам проектной деятельности в разрезе отдельных дивизионов и промышленных партнеров.
Руководитель ячейки	Локальный уровень доступа. Ограничен вводом первичных данных по мероприятиям своего вуза, заполнением охватов и ведением внутреннего календаря ячейки.

Информационная модель подсистемы спроектирована как расширение базовой реляционной схемы данных единого приложения «Студенты Росатома». Выстроенные связи между сущностями полностью проецируют реальную трехуровневую структуру организации. Логическая схема соподчинения выглядит следующим образом:



Рисунок 1 - Иерархическая схема и логическая структура сущностей базы данных модуля «Аудит»

Корневым элементом каскада выступает федеральный уровень, агрегирующий данные из региональных хабов (сущность Hub). Каждый хаб включает в себя множество локальных

ячеек (сущность Cell). Первичными источниками расчетных данных служат записи о мероприятиях (Event) и связанные с ними медиа-посты (Post). Любое действие пользователей в системе подлежит обязательной фиксации в таблице ChangeLog. На основании сопоставления плановых и фактических метрик вычисляется итоговый коэффициент выполнения по формуле (1):

$$КПЭ (\%) = (\text{Фактическое значение} / \text{Плановое значение}) \times 100 \% \quad (1)$$

Заключительный этап разработки предполагает развертывание сервиса автоматической генерации отчетных документов и экспорта аналитических выборок в форматы Excel и PDF. Перевод процессов мониторинга ССР на базу созданного модуля минимизирует вероятность потери критически важной информации, сократит временные издержки главного аудитора на верификацию данных более чем в 5 раз и предоставит объективный математический инструмент для ранжирования ячеек. Внедрение подсистемы закладывает базис для последующего технологического масштабирования цифровых сервисов ССР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегические проекты развития молодежной политики и цифровых инициатив // Корпоративная Академия Росатома. – URL: <https://rosatom-academy.ru/catalog/strategicheskie-proekty/4898/?ysclid=mpbkmn2oil654246631> (дата обращения: 18.05.2026).
2. Фаулер М. Архитектура корпоративных программных приложений : пер. с англ. / М. Фаулер. - Москва : Вильямс, 2018. – 544 с. – URL: <https://www.villiams.ru/books/978-5-8459-1979-3>(дата обращения: 18.05.2026).
3. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных : пер. с англ. / К. Дж. Дейт. - 8-е изд. - Москва : Вильямс, 2016. - 1328 с. - URL: <https://www.villiams.ru/books/5-8459-0788-8>(дата обращения: 18.05.2026).
4. Глухов А. А. Реализация ролевой модели разграничения доступа в современных веб-приложениях / А. А. Глухов, И. И. Петров // Программная инженерия. – 2024. – Т. 15, № 2. – С. 85-92. – URL: <https://pribor.viniti.ru/index.php/proging>(дата обращения: 18.05.2026).
5. Холивар В. В. Проектирование информационных систем мониторинга в образовательных и молодежных организациях / В. В. Холивар // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2022. – № 4. – С. 12-18. – URL: <http://www.vkit.ru/index.php/ru> (дата обращения: 18.05.2026).

УДК 621.643.072

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ ЦЕЛОСТНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

**Носков К. И., Носков Я. И., Ташлыков О. Л., Радочин О. Д.,
Астафьев А. В., Шикунов И. А.**

*Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия
s9655368090@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается проблема оперативного выявления дефектов трубопроводов на энергообъектах. Разработана система автоматического анализа в реальном времени на базе нейросетевых алгоритмов семейства YOLOv8. Оптимизация модели выполнена для вычислений на центральном процессоре (CPU), что снижает порог внедрения на промышленных объектах. Разработаны три специализированные модели: для детектирования течей, многоцелевого обнаружения объектов и дефектов, комплексной оценки состояния (течи, коррозия). Точность детекции течей достигнута на уровне 0,90 по метрике mAP@0.5, количество ложных срабатываний снижено на 20–30%.

Ключевые слова: машинное зрение, нейросети, YOLOv8, мониторинг трубопроводов, дефектоскопия, энергообъекты.

AUTOMATED MONITORING OF PIPELINE INTEGRITY IN POWER FACILITIES BASED ON COMPUTER VISION

Abstract. The paper considers the problem of prompt detection of pipeline defects at energy facilities. A real-time automatic analysis system based on YOLOv8 neural network algorithms has been developed. The model is optimized for CPU computation, lowering the barrier for industrial deployment. Three specialized models were developed: leak detection, multi-purpose object and defect detection, and comprehensive condition assessment (leaks, corrosion). Leak detection accuracy reached 0.90 mAP@0.5, with false positives reduced by 20–30%.

Keywords: computer vision, neural networks, YOLOv8, pipeline monitoring, defectoscopy, energy facilities.

На сегодняшний день в отечественной атомной энергетике существует проблема оперативного выявления дефектов трубопроводов на энергообъектах. Традиционные методы планового обслуживания не обеспечивают своевременное обнаружение течей и коррозии, что приводит к авариям и повышенным дозовым затратам персонала.

В нашем исследовании разработана система автоматического анализа в реальном времени на базе нейросетевых алгоритмов семейства YOLOv8. Предельный случай – многоцелевая модель с 16 метриками качества, обеспечивающая одновременную детекцию течей, коррозии и посторонних объектов. Геометрическая модель работы системы показана на рисунке 1.

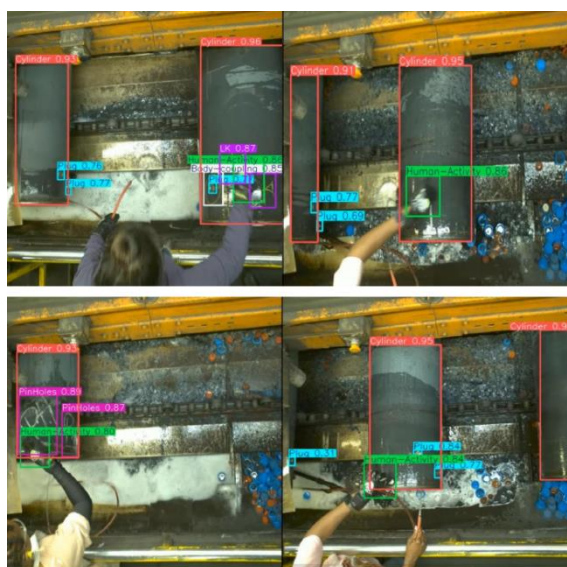


Рисунок 1 – Работа многоцелевой детекции с 16 метриками

Комплексная верификация проведена на промышленных данных. Разработаны три специализированные модели: для детектирования течей, многоцелевого обнаружения объектов и дефектов, комплексной оценки состояния. Оптимизация выполнена для вычислений на CPU, что снижает порог внедрения. Точность детекции течей достигнута на уровне 0,90 по метрике mAP@0.5, количество ложных срабатываний снижено на 20-30% по сравнению с базовой реализацией.

Разработанная система уже интегрирована в микроконтроллер ESP32 и работает в режиме реального времени.

Таким образом, разработанная система является полностью автономной и безопасной в эксплуатации. Она не требует физического доступа к трубопроводам и может быть интегрирована с существующими системами видеонаблюдения и БПЛА. Внедрение подобных систем на объектах атомной энергетики позволяет перейти от планового обслуживания к проактивному прогнозирующему ремонту, существенно снижая эксплуатационные расходы и повышая уровень безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang J., Sun A., Wang C., Zhang X., Huang J. Improved deep learning-based detection of drainage pipeline defects using an enhanced YOLOv8 framework [Электронный ресурс] // Journal of Water Process Engineering. – 2025. – Vol. 78. – Art. 108605. – DOI: 10.1016/j.jwpe.2025.108605. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714425016782> (дата обращения: 24.03.2026).
2. Wang J., Sun A., Wang C., Zhang X., Huang J. Improved deep learning-based detection of drainage pipeline defects using an enhanced YOLOv8 framework [Электронный ресурс] // Journal of Water Process Engineering. – 2025. – Vol. 78. – Art. 108605. – DOI: 10.1016/j.jwpe.2025.108605. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/396069360_Improved_deep_learning-based_detection_of_drainage_pipeline_defects_using_an_enhanced_YOLOv8_framework (дата обращения: 24.03.2026).
3. Shi L., Li X., Guo D., Li H., Yang D., Liu Y. Research on defect detection in polyethylene pipeline digital radiography images based on YOLOv8 [Электронный ресурс] // Journal of Physics: Conference Series. – 2026. – Vol. 3175. – No. 1. – Art. 012057. – DOI: 10.1088/1742-6596/3175/1/012057. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/401225863_Research_on_defect_detection_in_polyethylene_pipeline_digital_radiography_images_based_on_YOLOv8 (дата обращения: 24.03.2026).
4. Носков К.И., Ташлыков О.Л., Шикунев И.А. Автоматизированный мониторинг целостности трубопроводов энергообъектов на основе машинного зрения [Электронный ресурс] // Физика. Технологии. Инновации: сборник тезисов научной конференции. – Екатеринбург: УрФУ, 2025. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=87891453> (дата обращения: 24.03.2026).

Ответственный за выпуск *К.В. Ларионова*

Подписано в печать 15.05.2026. Формат 60*84 1/16
Печ. л. 11,4 Тираж 200 экз.

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»
ИПС ВИТИ НИЯУ МИФИ
347360, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94.