

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



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

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**



**19 СЕНТЯБРЯ**

**ул. Ленина 73/94**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»**

Волгодонск, 2024

УДК 621.039.58 (063)

Б40

**Безопасность ядерной энергетики:** тезисы докладов XX Международной научно-практической конференции, 19 – 20 сентября 2024 г. / НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгодонск: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2024. – 208 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.

ISBN 978-5-7262-3084-9

*Издается в авторской редакции*

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2024

Ответственный за выпуск *П.А. Киселева*

Подписано в печать 30.08.2024. Формат 60\*84 1/16  
Печ. л. 140 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.

# СОДЕРЖАНИЕ

## Секция ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

<b>Абидова Е.А.</b> Совершенствование методов и алгоритмов обработки сигналов в диагностических комплексах оборудования АЭС	7
<b>Alwaheba1 A.I., Beketov V.G., Dembitsky A.E., Surin V.I.</b> Features of repeated detection of defects using the scanning contact potentiometry method	9
<b>Башкиров Г.А., Усачёв Д.Е.</b> Исследование потенциала и технических аспектов увеличения эффективности системы технического водоснабжения Нововоронежской АЭС путём интеграции дополнительных модулей вентиляторных градирен	10
<b>Васильева С.Ю.</b> Модификация клиноптилолита с целью расширения областей применения	14
<b>Галкин А.С., Соловьев В.И., Микшин И.А., Петерс Н.А., Хитров Е.И.</b> Разработка универсальной учебной лаборатории-тренажера «Дизель-генератор. Эксплуатация. Диагностика. ТОиР. Прогноз. Ресурс.	16
<b>Гончарова А.В., Кузин С.А.</b> Актуальные задачи систематизации анализа зарубежного опыта в контексте создания и развития единой системы обращения с РАО	18
<b>Гончаров Д.Н., Колотушкин Д.С.</b> Анализ результатов контроля нейтронного потока при полной выгрузке и полной загрузке реактора энергоблока № 2 Нововоронежской АЭС-2 во время ППР-2024	21
<b>Демченкова М.А., Кашенко П.В., Тарасенко Д.И., Чингина Д.А.</b> Практическое применение результатов ВАБ при эксплуатации Нововоронежской АЭС	24
<b>Калашников М.В., Усов А.А., Петерс Н.А., Клименко С.Р.</b> Концепция переносного прибора нового поколения для диагностики ЭПА АЭС	27
<b>Калмыков С.Н., Полозков С.Д., Курина А.И., Голубев Е.И.</b> Особенности проведения КГО на работающем реакторе энергоблока № 5 НВ АЭС	30
<b>Крисанов А.А., Ребриков Д.И.</b> Интеграция подсистемы диагностики состояния электроприводной арматуры в существующую двухуровневую АСУТП на базе ТПТС	33
<b>Крылов А.Н., Колотушкин Д.С.</b> Корректировка параметров файла настроечных параметров birrag энергоблока № 5 Нововоронежской АЭС для устранения расхождения в значениях расчетной и измеренной концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура	36
<b>Крючков М.В., Крутских Д.А., Рябокони А.В.</b> Регулирование безопасности в части химического воздействия на оборудование атомных станций, важное для безопасности	39
<b>Нифталиев С.И., Клоков Г. В., Кузнецова Е. Г., Карандеева Н. В.</b> Опыт применения модельной градирни для испытания эффективности ингибиторов накипеобразования и коррозии	41
<b>Поваров П.В., Смородинов Д.С.</b> Динамическая устойчивость энергоблоков ВВЭР с РУ В-392М	44
<b>Прыткова Д.А., И.Г. Горбунов, О.Ю. Пугачева</b> Особенности организации тепловизионного контроля оборудования АЭС в условиях введенных против России санкций и системных ограничений	48
<b>Сайфудинов Т.К., Бураева Е.А.</b> Распределение радионуклидов в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС	50
<b>Сапельников В.М., Дембицкий А.Е., Попова И.Ю.</b> Исследование процесса переработки ионообменных смол на АЭС и обоснование безопасности их переработки с целью оптимизации затрат на обращение с РАО, в том числе, на их захоронение	53
<b>Тихонов А.И., Тучков М.Ю., Поваров В.П.</b> Применение методов разработки компьютерно-ориентированных процедур системы информационной поддержки оператора (СИПО) как инструмента сохранения и передачи знаний персоналу	55
<b>Фетисова Ю.А., Гришина О.М., Кузин С.А.</b> Оценка воздействия на окружающую среду при строительстве и эксплуатации пункта захоронения очень низкоактивных отходов АЭС	58
<b>Цыхлер Л.В., Егорова В.П., Лапкис А.А., Никифоров В.Н.</b> Разработка комплекса для оперативной диагностики и тарировки электропривода арматуры АЭС	62
<b>Яуров С.В., Гусев П.Ю., Гусев К.Ю.</b> Математическое моделирование режимов работы оборудования сложных технологических систем с использованием модели пористого тела	65

**Секция**  
**СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ И**  
**СООРУЖЕНИЙ АЭС**

<b>Бондаренко О.Н., Заяров Ю.В., Цуверкалова О.Ф.</b> Совершенствование системы управления строительством за счет внедрения системы «Дистанционный мониторинг строительства»	<b>69</b>
<b>Бурдаков С.М., Заяров Ю.В.</b> Снижение уровня видманштеттовой структуры сварных соединений ответственных строительных металлических конструкций	<b>72</b>
<b>Кулягина С. С., Ткачев В.Г., Гейдарова А.Н.</b> Повышение эффективности гидроизоляции ответственных объектов, используемых в атомной энергетике	<b>74</b>
<b>Киселев А. С., Киселев А. С., Медведев В.Н., Скорикова М.И., Стрижов В.Ф., Ульянов А.Н.</b> Разработка расчетных моделей для оценки работоспособности датчиков контроля напряженно-деформированного состояния защитной оболочки АЭС	<b>77</b>
<b>Науменко А.Р., Бурдаков С.М., Орехов М.И.</b> Стеклокерамическая черепица как инновация на территории АЭС	<b>80</b>
<b>Орехов М.И., Пимшин Ю.И., Заяров Ю.В., Лобковская Н.И., Науменко Г.А., Гайрабеков И.Г.</b> Использование теории опорных сигналов при подготовке специалистов строителей	<b>83</b>
<b>Томченко А.В., Пимшин Ю.И., Ткачев В.Г., Орехов М.И.</b> Благоустройство территории сквера «ВИТИ НИЯУ МИФИ»	<b>85</b>

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

<b>Абросимова Н.В.</b> К в опросу об актуализации действующих профессиональных стандартов в атомной энергетике	<b>87</b>
<b>Брагина Е.А.</b> Коррупция в сфере государственных закупок как угроза физической ядерной безопасности государства	<b>89</b>
<b>Волгина С.В., Довбыш В.Е., Рогачева Ж.С.</b> Молодёжь как стратегический потенциал развития атомной отрасли	<b>91</b>
<b>Волощук А.В.</b> Профессионально – личностное становление будущего специалиста в инновационном образовательном пространстве «Инженерная школа – Профильный вуз – РОСАТОМ»	<b>94</b>
<b>Головко М.В., Руденко В.А., Томилин С.А.</b> Направления развития человеческого потенциала предприятий атомного энергетического машиностроения с учетом отраслевых стратегических трендов	<b>97</b>
<b>Зеленова Г.В., Евецкая С.В., Алексеева О. П.</b> Психологическая безопасность образовательной среды технического вуза	<b>100</b>
<b>Корниенко В.Т.</b> Обеспечение безопасности объектов ядерно-энергетического комплекса России в условиях прокси-войны	<b>103</b>
<b>Пивоварова О.С., Волгина С.В.</b> Технологическое предпринимательство как вектор формирования профессиональных компетенций специалистов атомной отрасли	<b>106</b>
<b>Попова Т.С., Попов А.А., Залиско Т.А.</b> Развитие надпрофессиональных компетенций студентов технических вузов	<b>109</b>
<b>Руденко В.А., Евдошкина Ю.А.</b> Возможности геймификации в формировании безопасного поведения на рабочем месте	<b>111</b>
<b>Руденко В.А., Локонова Е.Л., Железнякова А.В.</b> Ценностные ориентации при трудоустройстве выпускников на предприятия атомной энергетике	<b>114</b>
<b>Руденко В.А., Томилин С.А., Головко М.В., Анцибор А.В., Волгина С.В., Цуверкалова О.Ф.</b> Развитие образовательной экосистемы ВИТИ НИЯУ МИФИ в синхронизации с потребностями атомной отрасли	<b>117</b>
<b>Ухалина И.А., Ефименко Н.А., Анцибор А.В.</b> Проблемы развития атомграда в условиях формирования новой агломерации	<b>122</b>

<b>Бурланкова Е.А., Фетисова Ю.А.</b> Основные аспекты приверженности культуре безопасности на индивидуальном уровне	<b>124</b>
<b>Хухлаев Д.Г.</b> Специфика стратегического маркетингового управления в атомной отрасли	<b>127</b>

### Секция ИЗГОТОВЛЕНИЕ И РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

<b>Атаманюк Р.Г., Шилин А. Н., Шилин А. А.</b> Зоптико-электронная система контроля формы обечаек при формообразовании	<b>130</b>
<b>Бакуменко З.С., Клейменов Ю.А.</b> Повышение надежности парогенераторов отечественны АЭС	<b>132</b>
<b>Виннийчук В.А., Подрезов Н.Н., Доронин Ю.В.</b> Обеспечение стабильности процесса АСФ изделий энергетического машиностроения на модулированных режимах	<b>136</b>
<b>Галкин А.С., Калашников М.В., Арженовская Е.В., Пугачева О.Ю.</b> Перспективный тренажёр профессиональной подготовки ремонтного персонала АЭС	<b>138</b>
<b>Gook S. E.</b> Multi-wire submerged-arc welding of thick-walled large-diameter pipes	<b>142</b>
<b>Гришина О.М., Фетисовой Ю.А., Кузин С.А.</b> Изготовление комплекта уплотнительных камер	<b>146</b>
<b>Желецкий Д.И., Попова А.В., Шубин О.В., Котенко О.Н., Марченко А.А.</b> Анализ причин снижения ударной вязкости сварных соединений из стали 15Х2НМФА, выполненных проволокой СВ-09ХГНМТАА-ВИ в сочетании с флюсом ФЦ-16А	<b>149</b>
<b>Жидков М.Е., Щербань А.С., Сурин В.И.</b> Высокотехнологичная автоматизированная система электрического контроля для оборудования атомных станций	<b>151</b>
<b>Колесников А.Н., Кочнев М.В.</b> Специализированная SCADA система «САДКО» для автоматизации процессов мониторинга и диагностирования динамического оборудования	<b>154</b>
<b>Михайлевский Д.А.</b> Технологические особенности ультразвукового контроля сварных соединений приварки вставок к патрубкам САОЗ корпуса реактора	<b>156</b>
<b>Перепелицына А.В., Сазонов И.С., Ершов А.И.</b> Анализ осциллограмм электродуговой сварки с применением микропроцессорных источников питания сварочной дуги	<b>160</b>
<b>Попова А.В., Желецкий Д.И., Шубин О.В., Котенко О.Н., Марченко А.А.</b> Повышение сопротивления хрупкому разрушению металла сварных швов корпусов ВВЭР из стали 15Х2НМФА путем применения нового сочетания сварочных материалов	<b>162</b>
<b>Хохолев Д.О.</b> Оптимизация технологии механической обработки главного разъема корпуса реактора на примере проекта АЭС Тяньвань, блок №5	<b>165</b>

### Секция ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

<b>Барсегян А.А., Воробьев Е.В., Хегай Л.С.</b> Разработка программного комплекса для диагностики оборудования атомных станций с использованием нейросетевых технологий	<b>169</b>
<b>Белкин И.В., Дьяченко В.Б., Плотников Д.А.</b> Снижение погрешности измерений коэффициента преобразования пьезоакселерометра в системах контроля вибрации благодаря применению нейронной сети	<b>171</b>
<b>Власов В.М., Шилин А.Н., Кутейников П.Д.</b> Цифровое адаптивное реле частоты тока в энергетической сети	<b>174</b>
<b>Исмаил Р.М., Проскуряков К.Н., Хвостова М.С.</b> Создание цифрового двойника АЭС с ВВЭР на основе цифровой акустической модели ядерного реактора	<b>177</b>
<b>Карпенко А.Я.</b> АНАЛИЗ Алгоритмов калибровки и поверки манометров	<b>180</b>
<b>Муженко А.С., Лачин В.И., Плотников Д.А.</b> Оценка максимального и минимального времени передачи сообщений в информационно-измерительных и управляющих системах, использующих интерфейс CAN FD	<b>183</b>
<b>Правосуд С.С.</b> Многоузловая модель динамики реактора ВВЭР-1200 для синтеза системы автоматического регулирования	<b>186</b>
<b>Разворотнев Д.А.</b> Применение в СКУ АЭС цифрового АЦП аналоговых сигналов на базе операционного усилителя с использованием нестандартного типа обратной связи	<b>189</b>
<b>Росновский В.С., Данилов А.Д.</b> Использование численных методов моделирования гамма-полей для прогнозирования радиационной обстановки на промышленных объектах	<b>193</b>

<b>Тен С.В., Загребаев А.М.</b> Предиктивная диагностика датчиков контроля в ядерном реакторе	<b>195</b>
<b>Тулинов Д.В., Данилов А.Д.</b> Оценка внешнего облучения персонала нововоронежской АЭС-2 при аварийных выбросах в атмосферу с учётом влияния промышленной застройки	<b>198</b>
<b>Чивилев Я.В., Данилов А.Д.</b> Моделирование конвекционных процессов в теплообменниках методами операционного исчисления	<b>201</b>
<b>Шилин А.Н., Коновалова Л.А., Богале М.А.</b> Интеллектуальная система прогнозирования уровня воды в водоёмах АЭС	<b>204</b>

---

---

**СЕКЦИЯ**  
**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС НА ВСЕХ ЭТАПАХ**  
**ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА**

---

---

УДК 621.646

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ**  
**СИГНАЛОВ В ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ**  
**ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

**Абидова Е.А.**

*НИИ АЭМ, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия  
nii\_energomash@mail.ru*

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема повышения эффективности существующих методов обработки диагностической информации. Установлено, что влияние дефектов, возникающих в процессе эксплуатации электромеханического оборудования, приводит к возникновению сложных динамических взаимодействий, проявление которых в диагностических сигналах может быть выявлено методами нелинейной динамики.

**Ключевые слова:** техническая диагностика, диагностический сигнал, фазовые портреты, энтропийные критерии, сингулярный спектральный анализ.

**IMPROVEMENT OF SIGNAL PROCESSING METHODS AND ALGORITHMS IN**  
**DIAGNOSTIC COMPLEXES OF NPP EQUIPMENT**

**Abidova E.A.**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"  
Volgodonsk, Russia  
nii\_energomash@mail.ru*

**Abstract.** The paper considers the problem of increasing the effectiveness of existing methods of processing diagnostic information. It is established that the influence of defects arising during the operation of electromechanical equipment leads to the emergence of complex dynamic interactions, the manifestation of which in diagnostic signals can be detected by methods of nonlinear dynamics.

**Keywords:** technical diagnostics, diagnostic signal, phase portraits, entropy criteria, singular spectral analysis.

Техническая диагностика характеризуется высокой степенью ответственности в обеспечении безопасной эксплуатации энергоблоков АЭС. Повышение эффективности существующих методов обработки диагностической информации возможно за счет разработки алгоритмов обеспечивающих извлечение дополнительной информации о состоянии энергетического оборудования из сигналов, содержащих нестационарные и хаотические компоненты [1].

Теоретическим анализом процессов взаимодействия элементов электромеханического оборудования идентифицированы фазово-динамические характеристики диагностических сигналов [2]. Установлены признаки нелинейных и хаотических генераций, параметризация которых затруднена при использовании традиционных методов обработки диагностической информации.

Процедура диагностирования, базирующаяся на использовании современной диагностической модели, содержащей уравнение состояния и уравнение наблюдаемости объекта диагностирования может быть дополнена оператором нелинейных преобразований, связывающих диагностические сигналы с параметрами состояния объекта.

Фазовые портреты диагностических сигналов оборудования АЭС подтверждают наличие хаотических генераций выражающихся размытием фазовых траекторий, свойственных взаимодействиям элементов оборудования при переходе из детерминированного состояния в хаотическое.

В целях совершенствования методов обработки диагностической информации предложено использование результатов многомерных преобразований детерминированных и стохастических характеристик объекта диагностирования, основанных на использовании сингулярного спектрального анализа [3], что обеспечивает решение задач кластеризации:

- выбор и представление данных для построения эталонного пространства;
- автоматический выбор числа измерений базового пространства;
- выбор меры соответствия между анализируемыми данными и значениями параметров соответствующих исправному состоянию.

Известные реализации сингулярного спектрального анализа реализовывали фильтрацию временного ряда (одного), который предположительно содержит составляющие, сформированные под влиянием дефекта. В настоящей работе для метод используется для исследования соответствия ретроспективных данных (соответствующих исправному состоянию) и текущих. Поэтому основным различием является построение эталонного базиса по ретроспективным данным. Различие структуры ретроспективных и текущих данных проявляется в различии их нагрузки на направления эталонного базиса, за счет чего и может быть обнаружен дефект [4].

Известные реализации сингулярного спектрального анализа реализовывали фильтрацию временного ряда, которая заключалась в разделении «сильных» стационарных и «слабых» хаотических компонентах. При этом предполагалось, что интересующая исследователя информация заключена в «сильных» с точки зрения величины амплитуды составляющих. Однако, исходя из выявленных закономерностей, дефект электромеханического оборудования сопровождается усложнением диагностического сигнала, увеличением вклада хаотических генераций. Визуально данный процесс проявляется в спектре собственных значений ганкелизованного диагностического сигнала: спектр собственных значений, отражая увеличение вклада хаотических и квазипериодических генераций, становится более пологим. Таким образом, ССА в сфере технической диагностики может использоваться как универсальный инструмент качественного и количественного анализа как детерминированных, так и случайных факторов, влияющих на диагностические параметры.

Для различных объектов диагностирования АЭС разработаны алгоритмы построения эталонного пространства с компонентами отражающими вклад детерминированной, вариабельной и хаотической составляющих. Введение в качестве мер близости сформированных кластеров соответствующих расстояний обеспечило снижение вероятности пропуска дефектов и ложной тревоги.

На базе соответствия основным эксплуатационным требованиям (чувствительность и избирательность) обоснована структура информационно-диагностической системы, содержащей помимо штатных блок энтропийных преобразований [4]. и блок представления в эталонном пространстве.

Метрологическим анализом установлена возможность использования современных информационно-измерительных систем для расчета энтропийных показателей и применения метода главных компонент.

Результаты научных исследований доведены до инженерных решений, что позволило повысить надежность и качество диагностических процедур. Промышленные испытания дали положительные результаты:

- на Нововоронежской АЭС при разработке новых методов диагностирования электромеханического оборудования станции;
- на Ростовской АЭС при разработке новых методов диагностирования электромеханического оборудования станции;

– на ООО "Волгодонская тепловая генерация" при диагностике дизель-генераторного оборудования;

– в учебном процессе в Волгодонском Инженерно-Техническом Институте – филиале Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (ВИТИ НИЯУ МИФИ) г. Волгодонск Ростовской области.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слепов М.Т. Новый концептуальный подход к организации службы технического диагностирования на АЭС с ВВЭР / М.Т. Слепов // Контроль. Диагностика. – 2022. – Т. 25. – № 2 (284). – С. 42-48.
2. Москаленко О. И., Ханадеев В. А. Влияние шума на обобщенную синхронизацию в системах со сложной топологией аттрактора // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 233–241. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2021-21-3-233-241>. (дата обращения: 25.07.2024)
3. Абидова Е.А. Совершенствование методов анализа технического состояния электромеханического оборудования АЭС. Глобальная ядерная безопасность. 2023. №3 (48). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-metodov-analiza-tehnicheskogo-sostoyaniya-elektromehaniческого-oborudovaniya-aes> (дата обращения: 25.07.2024)
4. Абидова Е.А., Чернов А.В., Лапкис А.А., Симакова Н.А., Дембицкий А.Е. Использование энтропийных показателей в диагностических процедурах. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. - 2021. - № 4 (212). – С. 24-29;

УДК 620.179.18

## FEATURES OF REPEATED DETECTION OF DEFECTS USING THE SCANNING CONTACT POTENTIOMETRY METHOD

A.I. Alwaheba<sup>1\*</sup>, V.G. Beketov<sup>2</sup>, A.E. Dembitsky<sup>3</sup>, V.I. Surin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jordan Atomic Energy Commission, Amman, Jordan.

<sup>2,3</sup>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI” Volgodonsk, Russia

<sup>4</sup>National Research Nuclear University MEPhI” Moscow, Russia

<sup>1</sup>Anas.kloub@jaec.gov.jo;<sup>2</sup>VGBeketov@mephi.ru;<sup>3</sup>demartev@gmail.ru;<sup>4</sup>visconst@rambler.ru

**Abstract** The contact between scanning sensor and the sample surface play a vital role since the diagnostic signal is a result of low frequency waves of mechanical stresses emitted by defects in the welded joint. The latest studies show that the electric field strength, which arises due to the non-uniform electron density, also plays an important role in signal formation.

**Keywords:** scanning contact potentiometry, electrophysical non-destructive testing, non-destructive testing of welded joints.

## ОСОБЕННОСТИ ПОВТОРНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ КОНТАКТНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ

Алвахеба А.И.<sup>1</sup>, Бекетов В.Г.<sup>2</sup>, Дембицкий А.Е.<sup>3</sup>, Сурин В.И.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Иорданская комиссия по атомной энергии, Амман, Иордания.

<sup>2,3</sup>Волгодонский инженерно-технический институт - филиал Национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”, Волгодонск, Россия

<sup>4</sup>Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия

**Аннотация.** Контакт между сканирующим датчиком и поверхностью образца играет жизненно важную роль, поскольку диагностический сигнал является результатом низкочастотных волн механических напряжений, излучаемых дефектами в сварном соединении. Последние исследования показывают, что напряженность

электрического поля, возникающая из-за неоднородной электронной плотности, также играет важную роль в формировании сигнала.

**Ключевые слова:** сканирующая контактная потенциометрия, электрофизический неразрушающий контроль, неразрушающий контроль сварных соединений.

Mechanical waves are spontaneously generated by a rapid release of energy within a material due to changes in defect's local stress and strain fields in metals. Therefore, these waves can cause surface motion. These surface disturbances contain valuable information about location and characteristics of the defect [1-3]. On this basis, scanning contact potentiometry (SCP) had been developed. SCP is considered a reliable nondestructive testing method [4] where the relationship between deformational activity of the surface and electric properties of materials had been studied thoroughly in our numerous works. They found out that the growth of deformation subsequently lead to an increase in the number of spots of contact between the transducer and the sample surface, therefore resulting in a considerable increase in the amplitude of diagnostic signal. Moreover, SCP can detect the early stage formation and growth of embryonic fatigue cracks in metals.

The purpose of this study is to conduct SCP again and locate defects in an stainless austenitic steel. welded sample, consisting of two halves of 200×110×13.5mm plates, after five months of storing the sample at room temperature. Additionally, the influences of external factors (such as current and temperature) have been investigated. A constant current ranging from 0.01 to 0.1A was passed through the sample, and potentiograms were plotted and compared with those obtained directly after sample welding. Another objective was to examine how the scanning speed of the transducer on the welded sample surface affects the efficiency of detecting structural inhomogeneities compared to manual point-by-point scanning.

Another issue that was studied in this article is the use of electrophysical chromatography and comparison of the results obtained.

#### REFERENCES

1. Wadley H.N.G., Scruby C.B., Speake J.H. Acoustic emission for physical examination of metals, International Metals Reviews, vol. 25, no. 1, 1980, pp. 41-64.
2. Eitzen, D. G., and H. N. G. Wadley. Acoustic emission: establishing the fundamentals, Journal of research of the National Bureau of Standards, vol. 89, no. 1, 1984, pp. 75.
3. Mazille, H. and Rothea, R. The use of acoustic emission for the study and monitoring of localized corrosion phenomena, Modelling Aqueous Corrosion: From Individual Pits to System Management, 1994, pp.165-174.
4. Surin, Vitaly. New potential for potentiometry, Nuclear Engineering International, vol. 63, no. 765, 2018, pp. 30-32.

УДК 66.045.53

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА И ТЕХНИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС ПУТЁМ ИНТЕГРАЦИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ГРАДИРЕН**

**Башкиров Г.А.<sup>1</sup>, Усачев Д.Е.<sup>2</sup>**

*Филиал АО «Концерн Росэнергоатом «Нововоронежская АЭС», Нововоронеж, Россия*

<sup>1</sup>*bashkirova@oiate.ru*

<sup>2</sup>*usachevde@nvnpp1.rosenergoatom.ru*

**Аннотация.** В работе выполнен обзор накопленного существующего опыта в области модернизации системы технического водоснабжения с испарительными градирнями для обоснования актуальности работы, для определения подходов к моделированию теплогидравлической модели интегрирования модулей вентиляторных градирен, для получения информации по материалам (значения гидравлических

сопротивлений, степени шероховатости трубопроводов), пригодным для проектирования теплогидравлической модели контура технического водоснабжения Нововоронежской АЭС при помощи среды динамического моделирования технических систем SimInTech с учётом особенностей работы энергоблока. Выполнено теплогидравлическое проектирование контура технического водоснабжения для выявления влияния дополнительного интегрирования модулей вентиляторных градирен на температуру охлаждающей воды конденсатора турбины. Проведенные расчеты по возможной модернизации системы основной охлаждающей воды градирни Нововоронежской АЭС подтверждают выдвинутые нами перспективы увеличения эффективности работы энергоблока в летнее время.

**Ключевые слова:** техническое водоснабжения, башенная испарительная градирня, конденсатор, теплогидравлическая модель, модернизация системы охлаждения градирни, увеличение эффективности работы энергоблока, вентиляторная градирня, насосы техводы, среда динамического моделирования SimInTech, атомная электростанция.

## INVESTIGATION OF THE POTENTIAL AND TECHNICAL ASPECTS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF THE NOVOVORONEZH NPP TECHNICAL WATER SUPPLY SYSTEM BY INTEGRATING ADDITIONAL MODULES OF FAN COOLING TOWERS

**Bashkirov G.A.<sup>1</sup>, Usachev D.E.<sup>2</sup>**

*Novovoronezh NPP filial of Rosenergoatom Concern JSC, Novovoronezh, Russia*

<sup>1</sup>*bashkirovga@oiate.ru*

<sup>2</sup>*usachevde@nvnpp1.rosenergoatom.ru*

**Abstract.** The paper provides an overview of the accumulated existing experience in the field of modernization of the technical water supply system with evaporative cooling towers to substantiate the relevance of the work, to determine approaches to modeling the thermohydraulic model for integrating modules of fan cooling towers, to obtain information on materials (values of hydraulic resistances, degree of roughness of pipelines), suitable for designing a thermohydraulic model of the Novovoronezh NPP technical water supply circuit using the SimInTech dynamic modeling environment for technical systems, taking into account the specifics of the power unit operation. A thermohydraulic design of the technical water supply circuit was performed to identify the effect of additional integration of fan cooling tower modules on the cooling water temperature of the turbine condenser. The calculations carried out on the possible modernization of the main cooling water system of the Novovoronezh NPP cooling tower confirm the prospects put forward by us for increasing the efficiency of the power unit in the summer.

**Keywords:** technical water supply, tower evaporative cooling tower, condenser, thermohydraulic model, modernization of the cooling tower cooling system, increase in the efficiency of the power unit, fan cooling tower, pumps, technical waters, SimInTech dynamic modeling environment, nuclear power plant.

Эффективность работы энергоблоков АЭС значительно снижается в летний период эксплуатации по сравнению с зимой. Главным образом это обосновывается значительным повышением температуры охлаждающей воды, что сказывается на ухудшение вакуума в конденсаторе [1].

Существует несколько способов повышения эффективности работы системы техводоснабжения в летнее время. Для поддержания удовлетворительных параметров при повышенной температуре охлаждающей воды производят включение в параллельную работу резервного насоса охлаждающей воды неответственных потребителей (насоса техводы) и дополнительного маслоохладителя системы смазки. Однако существует возможность непланового выхода из строя данного оборудования, что сильно сказывается на стабильную электрическую нагрузку энергоблока [1].

В качестве альтернатив на Нововоронежской АЭС возможно размещение дополнительного насоса техводы на блочной насосной станции (рисунок 1), проектирование дополнительного трубопровода подпитки из реки Дон напрямую к насосам системы охлаждения неответственных потребителей машзала, а также размещение в маслокомнате смазки дополнительно маслоохладителя.

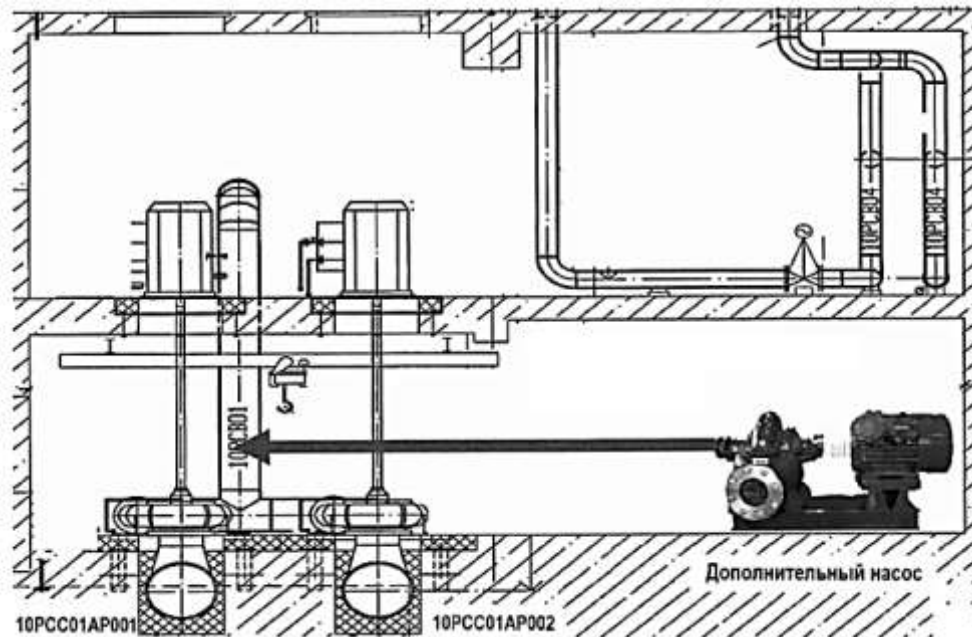


Рисунок 1 – Размещение дополнительного насоса НТВ на блочной насосной станции

Данные модернизационные решения имеют как свои преимущества, так и недостатки, поэтому важно учитывать ещё и опыт эксплуатации других электростанций. На Ростовской АЭС в результате недавней модернизации системы технического водоснабжения были построены дополнительные модули вентиляторных градирен, что значительно понизило температуру охлаждающей воды при работе энергоблоков в летнее время (рисунок 2) [2].

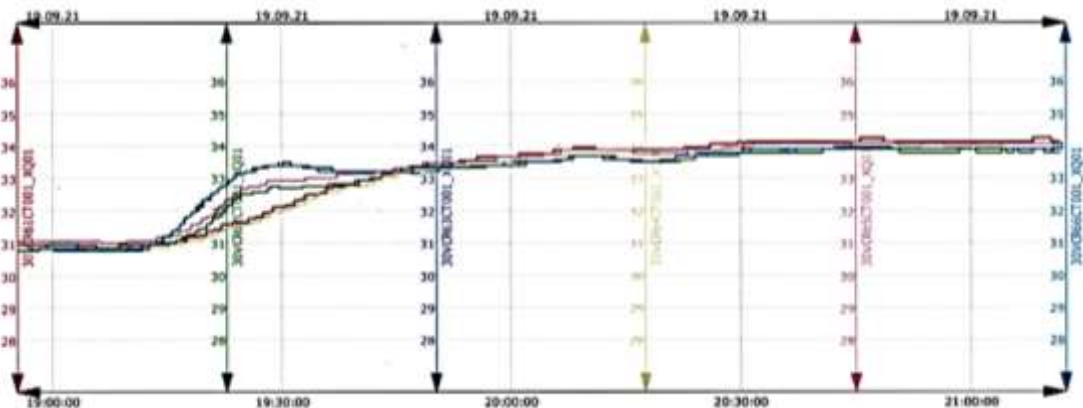


Рисунок 2 – Рост температуры на входе в конденсатор при отключении вентиляторной градирни

В данной работе проведено исследование наиболее верного модернизационного решения системы технического водоснабжения среди представленных вариантов.

По результатам исследования составлена теплогидравлическая модель контура технического водоснабжения, а также паро-конденсатного контура Нововоронежской АЭС при помощи среды динамического моделирования технических систем SimInTech (рисунок 3).

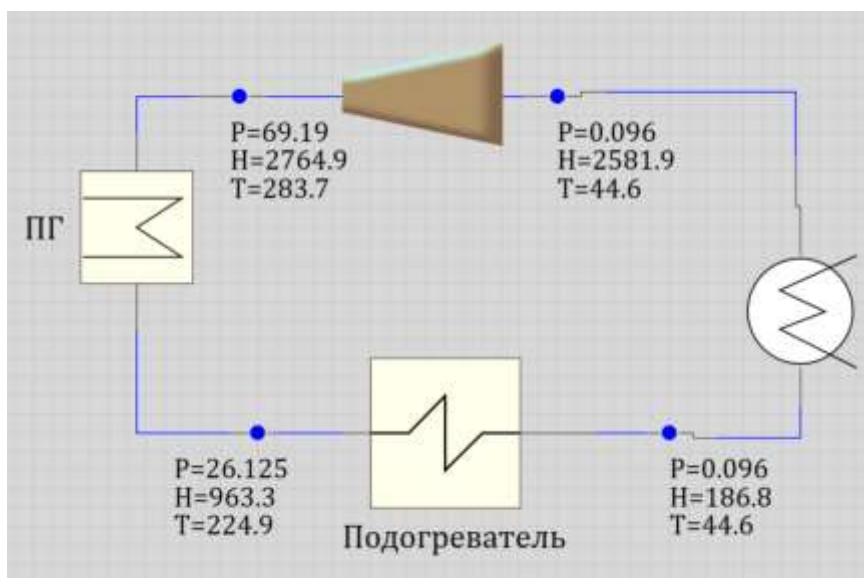


Рисунок 3 – Теплогидравлическая модель в среде динамического моделирования SimInTech

По результатам теплогидравлических расчётов в среде динамического моделирования физических процессов SimInTech составим таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта давления в конденсаторе

Параметр	Значение параметров при температуре охлаждающей воды на входе в конденсатор			
	20 °С	25 °С	30 °С	35 °С
Т выхода охлаждающей воды после конденсатора, °С	31.3	36.2	41.2	46.2
Т пара на входе в конденсатор, °С	30.44	33.92	44.6	49.42
Т конденсата на выходе из конденсатора, °С	30.44	33.92	44.6	49.42
Р в конденсаторе, кПа	4.31	5.3	9.4	12
Р атмосферное, кПа	99.9	99.9	99.9	99.9
Расход охлаждающей воды, т/ч	150000	150000	150000	150000

Таким образом можно сделать вывод о том, что использование вентиляторной градирни совместно с башенной испарительной градирней позволяет увеличить глубину охлаждения основной охлаждающей воды, что несомненно сказывается на оптимальной, стабильной работе энергоблока в летнее время [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поваров В.П., Стацур Д.Б., Усачев Д.Е. Опыт эксплуатации и пути повышения эффективности работы системы технического водоснабжения энергоблоков № 1, 2 Нововоронежской АЭС-2. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2020. – № 2. – С. 5-16;
2. Жуков А.А. Опыт внедрения вентиляторных градирен и борьба с карбонатными отложениями на Ростовской АЭС//Совещание по рассмотрению вопросов планирования сооружения вентиляторных градирен энергоблока №4 Ростовской АЭС. – 2022;
3. Башкиров Г.А. Инновационные подходы к оптимизации испарительных башенных градирен. Безопасность АЭС и подготовка кадров Тезисы докладов. Обнинск, 2023. С 46–47. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54784050> – 24.07.2024 (дата обращения: 25.07.2024).

## МОДИФИКАЦИЯ КЛИНОПТИЛОЛИТА С ЦЕЛЬЮ РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ

**Васильева С.Ю.**

*Нововоронежский политехнический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, г. Нововоронеж, Россия*  
*sv\_vasileva@mail.ru*

**Аннотация.** В работе исследовано варьирование свойств сорбента после модификации метилхлорсиланами. Установлено, что силилирование поверхности клиноптилолита протекает за счет ковалентного закрепления метилсиланов на изолированных силанольных группах с образованием силановых групп –Si–O–Si–. Наблюдается снижение объема микро- и мезопор, а также удельной поверхности метилированных образцов. Показано, что индекс гидрофобности для клиноптилолита с привитыми органосилановыми группами возрастает. Данные термogrавиметрического эксперимента подтверждают о влиянии силилирования на гидратационные характеристики цеолита.

**Ключевые слова:** клиноптилолит, метилхлорсиланы, модификация

## MODIFICATION OF CLINOPTILOLITE IN ORDER TO EXPAND THE APPLICATION AREAS

**Vasilyeva S.Yu**

*Novovoronezh Polytechnic Institute is a branch of the National Research Nuclear University MEPhI, Novovoronezh, Russia*  
*sv\_vasileva@mail.ru*

**Abstract.** The variation of the sorbent properties after modification with methyl chlorosilanes is investigated. It was found that the silylation of the clinoptilolite surface proceeds due to the covalent fixation of methylsilanes on isolated silanol groups with the formation of siloxane groups –Si–O–Si–. There is a decrease in the volume of micro- and mesopores, as well as the specific surface area of methylated samples. It is shown that the hydrophobicity index for clinoptilolite with grafted organosilane groups increases. The data of the thermogravimetric experiment confirm the effect of silylation on the hydration characteristics of zeolite.

**Keywords:** clinoptilolite, methylchlorosilanes, modification

В настоящее время использование природных неорганических сорбентов, таких как клиноптилолит, является перспективным, экономичным и эффективным подходом к очистке воды на АЭС от токсичных и тяжелых металлов, выделению радиоактивных изотопов из жидких отходов, удалению катионов аммония из промывных и сточных вод, для сорбции из промышленных сбросов соединений, содержащих органические вещества, нефтепродукты, поскольку он доступен, недорог и может быть регенерирован для многократного использования.

Природный сорбент обладает рядом свойств, которые делают его привлекательным и подходящим для использования его в условиях АЭС: селективность к широкому спектру элементов и веществ; химическая, механическая, термическая и радиационная устойчивость; высокие сорбционные свойства; микромезопористая структура и доступность пор. Эти свойства позволяют эффективно очищать горячие водные среды без предварительного охлаждения, что особенно важно на АЭС и делают клиноптилолит ценным материалом для разработки более доступных и эффективных систем очистки.

Модификация сорбента без нарушения его кристаллической структуры расширяет возможности его использования, позволяя адаптировать материал под конкретные задачи очистки. Это может включать изменение гидрофильно-гидрофобных свойств, а также химической природы реакционных центров и текстурных характеристик сорбента [1,2].

В связи с вышеизложенным, целью представленной работы явилось изучение структурных особенностей цеолита, возможностей его модифицирования для разработки на его основе высокоселективных сорбционных материалов.

В качестве исходного сорбционного материала был выбран клиноптилолит месторождения Ханты – Мансийский автономный округ [3].

Модификацию сорбента проводили метилсиланами МС, что позволяет улучшить его свойства, делая его гидрофобным и повышая его сорбционную активность и селективность по отношению к неполярным молекулам. При этом сохраняются важные свойства цеолита, такие как геометрия, термическая и механическая прочность.

Обработка поверхности цеолита путем прививки органохлорсиланов (триметил-ТМХС и диметилсиланов ДМДХС) приводит к появлению характерных полос поглощения на ИК-спектре, что свидетельствуют об успешной прививке МС к поверхности сорбента [4].

Силилирование образца происходит между кремнием в МС и кислородом силанольной группы с помощью ковалентного закрепления с образованием силансаноновых групп.

Согласно результатам исследования (метод низкотемпературной адсорбции/ десорбции азота) показано изменение структурных характеристик сорбента после его модификации. Установлено, что сорбент сохраняет мезопористую структуру, а также происходит снижение объема микро- и мезопор, удельной поверхности образцов. Меньшими значениями удельной поверхности и пористости характеризуется алюмосиликат, химически модифицированный ДМДХС [4].

Обработка сорбента органохлорсилановыми группами приводит к повышению его гидрофобности. Более высокое значение индекса гидрофобности характерно для сорбента, модифицированного ТМХС. Повышение гидрофобности может быть полезным в таких областях, как очистка и разделение смесей веществ, катализ и других процессах, где важна селективная адсорбция гидрофобных компонентов.

Таким образом, химическая модификация поверхности кислотно-активированного клиноптилолита МС приводит к изменению химической структуры реакционных центров (алкилгруппы закрывают изолированные силанольные группы), а также к снижению удельной поверхности и объема пор, что увеличивает гидрофобные свойства сорбента. Процесс закрепления модификатора на матрице сорбента осуществляется за счет замещения протона в изолированной силанольной группе метилсиланами. Клиноптилолит используется в ядерной энергетике, так как обладает способностью эффективно адсорбировать различные радионуклиды и токсины, что делает его ценным в процессе очистки сточных вод и обеспечения экологической безопасности. Возможность контроля за экологией и улучшение условий работы в атомных станциях с использованием клиноптилолита подчеркивает его важность в современных технологиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Step-wise dealumination of natural clinoptilolite: Structural and physicochemical characterization / Y. Garcia-Basabe, I. Rodriguez-Iznaga, M. Menorval; *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2010. – V.135. – P. 187–196. Режим доступа [https://www.researchgate.net/publication/292129847\\_Stepwise\\_dealumination\\_of\\_natural\\_clinoptilolite\\_Structural\\_and\\_physicochemical\\_characterization](https://www.researchgate.net/publication/292129847_Stepwise_dealumination_of_natural_clinoptilolite_Structural_and_physicochemical_characterization) (дата обращения 16.07.24)
2. Синтез и характеристика органо-неорганических композитных материалов с четвертичными аммониевыми группами на основе мезопористого силиката МСМ-41 / Е. В. Бородина, Ф. Реснер, С. И. Карпов, В. Ф. Селеменев. *Российские нанотехнологии* – 2010. – № 11–12. – С. 98–103. Режим доступа <https://elibrary.ru/item.asp?id=15271340> (дата обращения 16.07.24)
3. Сорбционные и физико – химические свойства цеолита месторождения Приполярного Урала Югры / Ю. А. Черенкова, Д. Л. Котова, Т. А. Крысанова. *Сорбционные и хроматографические процессы*. – 2006. – Т.6, вып. 6. – С. 1455-1459. Режим доступа <https://elibrary.ru/ttpmdb>(дата обращения 16.07.24)
4. Равновесная сорбция  $\alpha$ -токоферола на модифицированном клиноптилолите : специальность 02.00.04 «Химия» : Диссертация на соискание кандидата химических наук / Светлана Юрьевна Васильева ; ФГБОУ ВО "ВГУ". — г. Воронеж, 2015. — 137 с.

## РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ-ТРЕНАЖЁРА «ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР. ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ДИАГНОСТИКА. ТОИР. ПРОГНОЗ. РЕСУРС»

**Галкин А.С., Соловьёв В. И., Микшин И. А., Петерс Н. А., Хитров Е. И.**  
*НИИ АЭМ, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия.*  
*nii\_energomash@mail.ru*

**Аннотация.** В работе обозначена проблема недостаточного уровня владения персоналом навыками ТОиР резервных дизель-генераторных установок (ДГУ), при нехватке запчастей, поставляемых из-за рубежа и предложено решение разработать универсальную учебную лабораторию-тренажёр «Дизель-генератор. Эксплуатация. Диагностика. ТОиР. Прогноз. Ресурс».

**Ключевые слова:** диагностика, ремонт, дизель-генераторная установка, ресурс, прогнозирование, техническое обслуживание.

## DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL TRAINING LABORATORY SIMULATOR “DIESEL GENERATOR. OPERATION. DIAGNOSTICS. MRO. FORECAST. RESOURCE”

**Galkin A.S., Solovyov V. I., Mikshin I. A., Peters N. A., Khitrov E. I.**  
*Research Institute of AEM, Volgodonsk Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI", Volgodonsk, Russia*  
*nii\_energomash@mail.ru*

**Abstract.** The problem of insufficient level of personnel proficiency in maintenance and repair of standby diesel generator sets (DGS), with a shortage of spare parts supplied from abroad, is identified and a solution is proposed to develop a universal training laboratory-simulator “Diesel Generator. Operation. Diagnostics. MRO. Forecast. Resource”.

**Key words:** diagnostics, repair, diesel generator set, resource, forecasting, maintenance.

В составе систем безопасности российских АЭС эксплуатируются дизель-генераторные установки (ДГУ). В связи с рядом ограничений, введённых западными странами по отношению к России, отсутствует техническое сопровождение иностранными производителями эксплуатации ДГУ таких производителей, как Sulzer, MAN, MTU, Вяртсиля. В связи с этим возможен рост частоты отказов и нехватка запчастей, а также проблемы в обучении персонала АЭС, обеспечивающего эксплуатацию, ТОиР и диагностику ДГУ.

Для преодоления указанных проблем предлагается разработать универсальную учебную лабораторию-тренажёр «Дизель-генератор. Эксплуатация. Диагностика. ТОиР. Прогноз. Ресурс»

Целью создания универсальной учебной лаборатории-тренажера «Дизель-генератор. Эксплуатация. Диагностика. ТОиР. Прогноз. Ресурс» является повышение безопасности и экономической эффективности АЭС за счет повышения качества обучения и совершенствования профессиональной подготовки оперативного персонала и персонала, выполняющего диагностику и ТОиР, обеспечивающего эксплуатацию дизель-генераторных установок АЭС, включая персонал подрядных организаций.

Создание учебной лаборатории-тренажера позволит модернизировать процессы обучения и повысить их качество за счет широкого использования технологии виртуальных цифровых моделей (рисунок 1), AR-технологии и системы QR-кодов в сочетании с натурными элементами, воспроизводящими ситуации, возможные при эксплуатации, ТОиР и диагностике ДГУ.

Подготовка и отработка действий оперативного и ремонтного персонала в виртуальной среде обучения позволит:

- получить практические навыки работы с дорогостоящим оборудованием (особенности эксплуатации дизель-генераторного оборудования АЭС не предусматривают проведения на нем обучения персонала);
- воссоздать на цифровой модели (двойнике ДГУ) разнообразные нештатные ситуации с целью выработки навыков быстрых и разумных действий в данных условиях, что снизит частоту возникновения несчастных случаев, без риска порчи оборудования;
- оптимизировать хронометраж выполняемых работ;
- усовершенствовать процессы эксплуатации, технического обслуживания и ремонта реального дизель-генераторного оборудования АЭС за счет анализа действий ремонтного и обслуживающего персонала на цифровой модели ДГУ.

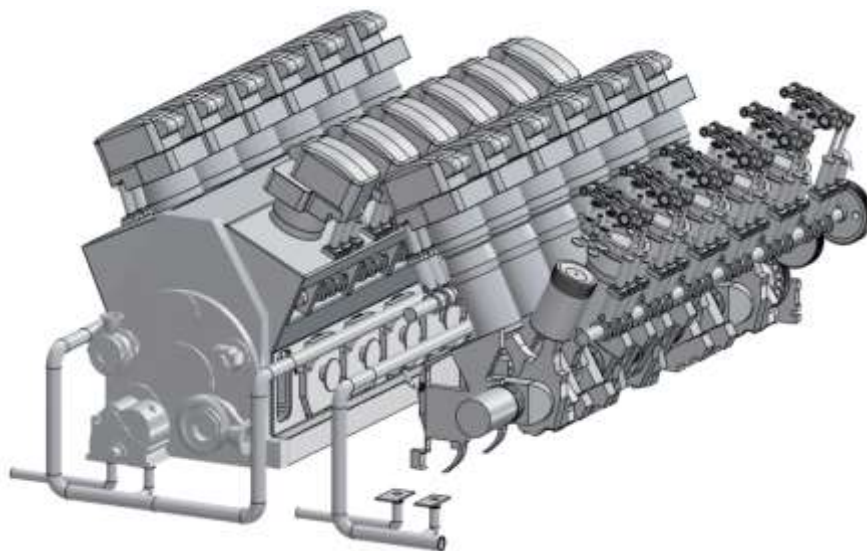


Рисунок 1 – Цифровая модель ДГУ Sulzer

Необходимость создания универсальной учебной лаборатории-тренажера продиктована отсутствием в настоящее время технических средств обучения, позволяющих эффективно готовить персонал, обеспечивающий эксплуатационную, безопасную и функциональную пригодность дизель-генераторов, эксплуатируемых на АЭС.

Таким образом, внедрение учебной лаборатории-тренажера позволит комплексно решить проблемы обучения эксплуатационного и ремонтного персонала, повысить оперативность проведения ремонтных работ, что отразится на повышении уровня безопасности эксплуатации и экономических показателях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абидова Е.А., Пугачёва О.Ю., Пугачев А.К., Соловьев В.И. Диагностика дизель-генератора 15Д-100 по показателям вибрации. Глобальная ядерная безопасность, 2014. - № 2 (11). - С. 91-97.
2. Абидова Е.А., Пугачёва О.Ю., Ремизов Р.И., Соловьёв В.И. Виброакустический мониторинг и тепловизионный контроль при диагностировании дизеля 12ZV40/48. Глобальная ядерная безопасность, 2016. - № 2 (19). - С. 70-76.
3. Абидова Е.А., Булава В.А., Пугачёва О.Ю., Соловьёв В.И., Хегай Л.С., Чернов А.В. Диагностирование дизель-генераторного оборудования АЭС с использованием детерминированных и стохастических методов. Глобальная ядерная безопасность, 2016. - № 3 (20). - С. 74-79.
4. Абидова Е.А., Драка О.Е., Соловьев В.И., Хегай Л.С., Пугачева О.Ю., Чернов А.В. Обработка изображений в системе диагностики дизелей-генераторов АЭС с использованием энтропийных подходов. Ядерная физика и инжиниринг, 2017. - Т. 8, № 2. - С. 181-186.
5. 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.

## АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ СИСТЕМАТИЗАЦИИ И АНАЛИЗА ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА В КОНТЕКСТЕ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С РАО

**Гончарова А. В., Кузин С.А.**

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

**Аннотация.** В статье анализируется публикационная активность по теме обращения с отходами в России и за рубежом. Выявлены общие закономерности, в том числе появление специализированных журналов и других научных форумов по теме радиоактивных отходов. Представлены основные работы на русском языке, посвященные общему анализу зарубежного опыта в области обращения с радиоактивными отходами при вводе в эксплуатацию и выводе из эксплуатации ядерных объектов.

**Ключевые слова:** Радиоактивные отходы (РАО), единая национальная система обращения с радиоактивными отходами, ядерный топливный цикл, отработавшее ядерное топливо, ликвидация ядерного наследия.

## ACTUAL TASKS OF SYSTEMATIZATION AND ANALYSIS OF FOREIGN EXPERIENCE IN THE CONTEXT OF THE CREATION AND DEVELOPMENT OF A UNIFIED SYSTEM FOR THE MANAGEMENT OF RADIOACTIVE WASTE

**Goncharova A.V., Kuzin S. A.**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear  
University «MEPhI»,  
Volgodonsk, Russia  
VITIkaFAE@mephi.ru*

**Abstract.** The article analyzes the publication activity on the topic of waste management in Russia and abroad. Common patterns have been identified, including the emergence of specialized journals and other scientific forums on the topic of radioactive waste. The main works in Russian devoted to the general analysis of foreign experience in the field of radioactive waste management during the commissioning and decommissioning of nuclear facilities are presented.

**Keywords:** radioactive waste (RW), unified state system of RW management (USS RW), nuclear fuel cycle (NFC), spent nuclear fuel (SNF), nuclear legacy facility liquidation.

Промышленная деятельность может оказывать негативное воздействие, особенно в области ядерной энергетики, что связано с образованием радиоактивных отходов. Опыт последних десятилетий в области обращения с такими отходами важен для успешного управления ядерным топливным циклом (ЯТЦ).

За последние десятилетия человечество накопило значительный опыт в области обращения с радиоактивными отходами. Понимание этого опыта имеет решающее значение для успешной реализации мероприятий на завершающем этапе ядерного топливного цикла, организации надзора, распределения ответственности и формирования финансовых стратегий.

Полувековой опыт решения проблем обращения с радиоактивными отходами отражен в многочисленных научных публикациях, доступных по всему миру. МАГАТЭ располагает одним из крупнейших интерактивных информационных хранилищ, включающим более 3,8 миллиарда ссылок на различные документы, включая отчеты, рефераты, материалы конференций, патенты, научные статьи. Количество публикаций по теме обращения с РАО, представленных в INIS за период с 1946 по 2023 год, превышает 52 000 (рисунок 1).

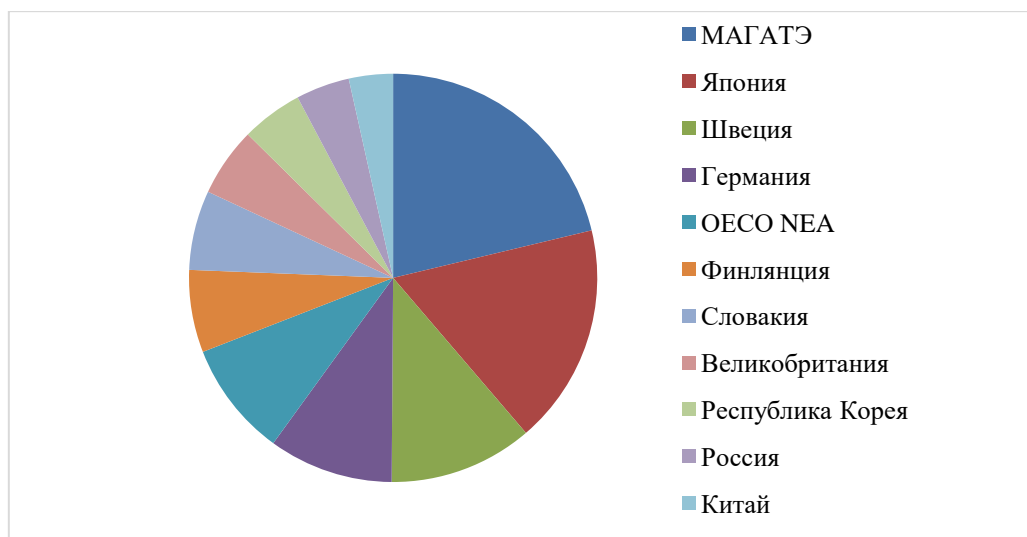


Рисунок 1 – Количество публикаций по теме обращения с РАО

Согласно данным INIS, за последние семь лет наибольшее количество публикаций по теме обращения с радиоактивными отходами (РАО) было подготовлено в следующих областях:

- обращение с РАО, образующимися в результате эксплуатации и вывода из эксплуатации атомных реакторов;
- вопросы геологии в контексте решения задачи создания пунктов глубокого геологического захоронения РАО;
- вопросы защиты окружающей среды;
- вопросы радиационной защиты и дозиметрии.

Для сбора статистических данных по нашей стране были использованы данные из eLibrary [2], крупнейшего информационно-аналитического ресурса в области российской науки, технологий, медицины и образования. Было обнаружено более 2400 статей, содержащих ключевое слово "радиоактивные отходы". За последние годы их общее количество значительно увеличилось. Однако большинство этих публикаций разбросаны по узким журналам более чем по 50 различным дисциплинам, и обобщить накопленные знания для всестороннего научного обсуждения сложно.

Аналогичная ситуация наблюдается и в Соединённых Штатах. Чтобы оценить общее количество научных публикаций по теме «Обращение с радиоактивными отходами (РАО)» за последние несколько десятилетий, использовались данные из 18 ведущих рецензируемых научных журналов и двух крупных общедоступных научных изданий — Science и Nature — в области использования атомной энергии. Общее количество опубликованных статей составляет около 8500. До 1994 года большинство статей публиковалось только в трех научных журналах, издаваемых Американской ассоциацией по атомной энергии (American Nuclear Society, ANS): Nuclear Science and Engineering, Nuclear Technology и Fusion Science and Technology. В 1994 году ANS основало специализированный журнал Radwaste Solutions, полностью посвящённый вопросам обращения с РАО. Впоследствии количество статей, публикуемых ведущими научными журналами, немного снизилось, но общее количество научных публикаций по этой теме продолжало расти [3].

В период с 2011 по 2024 год значительная часть материалов была связана с ликвидацией ядерного наследия, восстановлением загрязнённых земель (31%) и очисткой подземных и поверхностных вод (28%).

Второй по популярности темой были проблемы обеспечения долгосрочной безопасности ВАО и отработанного ядерного топлива (ОЯТ). Обсуждались вопросы геологического захоронения ОЯТ и ВАО, а также организации долгосрочного хранения ОЯТ.

Со временем стало ясно, что идея создания единого издания, реализованная в США, оказалась весьма успешной. Журнал «Radwaste Solutions» способствует обмену информацией

между специалистами разных областей науки и техники, связанными с утилизацией отходов, собирает ключевые достижения в этой сфере и значительную часть данных по смежным вопросам, которые раньше были разбросаны по разным печатным и электронным источникам.

Опыт Соединенных Штатов показывает, что такие ресурсы могут повысить эффективность и качество научных дискуссий в процессе принятия решений на заключительном этапе ядерного топливного цикла.

В результате повышается уровень организации обращения с радиоактивными отходами. Анализ накопленного опыта в стране и за рубежом — неотъемлемая часть любой деятельности и ключ к её успешному выполнению. Это помогает объективно оценить текущую ситуацию, внедрить лучшие международные практики и избежать повторения ошибок.

Публикации последних лет направлены на систематизацию накопленных знаний. Есть несколько важных двусторонних работ. Эта тема актуальна ввиду планов, реализуемых государственной компанией «Росатом».

Второе направление связано с опытом реализации проекта по созданию глубоководного месторождения для переработки радиоактивных отходов. Эти две темы чрезвычайно важны для успешного развития атомной отрасли. Одной из первых масштабных работ по анализу зарубежного опыта в области обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами (РАО) является обзор, опубликованный в 2020 году.

Этот обзор описал опыт 15 зарубежных стран в обращении с ОЯТ и РАО. Авторы обзора максимально всесторонне описали текущую ситуацию в реализации зарубежных программ по захоронению, а также перспективы и проблемы в этой области. Они также рассмотрели состояние атомно-энергетических мощностей, политику в области обращения с ОЯТ и РАО в разных странах, национальную систему классификации накопленных и прогнозных объемов ОЯТ и РАО.

Кроме того, в статье представлена краткая информация о текущих и планируемых местах захоронения всех видов радиоактивных отходов, а также о компаниях, занимающихся этой деятельностью.

В 2017 году новые обзорные материалы, опубликованные в виде серии препринтов, были обновлены с учетом прогресса, достигнутого за последние годы, с уделением особого внимания созданию и эксплуатации ПИЛ, принимая во внимание усиление подготовительных работ по созданию подземно-исследовательской лаборатории (ПИЛ) в Нижнекамском горном массиве и разработке стратегического плана исследований.

Многие страны десятилетиями проводят исследования в (ПИЛ). Они накопили ценный опыт и знания, связанные с общими вопросами и более конкретными областями обращения с радиоактивными отходами. Например, они охарактеризовали, спроектировали и оценили показатели эффективности современных систем захоронения.

С точки зрения отечественных экспертов, опыт США в строительстве подземных резервуаров для хранения перспективных жидких отходов (FAW) может быть интересным. В Соединенных Штатах есть три места для этого хранилища: Хэнфорд, Саванна-Ривер и Айдахо.

Эти отходы извлекаются и разделяются на фракции с высокой и низкой активностью. Высокоактивная часть подвергается обработке, чтобы привести ее в соответствие с критериями приемлемости для геологического захоронения. Кроме того, низкоактивные отходы (НАО) доводятся до приемлемого состояния для окончательного разделения.

В заключение, хотелось бы еще раз подчеркнуть, насколько важно анализировать накопленный опыт и совершенствовать его при планировании любых будущих мероприятий на завершающем этапе ЯТЦ. Кроме того, крайне важно, чтобы все эксперты, занимающиеся этим вопросом, могли своевременно отслеживать опубликованные материалы по данной теме.

Появление единой публикации, с помощью которой можно будет найти ссылки на наиболее значимые достижения и публикации в области обращения с радиоактивными отходами, должно стать новым этапом в организации взаимодействия между всеми заинтересованными сторонами таких проектов. Это повысит эффективность и продуктивность научных дискуссий, которые сопровождают эти проекты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Режим доступа: INIS Repository, IAEA. Режим доступа: <http://inis.iaea.org> (дата обращения 15.07.2024).
2. Режим доступа: eLibrary.ru: научная электронная библиотека. Режим доступа: <https://elibrary.ru> (дата обращения 15.07.2024).
3. Защита от ионизирующих излучений. Справочник: Учебное пособие / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева, - Энергоатомиздат, 1995г. - 496 с. - ISBN 5-283-03059-8.

УДК 621.039.566

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЯ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА ПРИ ПОЛНОЙ ВЫГРУЗКЕ И ПОЛНОЙ ЗАГРУЗКЕ РЕАКТОРА ЭНЕРГОБЛОКА № 2 НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС-2 ВО ВРЕМЯ ППР-2024

Гончаров Д.Н.<sup>1</sup>, Колотушкин Д.С.<sup>2</sup>

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»,  
г. Нововоронеж, Россия

<sup>1</sup>[GoncharovDN@nvnpp1.rosenergoatom.ru](mailto:GoncharovDN@nvnpp1.rosenergoatom.ru); <sup>2</sup>[KolotushkinDS@nvnpp1.rosenergoatom.ru](mailto:KolotushkinDS@nvnpp1.rosenergoatom.ru)

**Аннотация.** В работе рассмотрена возможность контроля нейтронного потока при перемещении ядерного топлива в активной зоне реактора с помощью каналов диапазона источника ДИ-СКП с вне реакторными детекторами.

**Ключевые слова:** контроль нейтронного потока, перемещение ядерного топлива, активная зона.

## ANALYSIS OF THE RESULTS OF NEUTRON FLUX MONITORING AT FULL UNLOADING AND FULL LOADING OF THE REACTOR POWER UNIT №2 OF NOVOVORONEZH NPP-2 DURING THE PREVENTIVE MAINTENANCE-2024

Goncharov D.N.<sup>1</sup>, Kolotushkin D.S.<sup>2</sup>

JSC Concern Rosenergoatom Novovoronezh Nuclear Power Plant, Novovoronezh,

<sup>1</sup>[GoncharovDN@nvnpp1.rosenergoatom.ru](mailto:GoncharovDN@nvnpp1.rosenergoatom.ru); <sup>2</sup>[KolotushkinDS@nvnpp1.rosenergoatom.ru](mailto:KolotushkinDS@nvnpp1.rosenergoatom.ru)

**Abstract.** The paper considers the possibility of controlling the neutron flux during the movement of nuclear fuel in the reactor core using channels of the DISK P source range with non-reactor detectors.

**Keywords:** neutron flux control, nuclear fuel transfer, core.

Проектом реакторных установок Нововоронежской АЭС-2 предусмотрена возможность контроля нейтронного потока при проведении перегрузки топлива как с помощью 6 каналов внутриреакторного СКП, так и с использованием 6 каналов диапазона источника ДИ-СКП АКНП с вне реакторными детекторами. По окончании 4-й топливной загрузки был проведен анализ результатов контроля нейтронного потока во время перегрузки топлива на энергоблоке №2 НВАЭС-2 с целью оценки возможности осуществления функций СКП с помощью каналов диапазона источника ДИ-СКП.

В состояниях глубокой подкритичности реактора, включая состояния при перегрузке, нейтронный поток обусловлен внутренним источником нейтронов, мощность которого

сильно зависит от глубины выгорания топлива. По окончании работы 4-ой топливной загрузки были достигнуты проектные уровни глубины выгорания ТВС, отработавших 4 кампании реактора, а также других ТВС, отработавших меньшее время. При этом в реакторе энергоблока был достигнут близкий к максимальному уровень мощности внутреннего источника нейтронов, обусловленного спонтанными делениями ядер-актиноидов (в основном кюрий-242 и 244) и  $(\alpha, n)$ -реакциями испускаемых актиноидами  $\alpha$ -частиц с изотопами кислорода  $^{17,18}\text{O}$  в топливе.

Полученные результаты контроля нейтронного потока показали, что частоты импульсов по каналам ДИ-СКП не достаточны для осуществления функции СКП (рисунок 1). Если исходить из условия срабатывания сигнала «СТОП» при достижении минимальной уставки СКП по частоте «7 имп/с» при уменьшении подкритичности до 0,02, то показания частоты по каналам ДИ-СКП по окончании перегрузки должны быть не менее 0,5 Гц. Это означает, что для реализации контроля нейтронного потока и функций СКП вне реакторными БД необходимо увеличить их чувствительность не менее чем в пять раз.

Устройство детектирования плотности потока нейтронов УДПН-07 канала СКП состоит из блока детектирования БДПН-06 (на основе широкодиапазонной нейтронной камеры деления КНК-15 [1,3] в импульсном режиме) и блока преобразования БПХ-07, включающего усилитель импульсов. Проектная чувствительность УДПН-07  $(0,5 \pm 0,1) \text{ см}^2$ . Устройство детектирования плотности потока нейтронов УДПН-06-02 канала ДИ-СКП включает в себя БДПН-03 (борный счетчик) и блок преобразования БПХ-05-02 (усилитель импульсов). Проектная чувствительность УДПН-06-02  $(7,7 \pm 0,8) \text{ см}^2$ .

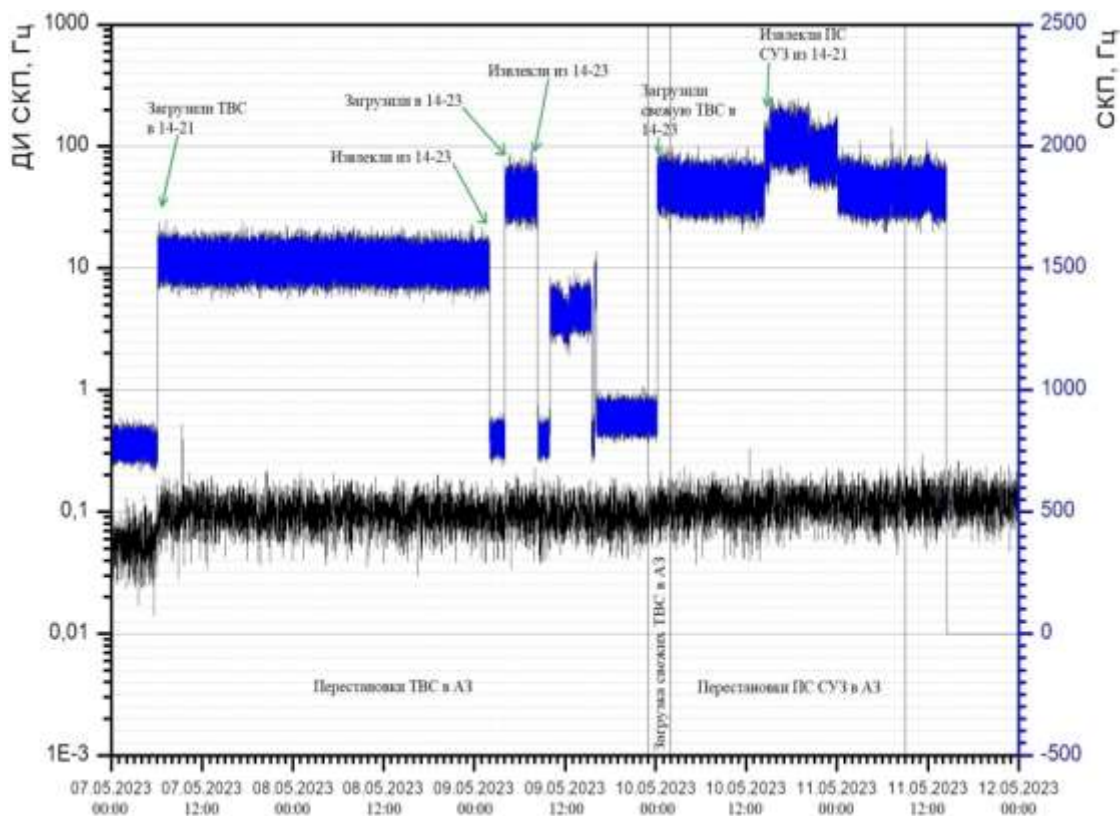


Рисунок 1 – Графики частоты импульсов внутриреакторной СКП и ДИ-СКП по каналу 1 комплекта 1 (ИК-1', ИК-2) в процессе перегрузки топлива на энергоблоке №2 НВАЭС-2

Схема активной зоны, расположения измерительных каналов ИК и распределения по комплектам и поддиапазнам АКНП энергоблока № 2 НВАЭС-2 представлены на рисунке 2 [2].

-  - 1,5,9,13 – каналы ДП, ДР АКНП-1
-  - 2,6,12 - каналы ДИ АКНП-1
-  - 3,7,11,15 - каналы ДП, ДР АКНП-2
-  - 4,10,14 - каналы ДИ АКНП-2
-  - 8,16 - каналы НФИ
-  - 1',2',3',4',5',6' - каналы СКП
-  - № группы ОР СУЗ

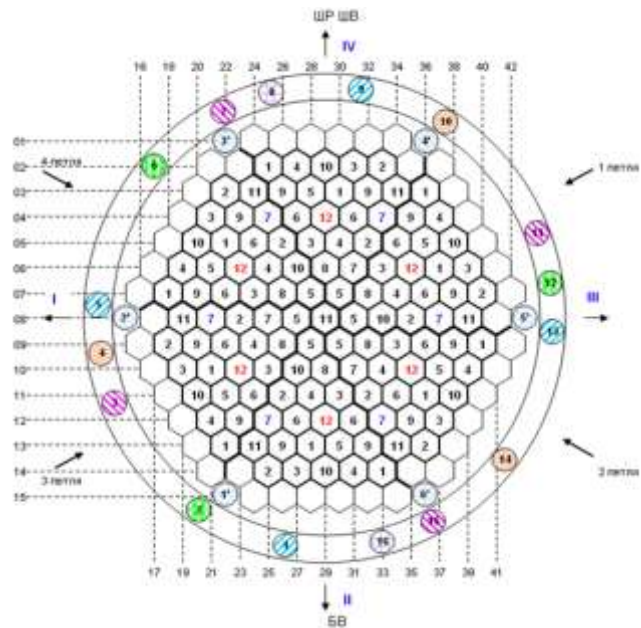


Рисунок 2 – Схема АЗ, расположение измерительных каналов

Для повышения чувствительности ДИ-СКП в период перегрузки после окончания 5 топливной кампании 10.04.2024 были снижены пороги дискриминации (таблица 1).

Таблица 1 – Изменение порогов дискриминации для канала (ИК-2)

Канал АКНП	Порог дискриминации до, (Ud), мВ	Порог дискриминации после, (Ud), мВ
канал №1 комплекта 1	778	300

Например, порог дискриминации для канала №1 комплекта 1 был уменьшен в 2,6 раза. На рисунках 3, 4 показаны частоты частоты импульсов по каналам внутриреакторного СКП и ДИ-СКП до и после корректировки порогов дискриминации. Частота импульсов до извлечений ТВС ~ 0,1 Гц, а после извлечений ~ 0,01 Гц (рисунок 3). Как видно из рисунка 4, после корректировки порогов, частота импульсов до установки ТВС ~ 0,1 Гц, а после установки ТВС в ячейки рядом каналами ~ 1 Гц.

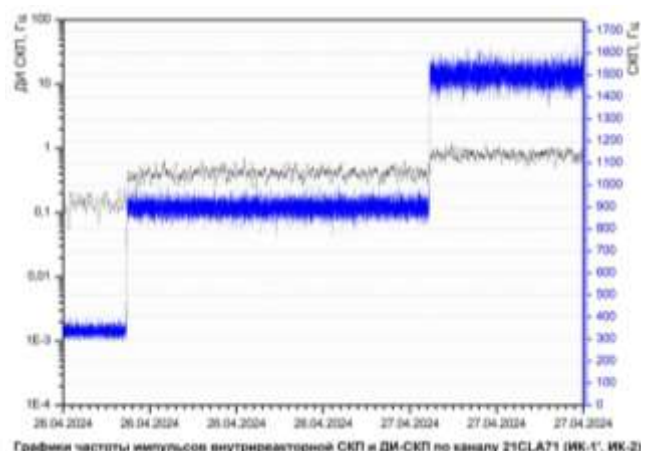
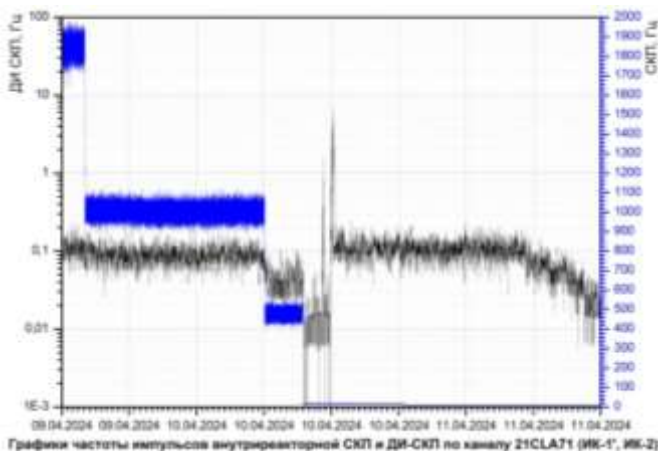


Рисунок 3 – графики частот импульсов СКП и ДИ-СКП (ИК-1', ИК-2) во время выгрузки АЗ энергоблока № 2 НВ АЭС-2 до изменения порогов дискриминации.

Рисунок 4 – графики частот импульсов СКП и ДИ-СКП (ИК-1', ИК-2) во время загрузки АЗ энергоблока № 2 НВ АЭС-2 после изменения порогов дискриминации.

Снижение порогов дискриминации приводит к повышению чувствительности ДИ-СКП, при этом влияние помех и наводок на показания не фиксировалось. Однако соотношение сигнал/шум (отношение матожидания к дисперсии) в регистрируемых показаниях упало со 153 до 93.

Полученные результаты контроля нейтронного потока показали, что частоты импульсов по каналам ДИ-СКП увеличились на порядок и стали достаточными для осуществления функции СКП. Однако для стабильной работы СКП и исключения ложных срабатываний необходимо изучение влияния работы оборудования энергоблока на показания БД, а также увеличить соотношение сигнал/шум за счет увеличения чувствительности БД. Для обеспечения надёжного контроля нейтронного потока и достигнутого уровня безопасности, в настоящий момент, осуществление функций СКП при перегрузке необходимо выполнять через каналы с внутрореакторными БД.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышев Е.К., Засадыч Ю.Б., Стабровский С.А. Газоразрядные детекторы для контроля ядерных реакторов / Москва, Энергоатомиздат, 1991. - 160с.
2. Поваров В.П., Украинцев В.Ф., Голубев Е.И., Жук М.М. Экспериментальные исследования нейтронно-физических процессов в активной зоне ВВЭР-1200. Научно-практическое пособие./ ООО РПГ "Девятое облаков". - Нововоронеж, 2021. - 264с.
3. Чукляев С.В. (ВНИИТФА) УДК 539.1.074.2 Газонаполненные ионизационные камеры с борным покрытием для измерения плотности потока нейтронов в реакторе./ журнал "Атомная энергия", т. 74, вып. 5, май 1993

УДК 621.039.58

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ВАБ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС

Демченкова М.В.<sup>1</sup>, Тарасенко Д.И.<sup>2</sup>, Чингина Д.С.<sup>3</sup>, Кашенко П.В.<sup>4</sup>  
Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»,  
Нововоронеж, Россия

<sup>1</sup>*DemchenkovaMV@nvnpp1.rosenergoatom.ru;* <sup>2</sup>*TarassenkoDI@nvnpp1.rosenergoatom.ru;*

<sup>3</sup>*ChinginaDS@nvnpp1.rosenergoatom.ru;* <sup>4</sup>*KaschenkoPV@nvnpp1.rosenergoatom.ru*

**Аннотация.** В работе рассматривается сравнительный анализ результатов вероятностного анализа безопасности для проекта В-392М при переходе с 12-и месячного топливного цикла на 18-и месячный топливный цикл и выполненные компенсирующие мероприятия, направленные на достижение целевых ориентиров в соответствии с федеральными нормами и правилами.

**Ключевые слова:** топливный цикл, вероятностный анализ безопасности, авария, риск-ориентированный подход.

## PRACTICAL APPLICATION OF PSA RESULTS DURING THE OPERATION OF NOVOVORONEZH NPP

Demchenkova M.V.<sup>1</sup>, Tarassenko D.I.<sup>2</sup>, Chingina D.S.<sup>3</sup>, Kaschenko P.V.<sup>4</sup>

Branch of Rosenergoatom Concern JSC "Novovoronezh Nuclear Power Plant", Novovoronezh, Russia

<sup>1</sup>*DemchenkovaMV@nvnpp1.rosenergoatom.ru;* <sup>2</sup>*TarassenkoDI@nvnpp1.rosenergoatom.ru;* <sup>3</sup>*ChinginaDS@*

*nvnpp1.rosenergoatom.ru;* <sup>4</sup>*KaschenkoPV@nvnpp1.rosenergoatom.ru*

**Abstract.** The paper examines a comparative analysis of the results of a probabilistic safety analysis for the B-392M project during the transition from a 12-month fuel cycle to an 18-month fuel cycle and the compensatory measures taken to achieve targets in accordance with federal standards and regulations.

**Keywords:** fuel cycle, probabilistic safety analysis, accident, risk-based approach.

В России и за рубежом существует множество методов по всесторонней оценке безопасности ядерных объектов. Одним из быстроразвивающихся и наиболее популярных

методов является проведение вероятностного анализа безопасности (ВАБ). ВАБ является важным дополнением к детерминистическому анализу безопасности (ДАБ), позволяя оценить общий уровень безопасности АС в терминах вероятности наступления нежелательных событий (таких, например, как вероятность тяжелой аварии (ВТА) и вероятность большого аварийного выброса (ВБАВ)) и выявить «уязвимые места» в безопасности (ИС, системы, элементы, действия персонала, индивидуально или в комбинации вносящие значимый вклад в ВТА и ВБАВ), не ограничивая анализ допущениями (такими, как «в системах безопасности рассматривается только один отказ одновременно»), принимаемыми, например, при детерминистическом анализе безопасности проектных аварий.

ВАБ позволяет моделировать глубокоэшелонированную защиту и при выявлении «уязвимых мест» при эксплуатации ядерной установки разработать как систему организационно-технические меры по совершенствованию и развитию безопасности. В оценке показателей надежности АЭС, ВАБ является ключевым и основным инструментом.

Полнота предоставления результатов ВАБ регламентируется действующими НД по безопасности и достигается за счет разработки полномасштабных ВАБ, в которых должны быть учтены: все источники радиоактивности (системы и оборудование, содержащие ядерное топливо и радиоактивные среды); все эксплуатационные состояния, включая работу на мощности, стояночные режимы для проведения перегрузки ядерного топлива, плановых ремонтов и технического обслуживания, режимы пуска и останова, все категории инициирующих событий (ИС), включая: внутренние ИС, вызванные отказами систем, оборудования, элементов или ошибочными действиями персонала АЭС; внутриплощадочные ИС, вызванные воздействиями пожаров, затоплений, запаривания, пароводяных струй, биения трубопроводов, летящих предметов и т.п.; внешние ИС, вызванные характерными для площадки размещения АЭС воздействиями природного (землетрясение, смерч, ураган, высокие и низкие температуры воздуха, снеговые нагрузки, обледенение, шуга, водоросли и т.п.) и техногенного (аварии на воздушном, водном, наземном транспорте, магистральных трубопроводах, промышленных предприятиях и др.) происхождения.

Проведение количественных оценок безопасности позволяет оценить приемлемость достигаемого при проектировании и эксплуатации уровня безопасности с точки зрения обеспечения приемлемо низкого уровня риска радиационного воздействия АС на население и окружающую среду. Оценка приемлемости достигаемого уровня безопасности АС в целом производится путем сравнения полученных по результатам ВАБ значений вероятностных показателей безопасности (ВПБ) с установленными в нормативных документах (НП-001-15) целевыми значениями. Уровень безопасности АС оценивается как приемлемый, если оцененные по результатам ВАБ значения ВПБ не превышают установленные целевые значения:

- непревышение суммарной ВТА для каждого блока АС на интервале в один год, равной  $10^{-5}$ ;
- непревышение суммарной ВБАВ для каждого блока АС на интервале в один год, равной  $10^{-7}$ ;
- непревышение суммарной ВТА для имеющихся на АС хранилищ ядерного топлива (не входящих в состав блоков АС) на интервале в один год, равной  $10^{-5}$ .

Если оценка ВБАВ не подтверждает выполнение данного пункта настоящих Общих положений, то в проекте АС необходимо предусмотреть дополнительные технические решения (включая специальные технические средства для управления запроектными авариями) с целью снижения вероятности возникновения аварий и ослабления их последствий.

Применение результатов ВАБ на Нововоронежской АЭС направлено на соответствие целевым ориентирам в: оценке уровня безопасности АС, оценке мер по модернизации, оценке и обосновании изменений регламентных требований (пределов и условий безопасной

эксплуатации), оптимизации программы технического обслуживания и ремонта, разработке и улучшении противоаварийных инструкций, поддержке противоаварийного планирования, обосновании продления срока эксплуатации, оценке важности для безопасности событий, в соответствии с РБ-104-16.

Для энергоблока ВВЭР-1200 проекта В-392М итоговая ВТА для различных ИС приводится в таблицах ниже.

Таблица 1 – Для энергоблока ВВЭР-1200 проекта В-392М итоговая ВТА для различных ИС

Места нахождения ЯМ	АЗ		БВ	
	мощность	останов	мощность	останов
Режимы работы блока				
Внутренние ИС	2,58 E-07	4,63 E-07	1,33 E-07	2,05 E-07
Внешние ИС без сеймики	2,63 E-09	4,35 E-10	2,63 E-09	4,35 E-10
Сейсмические воздействия	1,50 E-08			
Внутренние пожары	5,40 E-08	1,32 E-08	8,44 E-09	
Внутренние затопления	2,30 E-08	2,48 E-09	4,41 E-09	1,23 E-08

Суммарная ВТА для 12-и месячного топливного цикла составляет 1,19 E-06 1/год.

При проведении оценки значимости в ВАБ 1 уровня для внутренних ИС были определены системы с высокой значимостью для уровня безопасности энергоблока. Наиболее значимыми системами при работе на мощности и в стояночных режимах были выбраны система аварийного и планового расхолаживания, система аварийного электроснабжения (САЭ), система пассивного отвода тепла (СПОТ) и система подачи вод БВ на очистку. В результате общего анализа отчетной документации ВАБ 1 уровня были выявлены следующие проблемы — низкий уровень надежности персонала (действий оператора) и низкий уровень надежности отдельных систем, влияющие на общую ВТА. Так выполнение резервного питания арматуры в обвязке БЗОК через инверторную сеть от дополнительной АБ емкостью 24 ч позволит избежать отказа БЗОК и, тем самым, отвести тепло пассивным способом при помощи СПОТ и понизить общую частоту повреждения активной зоны при внешних воздействиях.

Например, для повышения безопасности работы энергоблока в случае полного обесточивания для подачи питательной воды в парогенераторы для расхолаживания реакторной установки был установлен дополнительный (резервный) насосный агрегат в систему вспомогательной питательной воды. Для снижения общей ВБАВ была проведена модернизация системы аварийного расхолаживания парогенераторов. Внедрение данных решений позволило существенно понизить частоту повреждения активной зоны.

Таким образом, после проведения компенсирующих мероприятий, направленных на повышение безопасности эксплуатации энергоблока ВВЭР-1200, и перевода блока на 18-и месячный т.ц. при проведении ВАБ были получены следующие результаты (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты проведения компенсирующих мероприятий, направленных на повышение безопасности эксплуатации энергоблока ВВЭР-1200, и перевода блока на 18-и месячный т.ц. при проведении ВАБ

Места нахождения ЯМ	АЗ		БВ	
	мощность	останов	мощность	останов
Режимы работы блока				
Внутренние ИС	2,25 E-07	6,62 E-06	1,16E-09	3,38E-06
Внешние ИС без сеймики	6,11E-09	5,11E-07	1,03E-09	4,25E-07
Сейсмические воздействия	6,51E-07	2,36E-07	9,14E-07	1,34E-07
Внутренние пожары	3,23E-08	3,44E-07	1,23 E-06	
Внутренние затопления	4,76E-08	9,87E-07	1,59E-06	

Суммарная ВТА для 18-месячного т.ц. составила 1,72 E-05 1/год.

При проведении оценки значимости в ВАБ 1 уровня для внутренних исходных событий были определены системы с высокой значимостью для уровня безопасности

энергоблока. Наиболее значимыми системами при работе на мощности и в стояночных режимах были выбраны система аварийного и планового расхолаживания, система нормального отвода тепла и система аварийного расхолаживания парогенераторов, управляющая система безопасности, система промежуточного контура ответственных потребителей здания и система технической воды ответственных потребителей. В настоящее время осуществляются мероприятия по модернизации части из приводимых выше систем, направленные на снижение суммарной ВТА при эксплуатации энергоблока в 18-и месячном т.ц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самойлов О.Б., Бахметьев А.М., Чирков В.А. Вероятностные методы в исследованиях безопасности атомных станций. — Горький: ГПИ им. А.А. Жданова, 1985. — 74 с.
2. Ковалевич О.М. Риск в техногенной сфере. — М: Издательский дом МЭИ, 2006. — 152 с.
3. Вероятностный анализ безопасности атомных станций / В.В. Бегун, О.В. Горбунов, И.Н. Каденко и др. — Киев: КПИ, 2000. — 564 с.
4. «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» НП-001-15, — Москва 2016 — 55 с.
5. «Основные требования к вероятностному анализу безопасности блока атомной станции» НП-095-15.
6. РБ-100-15 «Рекомендации по порядку выполнения анализа надежности систем и элементов атомных станций, важных для безопасности, и их функций», Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, Москва, 2015 г.

УДК: 621.646

## КОНЦЕПЦИЯ ПЕРЕНОСНОГО ПРИБОРА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭПА АЭС

**Калашников М.В., Усов А.А., Петерс Н.А., Клименко С.Р.**

*НИИ АЭМ, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия  
nii\_energomash@mail.ru*

**Аннотация.** В работе рассматривается необходимость разработки переносного прибора нового поколения для диагностики электроприводной арматуры (ЭПА) на атомных электростанциях (АЭС). Описываются основные проблемы, связанные с использованием существующих переносных программно-технических средств оперативной функциональной диагностики, такие как ненадёжность, недостаточная защищённость от внешних воздействий и устаревшее программное обеспечение. Авторы предлагают учесть накопленный опыт диагностических работ с измерительными комплексами ИК ЭПО и приборами-аналогами, и устранить их недостатки в новом переносном приборе ИК ЭПА-М.

**Ключевые слова:** техническая диагностика, электроприводная арматура, программно-технический комплекс.

## THE CONCEPT OF A PORTABLE DEVICE OF A NEW GENERATION FOR THE DIAGNOSIS OF NUCLEAR POWER PLANT EPA

**Kalashnikov M.V., Usov A.V., Peters N.A., Klimenko S.R.**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"  
Volgodonsk, Russia  
nii\_energomash@mail.ru*

**Abstract.** The paper considers the need to develop a portable device of a new generation for the diagnosis of electric drive valves (EPA) at nuclear power plants (NPP). The main problems associated with the use of existing portable software and hardware for operational functional diagnostics, such as unreliability, insufficient protection from external influences and outdated software, are described. The authors propose to take into account the accumulated experience of diagnostic work with IR IPO measuring complexes and analog devices, and eliminate their shortcomings in the new portable IR EPA-M device.

**Keywords:** technical diagnostics, electric drive fittings, software and hardware complex.

В период планово-предупредительных ремонтов энергоблоков АЭС перед отделом технической диагностики (ОТД) стоит задача определения технического состояния значительного количества (более тысячи единиц на энергоблок) электроприводной арматуры (ЭПА) [1][4]. Для выполнения в таких объёмах диагностики ЭПА перед персоналом ОТД остро встают вопросы надёжности переносных программно-технических средств оперативной функциональной диагностики (далее – переносных приборов), их работоспособности и выживаемости в условиях эксплуатации АЭС, а также эффективности диагностирования с целью определения технического состояния объекта. В случае выхода таких приборов из строя – на первый план выходит возможность их как можно более оперативного ремонта, или замены [3].

Предпосылками разработки переносного прибора нового поколения является накопленный опыт диагностических работ как с измерительными комплексами ИК ЭПО (измерительный комплекс электроприводного оборудования) разработки НИЯУ МИФИ, так и с приборами-аналогами, такими, как Крона-517М и ПК-СОД. В процессе эксплуатации приборов-аналогов выявлены следующие недостатки в их работе:

- конструктивное исполнение корпуса прибора с открывающейся крышкой при проведении оперативной диагностики;
- большие размеры и вес корпуса прибора;
- отсутствие защищённости от пыли и влаги;
- недостаточное время автономной работы от батареи;
- низкая помехоустойчивость от наводок высоковольтного оборудования;
- устаревшее программное обеспечение.

Также при разработке переносного прибора нового поколения учитывались возможности по дальнейшему усовершенствованию ранее разработанного измерительного комплекса ИК ЭПО, а именно:

- изготовление более прочного литого пластикового корпуса прибора;
- улучшение защитных свойства прибора от электромагнитных излучений в условиях АЭС;
- применение современных электронных компонентов, устройств и электрических схем;
- разработка нового программного обеспечения (ПО) с учётом накопленного опыта.

В рамках развития собственного производства линейки ИК ЭПО специалисты НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ занимаются разработкой переносного прибора диагностики нового поколения ИК ЭПО-М (измерительный комплекс электроприводного оборудования модернизированный), который будет учитывать результаты эксплуатации ИК ЭПО на НВАЭС [2][5], а также будет лишён недостатков приборов-аналогов на других АЭС.

Главной концепцией переносного прибора нового поколения является корпус с защитой от пыли и влаги IP65, включая разъёмы токовых сигналов и сигналов напряжения, разъёма питания для зарядки аккумуляторной батареи, кнопки питания, индикатора заряда и адаптера USB-разъёма для связи с планшетным компьютером. Для ремонта или замены электронных компонентов прибора монолитный корпус из двух частей можно будет оперативно разобрать и собрать без потерь для влагозащищённости прибора в целом.

Электрическая схема и печатные платы прибора нового поколения подверглись модернизации: рассчитаны материалы печатных плат и подобраны электронные компоненты с высокой добротностью, схема антиалайзингового фильтра обладает хорошими характеристиками импеданса, изменён порядок фильтрации: обеспечена максимально гладкая амплитудно-частотная характеристика на частотах полосы пропускания и снижающаяся почти до нуля на частотах подавления. Электронные компоненты и устройства прибора подобраны с учётом условий применения на АЭС, исходя из сроков эксплуатации, воздействия температур и влажности, вибрации и электромагнитных излучений. Помимо этого, электронные блоки внутри корпуса прибора экранированы для защиты от

электромагнитных помех, а сам корпус дополнительно обеспечивает защиту электронным компонентам от воздействий неблагоприятных факторов и условий на АЭС.

Для выполнения измерений и регистрации электрических сигналов в цепях питания электродвигателя, а именно – трёх сигналов силы переменного тока частотой 50 Гц, трёх сигналов напряжения переменного тока 230/400 В частотой 50 Гц и двух сигналов напряжения переменного и постоянного тока на контактах концевых или моментных выключателей открытия (КВО, МВО) и закрытия (КВЗ, МВЗ) [4] переносной прибор нового поколения обеспечивается:

- тремя токовыми клещами MN13;
- семью зажимами измерительными для напряжения SKP41 типа «пинцет».

Ключевую роль в работе переносного прибора нового поколения играет разработанное с учётом накопленного опыта в диагностике оборудования АЭС программное обеспечение. Оно позволяет: контролировать преобразования входных сигналов от датчиков, а также их передачей по каналам связи; регистрацией в цифровую форму с переносом в базу данных долгосрочного хранения; обеспечивать протоколирование результатов; настройку каналов и параметров измерений, а также выполнять другие функции для обеспечения правильной работы переносного прибора. Особенностью прибора нового поколения будет являться хранение результатов диагностики в памяти переносного прибора с периодической передачей в стационарную базу данных долгосрочного хранения. ПО должно обеспечить удобный и наглядный интерфейс для работы с прибором, а также функционал, необходимый для мониторинга и отслеживания данных. В пакет ПО входят интегрированные интерфейсы работы с внешними системами ТоРЭКС, КСДА.

Таким образом, разработка переносных приборов нового поколения ИК ЭПО-М позволит обеспечить потребности ОТД АЭС в проведении диагностических работ, а именно: устранить дефицит приборов, повысить надёжность, эффективность и работоспособность при выполнении работ, обеспечить достаточную защиту от воздействий на АЭС. К концу 2024 года ВИТИ НИЯУ МИФИ поставит на РОАЭС первый экземпляр промышленного исполнения ИК ЭПО-М, что позволит в процессе эксплуатации получить отзывы и рекомендации от персонала ОТД для дальнейшего совершенствования и организации в дальнейшем серийного производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО 1.1.1.02.002.1857-2021 «Техническое диагностирование электроприводной трубопроводной промышленной арматуры на энергоблоках атомных станций. – ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2021. – 60 с.
2. Слепов, М.Т. Диагностика ЭПА – опыт работы Нововоронежской АЭС / М.Т. Слепов, Н.П. Сысоев // Глобальная ядерная безопасность. – 2014 – № 2. – С. 79-85.
3. МТ 1.2.3.02.999.0085-2010 Методика «Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры». – ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2010. – 140 с.
4. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения. – С. 2-5.
5. Слепов, М.Т. и др. Технологии анализа диагностических параметров электроприводной арматуры на действующих энергоблоках Нововоронежской АЭС / М.Т. Слепов, Е.А. Абидова, В.Н. Никифоров, О.Ю. Пугачева // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – № 4. – С. 16-22.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КГО НА РАБОТАЮЩЕМ РЕАКТОРЕ ЭНЕРГБЛОКА № 5 НВ АЭС

**Калмыков С.Н.<sup>1</sup>, Полозков С.Д.<sup>2</sup>, Курина А.И.<sup>3</sup>, Голубев Е.И.<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> *Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»,  
Нововоронеж, Россия*

<sup>1</sup>*KalmykovSN@nvnpp1.rosenergoatom.ru*

**Аннотация.** В работе рассматриваются особенности выполнения контроля герметичности оболочек твэл на энергоблоке № 5 Нововоронежской АЭС в 40-ю топливную загрузку при работе реактора на мощности. Представлены результаты спектрометрического контроля теплоносителя первого контура. Проведен анализ поведения удельных активностей реперных продуктов деления, выхода продуктов деления в теплоноситель первого контура при различных режимах работы реакторной установки. Проведена оценка выгорания негерметичного твэла. Предоставлено заключение по возможному состоянию активной зоны реакторной установки.

**Ключевые слова:** инертные радиоактивные газы, радионуклиды, выделение инертных радиоактивных газов, разгерметизация твэла, контроль герметичности оболочек твэл, физические барьеры, ВВЭР, АЭС, ядерное топливо, «spike-эффект».

## PECULIARITIES OF FFD AT THE OPERATING REACTOR OF POWER UNIT № 5 OF NVNPP

**Kalmykov S.N.<sup>1</sup>, Polozkov S. D.<sup>2</sup>, Kurina A.I.<sup>3</sup>, Golubev E. I.<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> *Novovoronezh Nuclear Power Plant – a branch of Rosenergoatom Concern JSC, Novovoronezh, Voronezh region,  
Russia*

<sup>1</sup>*KalmykovSN@nvnpp1.rosenergoatom.ru*

**Abstract.** Peculiarities of fuel cladding tightness control at power unit № 5 of Novovoronezh NPP in 40 fuel load during reactor power operation are considered in the work. The results of spectrometric monitoring of the primary coolant are presented. The behavior of specific activities of reference fission products, fission products release into the primary coolant under various operating modes of the reactor plant was analyzed. Burnup of leaking fuel element was assessed. A conclusion on the possible state of the reactor core was provided.

**Keywords:** inert radioactive gases, radionuclides, emission of inert radioactive gases, fuel element depressurization, fuel element cladding tightness control, physical barriers, WWER, NPP, nuclear fuel, spike effect.

С повышением мощности АЭС и увеличением их количества все большее значение приобретает контроль за радиационной обстановкой на АЭС и окружающей ее среды. Состояние радиационной обстановки напрямую зависит от разгерметизаций твэлов ТВС в активной зоне реактора во время работы на энергетическом уровне. Контроль герметичности оболочек твэлов ТВС на работающем реакторе является значимым этапом при проведении контроля ядерной безопасности с целью недопущения отклонений от норм и правил в области использования атомной энергии. На Нововоронежской АЭС контроль герметичности оболочек твэлов (1 и 2 физического барьера) на работающем реакторе проводится на основании данных, полученных при проведении периодического гамма-спектрометрического контроля теплоносителя первого контура.

Опыт проведения КГО на работающем реакторе в период эксплуатации энергоблока № 5 Нововоронежской АЭС по результатам гамма-спектрометрического контроля теплоносителя первого контура в 40-ю топливную загрузку представляет собой большой практический интерес.

После завершения ППР-2023 энергоблок № 5 был выведен на тепловую мощность 50 % от номинальной. По результатам проведения спектрометрических измерений активность первого контура находилась на приемлемом уровне, соответствующем герметичной активной зоне.

На 4-е эффективные сутки, 16.09.2023, был зафиксирован рост удельных активностей  $^{131+135}\text{I}$  и ИРГ в теплоносителе 1-го контура. При этом зафиксирована удельная активность суммы  $^{131+135}\text{I}$  на уровне  $2,5 \cdot 10^7$  Бк/кг (рисунок 1), что является максимумом за всю историю эксплуатации энергоблока.

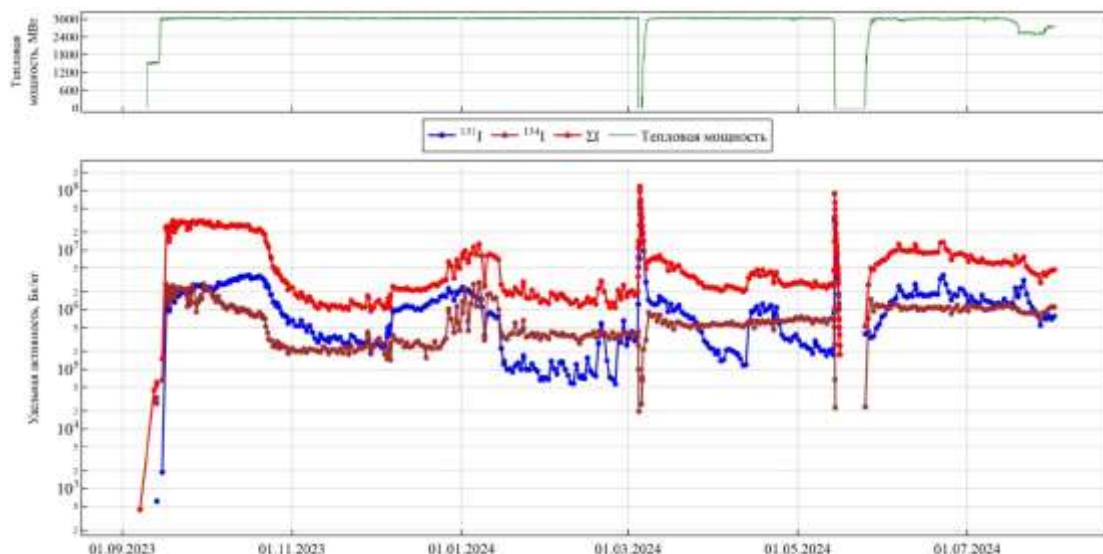


Рисунок 1 – График изменения удельных активностей радионуклидов йода в теплоносителе 1-го контура

В дальнейшем продолжался рост удельной активности теплоносителя первого контура до приведенной суммарной активности  $^{131+135}\text{I}$ , составляющей  $2,77 \cdot 10^7$  Бк/кг (83,939 % от ЭП) в момент разгерметизации. 19.09.2023 удельная активность достигла максимума в  $2,99 \cdot 10^7$  Бк/кг (90,532 % от ЭП). Отношение нормированных активностей  $A_{\text{H}}^{131}/A_{\text{H}}^{134}$  при этом составило 49,96 (рисунок 2). Приведенная активность  $^{131}\text{I}$ , связанная с выходом только из негерметичных твэлов, составила  $1,52 \cdot 10^6$  Бк/кг, что однозначно говорит о прямом выходе продуктов деления в теплоноситель первого контура.

Высокие значения удельных активностей радионуклидов йода регистрировались до 16.10.2023, после чего зафиксировано снижение удельных активностей. При дальнейшей работе энергоблока на мощности наблюдается периодические возрастания и снижения удельных активностей различной динамики. Отношения нормированных значений в 40 ТЗ достигала значения  $A_{\text{H}}^{131}/A_{\text{H}}^{134} = 485$ .

Данную топливную загрузку можно разбить на четыре условных уровня по удельным активностям продуктов деления в теплоносителе первого контура. Такие изменения активности могут быть связаны как с развитием дефекта, так и с появлением новых негерметичных твэлов с меньшей интенсивностью выхода.

Аналогичным образом прослеживается момент разгерметизации по ИРГ – 16.09.2023 зафиксирован рост активности по всем газовым продуктам деления, при этом, оказались превышены контрольные уровни, полученные на основе опыта эксплуатации для соотношений газов  $^{133}\text{Xe}/^{135}\text{Xe} = 1,5$  и  $^{85\text{m}}\text{Kr}/^{87}\text{Kr} = 0,8$ , характеризующие наличие негерметичного твэла в активной зоне. Данные соотношения в дальнейшем поддерживаются на высоком уровне на протяжении всей топливной загрузки. При этом, активности газовых продуктов деления стабильны на протяжении всей топливной загрузки. Можно сделать вывод, что размеры дефекта с начала кампании допускают свободный выход газов из подбололочного пространства, и, тогда, различные уровни активностей радионуклидов йода связаны именно с развитием дефекта.

На основе данных об удельных активностях  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  сделан вывод о возможной глубине выгорания топлива в негерметичном твэле (рисунок 3). Так, можно наблюдать чрезвычайно высокую неопределенность результатов до первой разгрузки энергоблока, затем стабилизацию результатов на  $9 \pm 2,5$  МВт·сут/кг(U), что соответствует кассете первого года эксплуатации, при дефекте в нижней или верхней части. Уменьшение неопределенности

измерений удельной активности радионуклидов цезия может быть обусловлено развитием дефекта, в том числе вторичном, при котором твердые продукты деления начинают свободно выходить в теплоноситель первого контура.

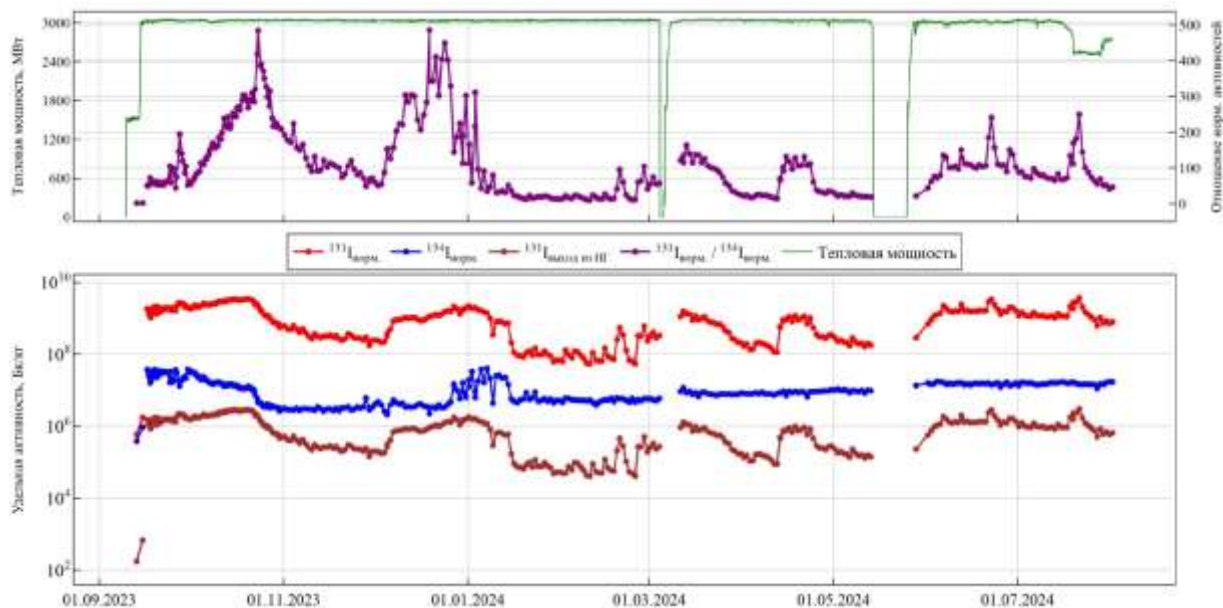


Рисунок 2 – Отношение нормированных удельных активностей  $^{131}\text{I}/^{134}\text{I}$  в теплоносителе 1-го контура

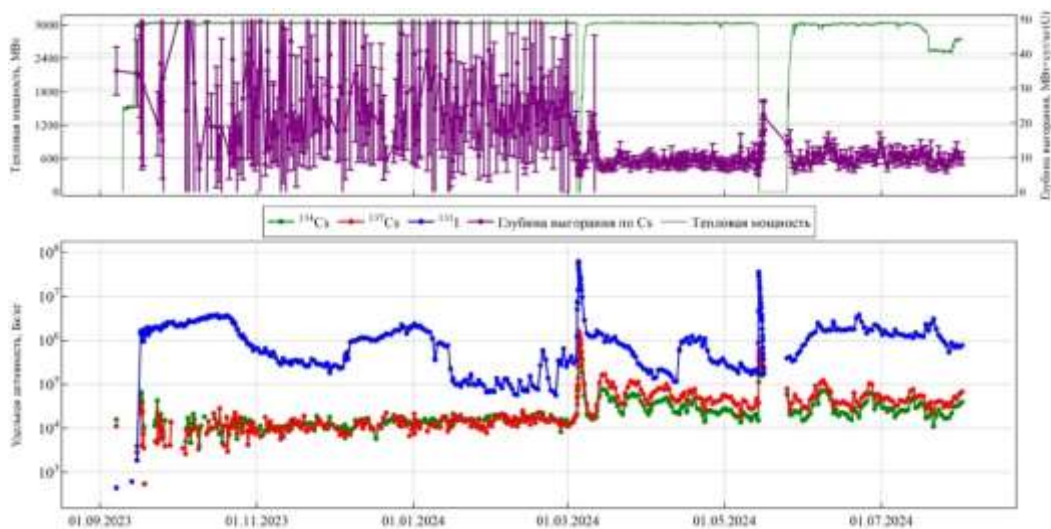


Рисунок 3 – График изменения оцененной глубины выгорания

При всех описанных разгрузках регистрировался «spike-эффект», обусловленные выходом продуктов деления из подбололочного пространства. Увеличение расчетной глубины выгорания может быть связано с разгерметизацией второго твэла, большего периода эксплуатации. Активность теплоносителя первого контура, связанная с истечением продуктов деления из второго негерметичного твэла сильно меньше вклада активности от первого негерметичного твэла. Вследствие этого, повышение общей активности теплоносителя при разгерметизации второго твэла мало. Наблюдается много меньшее истечение радионуклидов цезия для второго негерметичного твэла при работе на мощности, из-за чего отсутствует влияние на общее отношение активности радионуклидов цезия. Изотопы цезия активно выходят из твэла только во время «spike-эффектов», когда наблюдалось изменение расчетной глубины выгорания, представляющее собой среднее для двух (или более) негерметичных твэлов.

Подтверждение или опровержение представленных выше выводов будет сделано по результатам спектрометрического контроля во время останова энергоблока на ППР и по результатам КГО на остановленном ректоре.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сборки тепловыделяющие ядерных реакторов типа ВВЭР-1000. Типовая методика контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов. РД ЭО 1.1.2.10.0521-2009. М.: Концерн «Росэнергоатом», 2009.
2. Методика измерения удельной активности инертных радиоактивных газов в теплоносителе первого контура и воде пеналов СОДС на Нововоронежской АЭС. МВК 7.2.13.(2)-22. Нововоронежская АЭС, 2022.
3. Калмыков С.Н., Полозков С.Д., Курина А.И., Голубев Е.И. Применение метода вакуумного увода инертных радиоактивных газов для контроля герметичности оболочек ТВЭлов ТВС ядерных реакторов типа ВВЭР при работе на мощности. 2023;13(3):62–71.

УДК 621.039

## ИНТЕГРАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ АРМАТУРЫ В СУЩЕСТВУЮЩУЮ ДВУХУРОВНЕВУЮ АСУТП НА БАЗЕ ТПТС

Крисанов А.А.<sup>1</sup>, Ребриков Д.И.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»,  
Нововоронеж, Россия

<sup>1</sup>Jack\_inform@mail.ru; <sup>2</sup>RebrikovD@yandex.ru

**Аннотация.** Выполнен анализ программно-технического комплекса действующей автоматизированной системы управления на предмет внедрения дополнительного диагностического оборудования. В результате показана возможность интеграции дополнительной подсистемы для своевременного и автоматического вывода из работы и дефектовки электроприводной арматуры для обеспечения безопасности и надежности технологического процесса АЭС.

**Ключевые слова:** диагностика состояния, электроприводная арматура, действующая АСУТП.

## INTEGRATION OF A SUBSYSTEM FOR DIAGNOSING THE CONDITION OF ELECTRIC DRIVE VALVES INTO AN EXISTING TWO-LEVEL ACSTP BASED ON SSH

Krisanov A.A.<sup>1</sup>, Rebrikov D.I.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Novovoronezh Nuclear Power Plant – a branch of Rosenergoatom Concern JSC, Novovoronezh,  
Voronezh region, Russia

<sup>1</sup>Jack\_inform@mail.ru; <sup>2</sup>RebrikovD@yandex.ru

**Abstract.** An analysis of the software and hardware complex of the current automated control system was carried out with a view to introducing additional diagnostic equipment. As a result, the possibility of integrating an additional subsystem for timely and automatic decommissioning and troubleshooting of electric drive valves to ensure the safety and reliability of the nuclear power plant technological process was shown.

**Keywords:** condition diagnostics, electric drive valves, operating ACSTP.

В работе [1] авторами обоснована актуальность задачи по разработке и внедрению дополнительных алгоритмов контроля и диагностики состояния электроприводной арматуры (ЭПА), позволяющих в режиме реального времени определять неисправное состояние ЭПА и выдавать оператору предупреждающие сообщения. Показано, что для решения поставленной задачи одним из вариантов реализации может быть контроль силы тока и напряжения при вращении электродвигателей приводов арматур.

Далее рассмотрим возможность технической и программной интеграции предлагаемых алгоритмов в существующую АСУТП на примере проекта АЭС-2006

энергблока № 1 НВАЭС-2 [2].

Силовая часть управления ЭПА реализована с использованием оборудования КРУЗА-П. Датчики для определения токовых характеристик необходимо устанавливать в разрыв между электродвигателем и силовым элементом ячейки КРУЗА-П, в качестве которого может использоваться магнитный пускатель или пускатель бесконтактный реверсивный [3]. Оптимальным местом для установки токовых датчиков с точки зрения минимизации изменения схемных решений, простоты монтажа, оптимизации прокладки кабельных линий связи является отсек присоединений кабелей шкафа КРУЗА-П. Датчики питающего напряжения ЭПА могут быть установлены аналогично.

На рисунке 1 показана предлагаемая структурная схема управления и диагностики состояния в режиме реального времени ЭПА с помощью модуля ТПТС 1717 [4] и блока КРУЗА-П 1/3 АТ.Т401-21Р1W [3] с датчиками тока и напряжения.

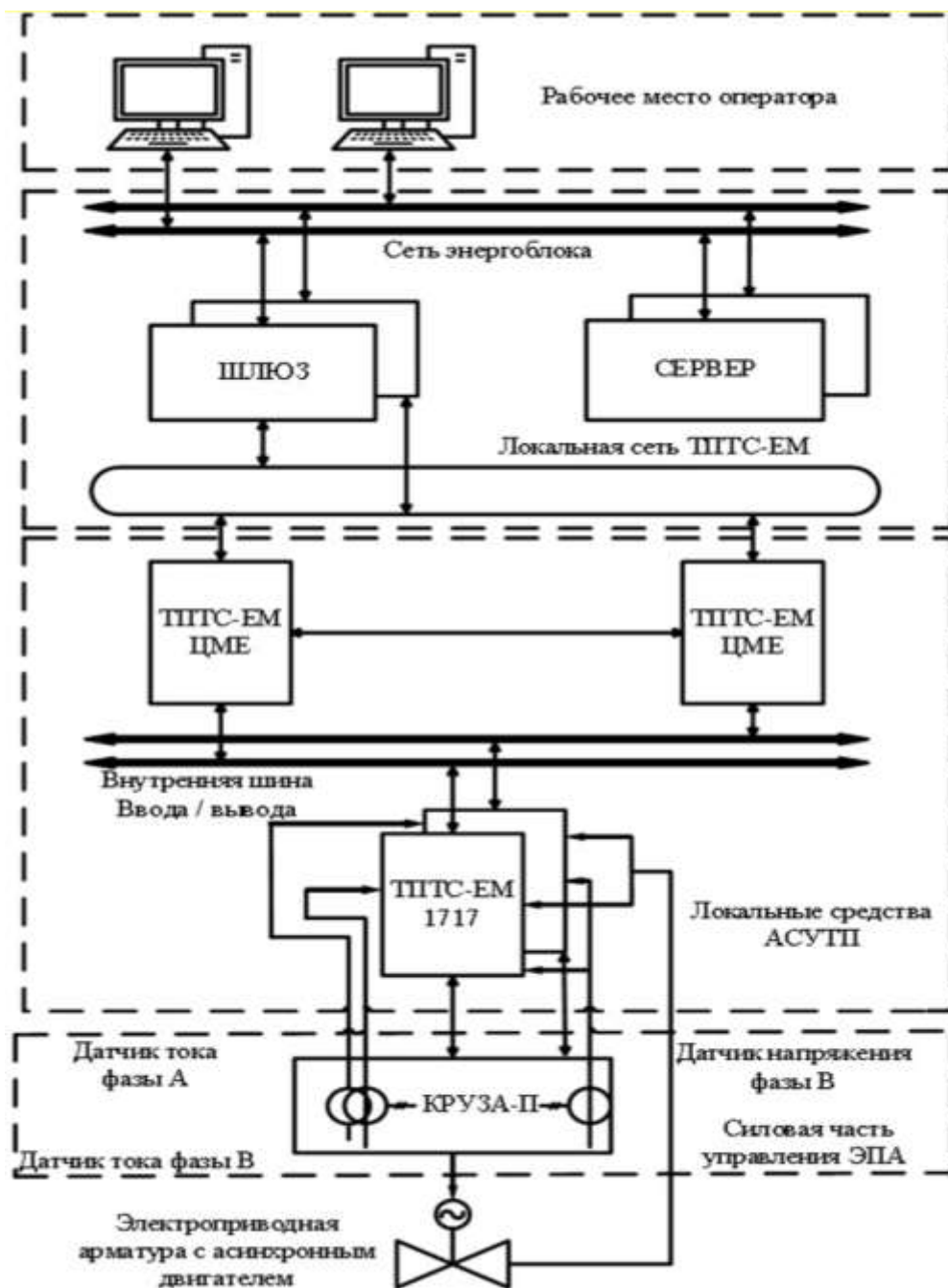


Рисунок 1 – Структурная схема управления и диагностики ЭПА на базе средств ТПТС

Управление ЭПА реализовано следующим образом. В автоматизированном режиме команда «открыть» либо «закрыть» с рабочего места оператора поступает к средствам ТПТС по сети энергоблока. Приёмниками сигналов являются 2 модуля ЦМ-Е, которые принимают информацию и осуществляют управление шкафом в целом. От них по внутренней шине команды поступают в модуль управления 1717. В автоматическом режиме команды на открытие и закрытие формируются непосредственно в модуле 1717 по технологическому алгоритму. После обработки, а также с учетом сигналов обратных связей (концевые выключатели, моментные муфты, алгоритмы технологических защит и блокировок) сигналы управления поступают в силовую часть электроприводной арматуры — ячейки КРУЗА-П.

В ячейке КРУЗА-П, которая используется для силового управления электроприводной арматуры, установлены датчики тока на фазах А и В, а также датчики напряжения на вводных шинах электрической сборки. При этом, токовые сигналы с датчиков тока и напряжения в виде аналоговых сигналов (4-20 мА) поступают на резервные каналы в модуль аналогового ввода ТПТС-1731 [5], у которого имеются возможности по приему и обработке до 32-х аналоговых сигналов и их передаче по внутренней шине ввода/вывода на модуль индивидуального управления ТПТС-1717.

В модуле ТПТС-1717 предусмотрены функции приема и передачи двоичных сигналов, которые предлагается задействовать в подпрограмме диагностики состояния ЭПА.

По результатам онлайн диагностики, в зависимости от состояния ЭПА, возможно, формирование диагностического сообщения технолог-оператору или, как вариант, сигнала прерывания выполнения текущей команды.

Диагностическое сообщение формируемое модулем 1717 будет поступать по внутренней шине ввода/вывода через модули ЦМ-Е и сеть энергоблока на автоматизированное рабочее место, где возможно его отображение в виде сигнализации в соответствующем окне или формирование состояния ЭПА в расширенном окне управления системы верхнего блочного уровня.

В зависимости от принадлежности ЭПА к системе нормальной эксплуатации или системе безопасности, или другим причинам, сформированному сигналу прерывания необходимо присвоить приоритет, который будет учитываться при нештатной работе ЭПА.

В результате реализации предлагаемых решений, возможно получить подсистему диагностирования электроприводной арматуры, которая не требует изменения проводной схемы управления механизмами, использующую исходные мощности программно-технического комплекса ТПТС, выполняющую функции диагностики в онлайн режиме, и в то же время, удовлетворяет жестким требованиям безопасности АЭС и имеет возможность модернизации и изменения схемных решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диагностика состояния электроприводной арматуры на энергоблоке ВВЭР-1200 существующими средствами АСУТП / А.А. Крисанов, Д.И. Ребриков, 2024
2. АСУ ТП АЭС-2006/ Часть 1 / В.П. Поваров, Л.П. Павлов, Д.И. Ребриков [и др.]. - Воронеж : Диамант, 2022. - 401 с.
3. Устройства комплектные низковольтные распределения и управления, шкафного исполнения КРУЗА-П. Схемы электрические принципиальные. Часть 3. РД-0721-66-02-07.
4. Модуль индивидуального управления ТПТС51.1717 (ТПТС51.2-1717, ТПТС52-2.1717) с модулем расширения двоичных сигналов ТПТС51.1719 (ТПТС51-2.1719). Техническое описание. 2010 г.
5. Модуль аналогового ввода ТПТС51.1731 (ТПТС51.2-1731, ТПТС52-2.1731) ) с модулем расширения аналогового ввода ТПТС51.1703 (ТПТС52.1703-XX, ТПТС51-2.1703). Техническое описание. 2010 г.

## КОРРЕКТИРОВКА ПАРАМЕТРОВ ФАЙЛА НАСТРОЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ BIPPAR ЭНЕРГБЛОКА № 5 НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ РАСХОЖДЕНИЯ В ЗНАЧЕНИЯХ РАСЧЕТНОЙ И ИЗМЕРЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ БОРНОЙ КИСЛОТЫ В ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ ПЕРВОГО КОНТУРА

Крылов А.Н.<sup>1</sup>, Колотушкин Д.С.<sup>2</sup>

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»,  
Нововоронеж, Россия

<sup>1</sup>KrylovAN@nvnpp1.rosenergoatom.ru; <sup>2</sup>KolotushkinDS@nvnpp1.rosenergoatom.ru

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема расхождения в значениях расчетной и измеренной концентраций борной кислоты в теплоносителе первого контура энергоблока № 5 Нововоронежской АЭС. Были проведены расчеты имитации выгорания в 35-39 кампаниях и критической концентрации на МКУ мощности в начале 36-40 кампаний с измененным значением параметра ак файла bippar. Выбрано значение параметра ак, при котором достигается лучшая сходимость значений расчетной и измеренной концентраций борной кислоты.

**Ключевые слова:** концентрация борной кислоты, параметр ак, файл bippar, сходимость значений расчетной и измеренной концентраций.

## ADJUSTMENT OF THE PARAMETERS OF THE CONFIGURATION FILE OF THE NOVovorONEZH NPP UNIT 5 TO ELIMINATE DISCREPANCIES IN THE VALUES OF THE CALCULATED AND MEASURED CONCENTRATIONS OF BORIC ACID IN THE PRIMARY COOLANT

Krylov A.N.<sup>1</sup>, Kolotushkin D.S.<sup>2</sup>

Rosenergoatom Novovoronezh NPP, Novovoronezh, Russia

<sup>1</sup>KrylovAN@nvnpp1.rosenergoatom.ru; <sup>2</sup>KolotushkinDS@nvnpp1.rosenergoatom.ru

**Abstract.** The paper considers the problem of discrepancies in the values of the calculated and measured concentrations of boric acid in the primary coolant of the Novovoronezh NPP unit 5. Calculations of simulated burnout in the 35-39 campaigns and critical concentration on the MCL of power at the beginning of 36-40 campaigns with a modified value of parameter ak of file bippar have been carried out. The parameter ak value is selected at which is provided the best convergence of the calculated and measured concentrations of boric acid.

**Keywords:** concentration of boric acid, parameter ak, file bippar, convergence of the calculated and measured concentrations.

На реакторных установках ВВЭР России достаточно длительное время поднимается вопрос расхождения значений концентраций борной кислоты в теплоносителе первого контура, рассчитанных в ходе имитации выгорания на программе БИПР-7А [1] и измеренных химическим анализом и автоматическим боромером. В этом вопросе не стал исключением и энергоблок №5 Нововоронежской АЭС. Расхождение значений концентраций борной кислоты приводит к снижению качества прогнозирования длительности кампании и к увеличению погрешности определения нейтронно-физических характеристики, рассчитываемых в обоснование безопасности топливной загрузки. Одним из критериев совпадения измеренных и расчетных значений нейтронно-физических характеристик является величина расхождения измеренной концентрации борной кислоты с расчетной в начале работы топливной загрузки в состоянии на МКУ мощности равный  $\pm 0,45\text{г/кг H}_3\text{BO}_3$  [2]. Также в паспорте на программное средство БИПР-7А установлено допустимое значение погрешности рассчитанного и фактического значений длительность работы топливной загрузки в  $\pm 3\%$ .

Возможным решением по улучшению сходимости является корректировка файла настроечных параметров `birrag` программы БИПР-7А. В данной статье рассматривается вариация параметра `ak`. Этот параметр имеет значение среднего по топливным загрузкам активной зоны коэффициента пропорциональности, определяющего скорость изменения глубины выгорания топлива при определенной энерговыработке [3]. Определяющим фактором, влияющим на скорость изменения глубины выгорания топлива, является правильность измерения тепловой мощности реакторной установки. Не корректность определения тепловой мощности системой внутрореакторного контроля исключается проведением подтверждающих балансовых измерений, однако методологическая погрешность измерения мощности, заложенная в проекте, составляет  $<2\%N_{ном}$ .

На энергоблоке №5 НВАЭС в последние годы наблюдалось значительное расхождение в величинах концентрации борной кислоты, как в процессе эксплуатации, так и в начале кампании на МКУ мощности. Авторами была выполнена имитация выгорания в кампаниях 35-39 энергоблока №5 НВАЭС со значениями параметра `ak`, равными 0.97, 0.98, 0.99 (стандартное значение `ak` равно 1). Была вычислена разница между измеренным (по химанализу) и расчетным значениями для выше перечисленных значений параметра `ak` для каждой кампании на ее конец. Абсолютные значения вычисленных отклонений приведены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Абсолютное значение расхождения измеренного и расчетного значений концентраций борной кислоты на конец 35-39 кампаний

Из рисунка 1 видно, что наименьшее значение расхождения измеренного и расчетного значений концентраций борной кислоты наблюдается для значений параметра `ak`, равных 0.98 и 0.99 за исключением 38 кампании. Это объясняется тем, что в 38 кампанию для значений параметра `ak`, равных 0.99 и 1 расчетное значение концентрации борной кислоты достигло нулевого значения на несколько эффективных суток раньше, чем по химанализу. В 38 топливную загрузку было достигнуто начало работы на мощностном коэффициенте реактивности (рисунок 2) и наилучшая сходимость по длительности достигалась с `ak=0.98`. Для значений параметра `ak`, равных 0.99 и 0.98, были рассчитаны концентрации борной кислоты в начале 36-40 кампаний. Абсолютные значения расхождений измеренной и расчетной концентраций борной кислоты в начале 36-40 кампаний на МКУ мощности для `ak=0.98, 0.99, 1` представлены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что наименьшее значение расхождения измеренного и расчетного значений концентраций борной кислоты наблюдается для значения параметра `ak`, равного 0.98, при этом выполняется критерий неперевышения расхождением значения 0.45 г/кг [2] в

каждую кампанию. На основе полученных результатов расчетов концентраций борной кислоты во время эксплуатации и в начале кампаний одним из возможных способов устранения расхождений измеренной и расчетной концентраций борной кислоты является корректировка в файле настроечных параметров *birrag* значения *ak* на 0.98. Полученное значение коэффициента может свидетельствовать о систематической погрешности в определении тепловой мощности и требует отдельного изучения.

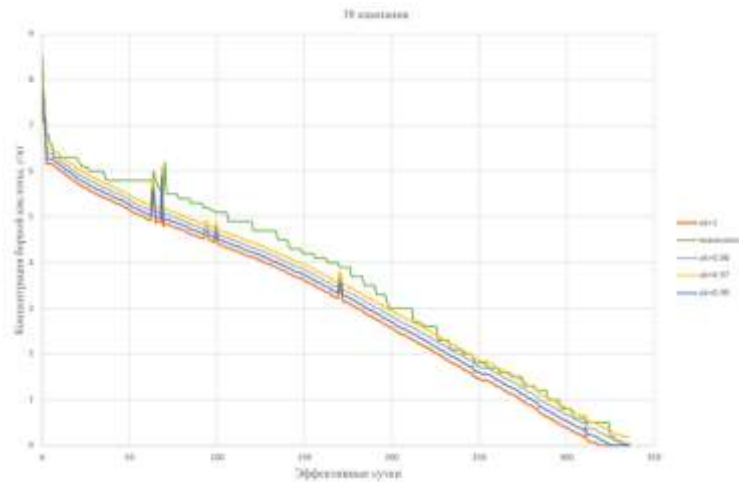


Рисунок 2 – Изменение концентрации борной кислоты в течении 38 топливной загрузки



Рисунок 3 – Абсолютное значение расхождения измеренного и расчетного значений концентраций борной кислоты на начало 36-40 кампаний

На основе полученных результатов расчетов концентраций борной кислоты во время эксплуатации и в начале кампаний одним из возможных способов устранения расхождений измеренной и расчетной концентраций борной кислоты является корректировка в файле настроечных параметров *birrag* значения *ak* на 0.98. Полученное значение параметра может свидетельствовать о систематической погрешности в определении тепловой мощности и требует отдельного изучения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа БИПР-7А (версия 1.5). Регистрационный номер паспорта аттестации № 468 от 30.05.2019;
2. Номенклатура эксплуатационных нейтронно-физических расчётов и измерений для топливных загрузок ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200. Требования. ВНИИАЭС, СТО 1.1.1.06.003.1941-2022 М., 2022;

3. Внедрение на АЭС с ВВЭР и во ВНИИАЭС аттестованного комплекса программ расчета нфх, включая библиотеки констант для всех видов топлива, находящегося в эксплуатации. Комплекс программ КАСКАД. Программа БИПР-7А. Описание алгоритма. Описание применения: отчет НИЦ «Курчатовский институт», рук.: Гагаринский А.А., Марков А.В., исполн.: Большагин С.Н., Томилов М.Ю., Стырин Ю.А. и др. – М., 2002.

УДК 621.039.534

## РЕГУЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В ЧАСТИ ХИМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБОРУДОВАНИЕ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ, ВАЖНОЕ ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Крючков М.В.<sup>1</sup>, Крутских Д.А.<sup>2</sup>, Рябокони А.В.<sup>3</sup>

*Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», Москва, Россия*

<sup>1</sup> kryuchkov@secnrs.ru; <sup>2</sup> krutskikh@secnrs.ru; <sup>3</sup> ryabokon@secnrs.ru

**Аннотация.** В работе проанализированы существующие подходы к установлению водно-химических режимов на атомных станциях, а также вопросы химического воздействия неводных сред на оборудование атомных станций, важное для безопасности. Результаты анализа могут быть учтены при разработке требований безопасности по учету химического взаимодействия материалов оборудования атомных станций и контактирующих технологических сред.

**Ключевые слова:** водно-химический режим, регулирование безопасности, атомные станции.

## SAFETY REGULATION REGARDING CHEMICAL IMPACT OF NUCLEAR POWER PLANT EQUIPMENT IMPORTANT FOR SAFETY

Kryuchkov M.V.<sup>1</sup>, Krutskikh D.A.<sup>2</sup>, Ryabokon A.V.<sup>3</sup>

*Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, Moscow, Russian Federation*

<sup>1</sup> kryuchkov@secnrs.ru; <sup>2</sup> krutskikh@secnrs.ru; <sup>3</sup> ryabokon@secnrs.ru

**Abstract.** Approaches to the water chemistry management at nuclear plants, as well as chemical impact issues of non-water substances on nuclear plant equipment important for safety are considered in the paper. The results of the analysis can be taken into account during development of safety requirements on chemical interaction of NPP equipment materials and contacting process fluids.

**Keywords:** water chemistry, safety regulation, nuclear power plants.

В процессе проектирования существующих АЭС и планируемых к реализации перспективных энергоблоков с малыми модульными реакторами и реакторами «четвертого поколения» [1, 2] основной целью всегда является повышение эффективности использования ядерного топлива и безопасности управления цепной ядерной реакцией деления. Исходя из этого осуществляется как выбор конструкционных материалов, состава теплоносителя, компоновки реакторной установки, так и разработка иных технических и организационных мер, обеспечивающих работу атомной станции. При этом, химическое взаимодействие конструкционных материалов важного для безопасности оборудования с компонентами теплоносителя и других технологических сред, как правило, не рассматривается в качестве основного критерия при проектировании, а управляется за счет введения дополнительных корректирующих добавок.

Такой подход был оправдан в предыдущие годы, так как сами по себе процессы химического взаимодействия, связанные с коррозией конструкционных материалов, протекают достаточно незаметно на протяжении длительного времени, а негативные результаты коррозионных процессов могут проявиться через годы или даже десятилетия [3,4]. В прошлом веке, когда проектный срок эксплуатации реакторных установок устанавливался в 30 лет, отсутствовала острая необходимость в учете коррозионных

процессов и разработке мер по их подавлению при проектировании АЭС. В настоящее время проектные сроки эксплуатации новых реакторных установок составляют не менее 60 лет, а с учетом их возможного продления можно предположить, что фактические сроки эксплуатации АЭС будут составлять 80 – 100 лет. Современная общемировая тенденция к продлению сроков эксплуатации атомных энергоблоков [2] приводит к тому, что проявление последствий коррозионных процессов может наступать значительно раньше фактического завершения эксплуатации энергоблоков и возможное влияние коррозионных процессов на безопасность эксплуатации атомных станций кратно повышается.

Таким образом, вопросы коррозионного повреждения конструкционных материалов, вопросы, связанные с потерей функциональных свойств элементов и оборудования атомных станций в результате длительного контакта и химического взаимодействия с рабочими средами, а также вопросы выбора разработчиками проектов АЭС и реакторных установок химических (водно-химических) режимов технологических сред обращают на себя всё больше внимания.

В настоящее время в нормативной правовой базе содержатся только общие требования к учету химического взаимодействия сред на атомных станциях, в том числе в НП-001-15[5], НП-082-07 [6], НП-089-15 [7] и других. Существующее руководство по безопасности «Водно-химический режим атомных станций» (РБ-002-16) [8] носит рекомендательный характер, распространяется только на водные среды и не учитывает специфику перспективных и инновационных проектов в области использования атомной энергии. Правоприменительная практика продемонстрировала неоднозначность определения целей установления химического режима, критериев выбора химических режимов различных сред, а также достаточности их обоснования. Кроме того существуют правовая неопределенность в:

- требованиях к полноте и достаточности концепции выбора ВХР АС,
- выборе документов по стандартизации, устанавливающим требования к показателям ВХР АС, и требованиях к таким документам по стандартизации,
- требованиях по установлению эксплуатационных пределов, пределов безопасной эксплуатации и проектных пределов в части ВХР АС;
- терминологии, используемой в части ВХР АС;
- требованиях к используемым сорбентам и ионообменным материалам.

В работе представлен анализ положений действующих нормативных документов, регламентирующих обоснование безопасности с точки зрения химических режимов атомной станции с учетом возможного наличия в системах, важных для безопасности, неводных технологических сред (жидкометаллические теплоносители, газы, масла, дизельное топливо, огнестойкие жидкости), по результатам которого сформулированы предложения по совершенствованию подходов к регулированию химических режимов атомных станций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адамов Е.О. и др. Зеленая книга ядерной энергетики / под ред. Е.О. Адамова. – М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2024. – 232 с.
2. Девятый национальный доклад Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из конвенции о ядерной безопасности / подготовлен Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) и Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» (Госкорпорация «Росатом»). – Москва, 2022 г. – 211 с.
3. Nietanen O. Guillotine breaks of feed water lines at Loviisa 440. Fortum Nuclear Services Ltd, Material degradation and related managerial issues at nuclear power plants. Proceedings of a technical meeting organized by the International Atomic ENERGY Agency held in Vienna, 15–18 February. 2005.
4. Авдеев Е.Ф., Баклушин Р.П., Гольба В.С., Иваненко И.Ю., Кузеванов В.С., Слободчук В.И., Соловьев С.П. Аварии и инциденты на атомных электростанциях. Учебное пособие под общей редакцией д.ф.-м.н., профессора С.П. Соловьева. Обнинск, ИАТЭ. 1992. - 300 с.
5. НП-001-15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. Федеральные нормы и правила. Утверждены приказом Ростехнадзора от 17 декабря 2015 г. №522. Зарегистрирован Минюстом России 2 февраля 2016 г. № 40939.

6. НП-082-07. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций. Федеральные нормы и правила. Утверждены постановлением Ростехнадзора от 10 декабря 2007 г. № 4. Зарегистрированы Минюстом России 21 января 2008 г. № 10951.
7. НП-089-15. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Федеральные нормы и правила. Утверждены приказом Ростехнадзора от 17 декабря 2015 г. № 521. Зарегистрированы Минюстом России 9 февраля 2016 г. № 41010.
8. РБ-002-16. Водно-химический режим атомных станций. Основные требования безопасности. Руководство по безопасности. Утверждены приказом Ростехнадзора от 23 августа 2016 г. № 350.

УДК 621.039.003

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЬНОЙ ГРАДИРНИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ И КОРРОЗИИ

Нифталиев С.И.<sup>1</sup>, Клоков Г. В.<sup>2</sup>, Кузнецова Е. Г.<sup>3</sup>, Карандеева Н. В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия

<sup>2</sup> АО «Всероссийский Научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций», г. Москва, Россия

<sup>3,4</sup> Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция», г. Нововоронеж, Россия

<sup>1</sup>kaf-nhht@vsuet.ru, <sup>2</sup>GVKlokov@vniiaes.ru, <sup>3</sup>KuznetsovaElG@nvnpp1.rosenergoatom.ru

<sup>4</sup>KarandeevaNV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

**Аннотация.** В настоящее время широко применяется реагентная стабилизация оборотной воды энергетических объектов ингибиторами коррозии и накипеобразования, требующая корректировки параметров режима с учетом особенностей реальных условий эксплуатации. Для проведения оценки эффективности реагентов в системах внешнего контура охлаждения атомных станций на Нововоронежской АЭС была сконструирована установка, моделирующая тепловые и физико-химические процессы, происходящие в градирне (УМП).

**Ключевые слова:** ингибитор, водно-химический режим, коэффициент упаривания.

## EXPERIENCE OF USING A MODEL COOLING TOWER TO TEST THE EFFECTIVENESS OF SCALE FORMATION AND CORROSION INHIBITORS

Niftaliev S.I.<sup>1</sup>, Klokov G.V.<sup>2</sup>, Kuznetsova E.G.<sup>3</sup>, Karandeeva N.V.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

<sup>2</sup>JSC "All-Russian Scientific Research Institute for the Operation of Nuclear Power Plants", Moscow, Russia

<sup>3,4</sup>Branch of Rosenergoatom Concern JSC "Novovoronezh Nuclear Power Plant", Novovoronezh, Russia

<sup>1</sup>kaf-nhht@vsuet.ru, <sup>2</sup>GVKlokov@vniiaes.ru, <sup>3</sup>KuznetsovaElG@nvnpp1.rosenergoatom.ru

<sup>4</sup>KarandeevaNV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

**Abstract.** Currently, reagent stabilization of circulating water at energy facilities with inhibitors of corrosion and scale formation is widely used, which requires adjustment of the regime parameters taking into account the characteristics of real operating conditions. To assess the effectiveness of reagents in the external cooling circuit systems of nuclear power plants at the Novovoronezh NPP, an installation was designed that simulates thermal and physicochemical processes occurring in a cooling tower (CCT).

**Key words:** inhibitor, water chemical regime, evaporation coefficient.

Для проведения оценки эффективности ингибиторов коррозии и накипеобразования в системах внешнего контура охлаждения атомных станций на Нововоронежской АЭС была сконструирована установка, моделирующая тепловые и физико-химические процессы, происходящие в градирне.

Принцип работы модельной установки заключается в имитации нагрева воды внешнего контура циркуляции с последующим охлаждением на башне градирни, что

позволяет создать условия, подобные реальной БИГ АЭС, включая гидравлические и тепловые нагрузки.

Испытания эффективности режимов коррекционной обработки на УМП проводятся на требуемых проектных параметрах, при заданной температуре оборотной воды (в диапазоне от 48 °С до 52 °С) и дозировках реагентов с учетом природоохранных норм.

Для воды из каждого источника водоснабжения, используемого в качестве исходной и добавочной воды БИГ, выполнялось «холостое» испытание – без применения ингибиторов. Результаты «холостого» испытания используются для прогнозирования накипеобразующей и коррозионной способностей охлаждающей воды АЭС в отсутствие коррекционной обработки.

С ростом коэффициента упаривания снижается транспорт кальция. Поэтому при исследовании ингибирующих свойств реагентов и поддержании стабилизационного ВХР в заданных условиях (температура, концентрация реагента), эффективность тем выше, чем при больших значениях коэффициента упаривания обеспечивается большее значение транспорта кальция.

Примером могут послужить реальные зависимости (рис. 1, 2), полученные при испытаниях ВХР системы охлаждающей воды (источник - р.Сейм) на модельной установке в 2023 году.



Рисунок 1 – Зависимость транспорта кальция от коэффициента упаривания охлаждающей воды в отсутствие ингибитора в холостом опыте на модельной установке

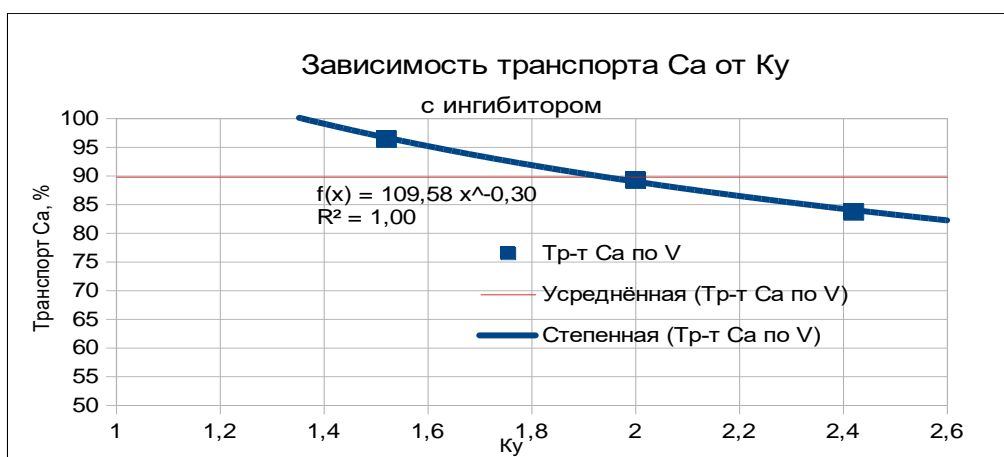


Рисунок 2 – Зависимость транспорта кальция от коэффициента упаривания охлаждающей воды при исследовании ингибирующих свойств реагента на модельной установке

Без ингибирования вода демонстрирует выраженные накипеобразующие свойства. В условиях ингибирования обеспечивается нормативное значение транспорта кальция 90%.

Для внедрения в опытно-промышленную эксплуатацию технологии коррекционной обработки охлаждающей воды предлагается разработать номограмму ведения ВХР (рис. 3) с выделением зон оптимального режима и усиленного контроля с принятием мер по нормализации показателей ВХР.

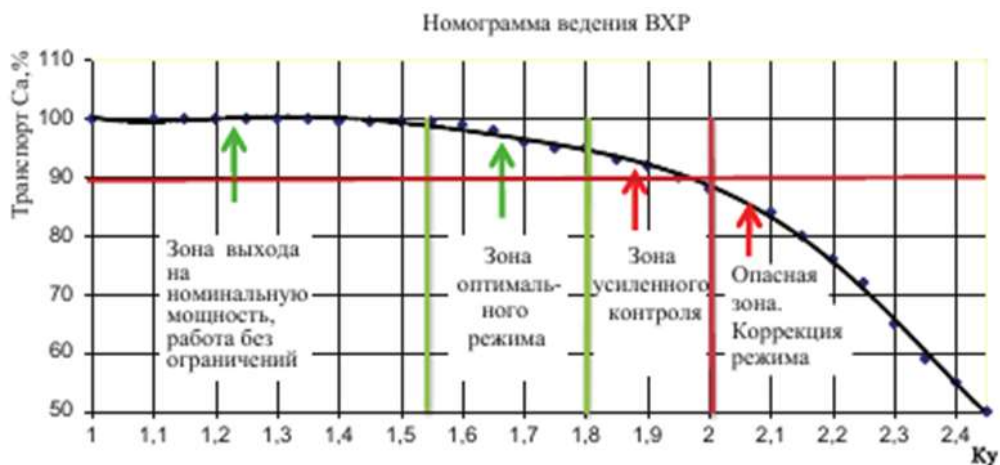


Рисунок 3 – Номограмма ведения ВХР

В ходе испытаний на УМП был обнаружен парадоксальный, но объяснимый эффект снижения электропроводности  $\chi$  с ростом коэффициента упаривания  $K_u$ .

Для вод гидрокарбонатного класса с высоким содержанием кальция (воды рек Центральной России) электропроводность в значительной степени обусловлена карбонатно-кальциевой составляющей. Значение транспорта кальция ниже 95% объясняет значительное присутствие карбоната кальция в отложениях, что приводит к потере электропроводности оборотной воды относительно теоретически рассчитанной. Факт падения электропроводности не позволяет использовать этот показатель для корректной оценки транспорта кальция, поэтому использование в расчете наиболее растворимых компонентов воды относительно содержания кальция даст наиболее верный результат.

Для корректного определения транспорта кальция предлагается оснастить систему основной охлаждающей воды аналитическим стендом с набором селективных электродов автоматизированного химического контроля на хлориды и кальций с последующим программным пересчетом в транспорт Са. Для полноты контроля стенд дополняется датчиками на pH, флуоресцентную метку PTSA - для определения концентрации «меченного» реагента, мутность, ОВП - для косвенной оценки биозагрязнений, термодатчиками.

Таким образом, все параметры ВХР могут регистрироваться непрерывно и отображаться на дисплее программного обеспечения аналитического стенда, что существенно повышает надежность поддержания эффективного стабилизационного режима систем охлаждения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО 1.1.1.02.006.1550-2018 Коррекционная обработка охлаждающей воды башенных испарительных градирен атомных станций
2. Отчет о научно-исследовательской работе «Проведение испытаний эффективности ВХР БИГ АЭС с дозированием различных ингибиторов солеотложения и коррозии на установке, предусмотренной в рамках п.6 Отраслевого плана мероприятий по поддержанию и повышению безопасной эксплуатации БИГ на период с 2019 по 2021 год. Выдача рекомендаций по выбору оптимальных ВХР БИГ для действующих и проектируемых АЭС».
3. РД 34.37.302. Методические указания по применению кондуктометрического контроля для ведения водного режима электростанций.
4. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономарёвой. Изд. 10-е, перераб. и доп. — М.: Изд-во «Иван Фёдоров», 2003. 240 с.
5. РД ЭО 1.1.2.09.0824-2010 «Лабораторный анализ отложений с теплообменного оборудования атомных электростанций с водо-водяным энергетическим реактором».

## ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГООБЛОКОВ ВВЭР С РУ В-392М

Поваров П.В.<sup>1</sup>, Смородинов Д.С.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»,  
г. Нововоронеж, Россия

<sup>1,2</sup>*nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru*

**Аннотация.** Статья посвящена совершенствованию алгоритмов управления новейшими российскими реакторами ВВЭР-1200. Описаны имеющиеся проблемы обеспечения динамической устойчивости энергоблоков ВВЭР с РУ В-391м в переходных режимах и при нарушениях нормальных условий эксплуатации. Обоснована необходимость проведения дополнительных исследований таких режимов для корректировки уставок срабатывания аварийной защиты реактора, минимизации включений в работу систем безопасности срабатываний технологических защит, приводящих к отключению энергоблока, или снижению нагрузки.

**Ключевые слова:** динамическая устойчивость, регулирование мощности, уставка, расчётный анализ, КИУМ.

## DYNAMIC STABILITY OF WWER POWER UNITS WITH V-392M REACTOR

Povarov P.V., Smorodinov D.S.

*Branch of Rosenergoatom Concern JSC "Novovoronezh Nuclear Power Plant",  
Novovoronezh, Russia*

*nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru*

**Abstract.** The article is about the latest Russian PWR-1200 reactors control algorithms improvement. The existing problems of ensuring the dynamic stability of VVER power units with RU V-391m in transient conditions and in case of violations of normal operating conditions are described. The necessity of conducting additional studies of such modes is justified in order to adjust the set points of the emergency protection of the reactor, to minimize the inclusion of technological protection triggers in the operation of safety systems, leading to a shutdown of the power unit, or to reduce the load.

**Keywords:** dynamic stability, power control, computational analysis, set point, ICUF.

Безопасная и надежная выработка электроэнергии энергоблоком во многом зависит от его **динамической устойчивости** как способности обеспечивать график несения нагрузки или переход на пониженный уровень мощности в динамических (переходных) режимах нормальной эксплуатации (НЭ) и нарушений нормальных условий эксплуатации (ННЭ) без превышения эксплуатационных пределов (ЭП), дополнительных отключений оборудования и срабатывания систем безопасности (СБ).

Современные энергоблоки с ВВЭР-1200 предназначены для работы в маневренных режимах несения нагрузки, которые входят в состав эксплуатационных переходных режимов при НЭ. К таким режимам относятся режимы первичного и вторичного регулирования частоты электрического тока в энергосистеме, режимы суточного регулирования мощности энергоблока, режимы ограничения мощности, импульсной разгрузки с последующим восстановлением нагрузки по командам от противоаварийной автоматики (ПАА) энергосистемы. Реализация этих эксплуатационных переходных режимов при НЭ без превышения эксплуатационных пределов (ЭП) и дополнительных отключений оборудования является **первой задачей динамической устойчивости** энергоблока. Таким образом, признаком динамической устойчивости является способность энергоблока реализовывать требуемые Системным оператором графики изменения электрической нагрузки и/или мощности реактора без непредусмотренного отключения оборудования систем нормальной эксплуатации и без срабатываний СБ. Динамическая устойчивость энергоблока

характеризуется качественным показателем: энергоблок выдает требуемую мощность по заданному графику без срабатывания СБ.

Второй задачей динамической устойчивости энергоблока являются переходные процессы вызванные нарушениями ЭП и/или эксплуатационных условий (ЭУ), т.е. ННЭ, и целью управления является перевод энергоблока на другой (более низкий) разрешенный уровень мощности. Такие режимы ННЭ возникают, как правило, при отключении основного оборудования энергоблока или отказах в работе системы аварийного расхолаживания (САР). В этом случае под целью динамической устойчивости энергоблока следует понимать отсутствие срабатываний систем безопасности (за исключением открытия БРУ-А в режиме поддержания давления в главном паровом коллекторе (ГПК) как функции нормальной эксплуатации) с возможным превышением ЭП, но без превышения предела безопасной эксплуатации (ПБЭ), при эксплуатации с отклонениями.

Для серийных блоков с ВВЭР-1000 за 40-летний период эксплуатации реализован целый комплекс мер, повышающих их динамическую устойчивость, которую можно трактовать как способность систем и оборудования обеспечивать установленные проектом пределы изменения технологических параметров без срабатывания аварийной защиты реактора и отключения энергоблока от сети.

Опыт эксплуатации энергоблоков НВАЭС с ВВЭР-1200 поколения 3+ показывает, что в переходных режимах НЭ и ННЭ работа оборудования таких систем, как автоматической разгрузки энергоблока, подпитки-продувки первого контура, питательной воды, основного конденсата, циркуляционной воды и др. не обеспечивает достаточную **динамическую устойчивость** энергоблока. Это приводило к случаям дополнительных к исходному событию отказов оборудования и излишнего срабатывания СБ при реализации проектных алгоритмов управления, с последующим нарушениям ЭП, отключению энергоблоков от сети, срабатыванию аварийной защиты реактора.

Таким образом, для энергоблоков с ВВЭР-1200 поколения 3+ очевидна актуальность работ по обоснованию изменений проектных алгоритмов САР, технологических защит и блокировок (ТзиБ), выдержек времени, ЭП и уставок срабатывания управляющих систем безопасности, а также способов разгрузки энергоблока для обеспечения его устойчивости в динамических режимах.

Инструментом для анализа динамических режимов на энергоблоке АЭС и подтверждения правильности предлагаемых корректировок проектных алгоритмов или изменений проектных технологических решений важно на постоянной основе использовать современные расчетные методы и модели энергоблоков АЭС, построенные на основе различных программно-технических средств.

В этой связи НВАЭС инициирована реализация НИОКР «Комплексный анализ режимов с отключением основного оборудования первого и второго контуров и разработка рекомендаций по повышению динамической устойчивости энергоблоков АЭС с ВВЭР-1200 и ВВЭР-ТОИ».

При этом используется комплексный подход к исследованию технологических процессов, в основу которого положен принцип разнообразия расчетных моделей и объединения результатов анализа, выполненного с применением независимых расчетных кодов и математических моделей.

В соответствии с техническим заданием расчетный анализ проводится с использованием расчетного кода RELAP5/Mod3.2 и программно-технического комплекса «Виртуально-цифровая АЭС с ВВЭР». Тестирование расчетных пакетов выполняется по данным эксплуатации, полученным на этапах опытно-промышленной и промышленной эксплуатации энергоблока № 1 НВАЭС-2.

Для анализа **динамической устойчивости** энергоблока с ВВЭР-1200 при НЭ выбраны технологические процессы в первом и втором контурах в режимах с частичным снижением нагрузки энергоблока на 600, 360 и 240 МВт с целью изменения значения уставки перехода автоматического регулятора мощности (АРМ) из режима «Н» в режим «Т»

при повышении давления в ГПК. Причиной стало отсутствие автоматического перехода АРМ из режима «Н» в режим «Т» по повышению давления в ГПК вследствие не достижения уставки более 0,25 МПа от номинального при испытаниях режимов частичного изменения мощности (ЧИН) с разгрузкой энергоблоков № 1, 2 НВАЭС-2 на 600, 360 и 240 МВт в период освоения мощности 75% и 100% Нном. В результате не происходило автоматической разгрузки реактора, а избыток мощности компенсировался работой БРУ-К.

Для анализа динамической устойчивости энергоблока с ВВЭР-1200 при ННЭ выбраны проектные алгоритмы, возникающие при ННЭ с отключением оборудования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Проектные алгоритмы, возникающие при ННЭ с отключением оборудования

№ п/п	Описание алгоритма	Предложение по модернизации	Обоснование
1.	При отключении одного КЭН 1 ступени (с не включением резервного) происходит разгрузка реактора до 50% Нном работой РОМ	Включить в алгоритм УПЗ	При разгрузке с номинального уровня мощности с нормальной скоростью движения ОР СУЗ возможно развитие ННЭ до срабатывания системы аварийного останова реактора
2.	При отключении одного КЭН 2 ступени (с не включением резервного) происходит разгрузка реактора до 50% Нном работой РОМ	Включить в алгоритм УПЗ	При разгрузке с номинального уровня мощности с нормальной скоростью движения ОР СУЗ возможно развитие ННЭ до срабатывания системы аварийного останова реактора
3.	При отключении двух ЦН разных конденсаторных групп происходит разгрузка реактора до 60% Нном работой РОМ	Включить в алгоритм УПЗ	При разгрузке с номинального уровня мощности с нормальной скоростью движения ОР СУЗ возможно развитие ННЭ до срабатывания системы аварийного останова реактора
4.	При отключении двух ЦН одной конденсаторной группы требуется отключение турбины оператором без срыва вакуума	Включить в алгоритм защит на отключение ТА без срыва вакуума	Отсутствие автоматического отключения ТА с учетом ограниченной скорости реакции оператора в переходном процессе ННЭ может привести к повреждению ТА. Также возможно отключение ТА защитой со срывом вакуума (например, по осевому сдвигу или вибрации), что уже может привести к аварийному останову реактора по давлению в ГПК
5.	При отключении двух ПЭН из 4-х работающих и не включение резервного ПЭН (с задержкой 2 сек) срабатывает УПЗ с последующей разгрузкой реактора до 50% Нном работой РОМ	Разгрузка энергоблока группой УПЗ увеличенной эффективности	При разгрузке с номинального уровня мощности эффективность работы УПЗ и РОМ не обеспечивает ограничение роста расхода питательной воды до уставки отключения всех ПЭН, в результате чего достигается уставка АЗ реактора
6.	При закрытии СК ТГ срабатывает УПЗ с последующей разгрузкой реактора до 40% Нном работой РОМ. Запрет работы БРУ-К приводит к открытию БРУ-А при росте давления в ПГ до 7,7 МПа	1. Опережающее открытие БРУ-А по сигналу срыва вакуума в конденсаторе ТА (снижение уставки открытия БРУ-А с 7,7 до 7,3 МПа). 2. Применение УПЗ на мощности менее 75% Нном. 3. Применение группы УПЗ увеличенной эффективности	При мощности энергоблока более 50% Нном эффективность разгрузки РУ РОМ и/или УПЗ в совокупности с работой БРУ-А не обеспечивают ограничение роста давления в паропроводах ПГ, в результате чего достигается уставка АЗ реактора

№ п/п	Описание алгоритма	Предложение по модернизации	Обоснование
7.	Отключение одного ЦН из 4-х работающих приводит к разгрузке реактора до 80% Nном работой РОМ	Автоматическая разгрузка блока действием ПЗ до 60% Nном.	При разгрузке с номинального уровня мощности до 80% Nном не обеспечивается ограничение роста давления в конденсаторе ТА, в результате чего достигается уставка отключения турбины по вакууму
8.	Останов турбины без срыва вакуума при повышении давления в конденсаторах турбины более 20 кПа	Автоматическая разгрузка блока при повышении давления в конденсаторах выше 12 кПа	Отключение ВКВН с неуспешным АВР, снижение расхода основной охлаждающей воды, особенно в летний период, приводит к росту давления в конденсаторе ТА, в результате чего достигается уставка отключения турбины по вакууму в конденсаторах турбины более 20 кПа
9.	Иницирующие сигналы УПЗ снимаются через 6 сек, после чего АРМ включается в режим «Н» если отсутствует работа РОМ	Увеличение времени включения АРМ в режим «Н» до 15 сек в режимах с разгрузкой блока УПЗ	В режимах срабатывания УПЗ при отсутствии необходимости подключения РОМ к дальнейшей разгрузке РУ работа обратных связей по реактивности продолжается в течение 12-15 сек от формирования сигнала. АРМ после подключения через 6 сек вынужден компенсировать стабилизацию нейтронного потока
10.	ГЦНА отключается при увеличении уровня воды в соответствующем ПГ на плюс 0,2 м от номинального значения при запасе до кипения в каждой из горячих ниток более 15,5°С	Увеличение уставки по повышению Н в ПГ (при отключении ТГ, 1(2) ГЦНА, нарушения в работе узла питания ПГ)	Ограничение роста уровня в ПГ предотвращает поступление пара с повышенной влажностью на турбину. Смысл этого теряется: - для всех ПГ при отключении ТГ; - для ПГ с отключенным ГЦНА, т.к. парообразование практически прекращается
11.	Турбина отключится автоматически при наличии сигнала о повышении уровня в любом из ПГ более 3,05 метра	Увеличение уставки по повышению Н в ПГ (при отключении ТГ, 1(2) ГЦНА, нарушения в работе узла питания ПГ)	Ограничение роста уровня в ПГ предотвращает поступление пара с повышенной влажностью на турбину. Смысл этого теряется: - для всех ПГ при отключении ТГ; - для ПГ с отключенным ГЦНА, т.к. парообразование в нём практически прекращается
12.	Насос КВА отключается при понижении давления на всасе < 0.02 МПа	Для предотвращения отключения насосов КВА при кратковременном понижении давления на всасе ниже 0,02 МПа предлагается установить время выдержки защиты до 5 секунд	Неуспешное выполнение функции поддержания уровня в КД во время переходного процесса разгрузки РУ привело к срабатыванию проектного алгоритма «Локализация ПГ при течи 1 контура во 2 контур» при отсутствии реальной течи первого контура в ПГ, но при наличии сигнала об увеличении уровня в ПГ на 250 мм от номинального

В качестве критерия успешности расчетного анализа принимается условие не достижения в переходных процессах уставок срабатывания аварийной защиты реактора, включения в работу систем безопасности, а также уставок на срабатывание технологических защит, приводящих к отключению энергоблока от сети или снижению нагрузки.

При оценке выполнения критериев динамической устойчивости (запасов до уставок срабатывания СБ и/или отключения оборудования) учитывается погрешность датчиков КИП, включая измерительные каналы, а также, при необходимости, методическая погрешность по результатам сравнения расчетных данных и данных эксплуатации.

Реализация результатов НИОКР будет способствовать повышению КИУМ энергоблоков № 1, 2 НВАЭС-2 за счет сокращения времени простоя или работы на пониженном уровне мощности из-за излишнего (не оптимального) срабатывания алгоритмов САР, ТЗиБ, УСБ.

Постоянная работа по модернизации и совершенствованию алгоритмов управления ВВЭР-1200 необходима также для снижения нагрузки на оперативный персонал, особенно при необходимости действий в условиях отклонений от НЭ, что, безусловно, будет способствовать снижению вероятности неправильных действий персонала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков В.А., Жуденков В.В., Казаков К.В., Поваров В.П., Витковский И.Л. Повышение динамической устойчивости энергоблоков АЭС с реактором ВВЭР1000. // Теплоэнергетика. – 2014. – Т. 61. – № 1. – С. 4753.
2. Асмолов В.Г., Гусев И.Н., Казанский В.Р., Поваров В.П., Стацура Д.Б. Головной блок нового поколения – особенности проекта ВВЭР1200. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2017. – №3. – С. 521;
3. Гусев И.Н., Казанский В.Р., Витковский И.Л. Динамическая устойчивость энергоблока с ВВЭР1200. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2017. – № 3. – С. 2232;
4. Стацура Д.Б., Тучков М.Ю., Поваров П.В., Тихонов А.И., Падун С.П., Воробьев А.П., Майорова М.М. Использование программной модели блока для совершенствования проектных решений и оптимизации управления технологическим процессом. Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2020. № 4. С. 37-49.

УДК: 621.646

## ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС В УСЛОВИЯХ ВВЕДЁННЫХ ПРОТИВ РОССИИ САНКЦИЙ И СИСТЕМНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

**Прыткова Д.А., И.Г. Горбунов, О.Ю. Пугачева**

*НИИ АЭМ, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия  
nii\_energomash@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема, которая появилась при проведении тепловизионного контроля оборудования АЭС после введения против России санкций в связи с переходом с операционной системы Windows к операционной системе Linux, а также предлагается возможный вариант её решения.  
**Ключевые слова:** тепловизионный контроль, тепловизор, термограмма, Linux.

## FEATURES OF THE ORGANIZATION OF THERMAL IMAGING CONTROL OF NPP EQUIPMENT IN THE CONDITIONS OF SANCTIONS IMPOSED AGAINST RUSSIA AND SYSTEMIC RESTRICTIONS

**Prytkova D.A., I.G. Gorbunov, O.Y. Pugacheva**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”  
Volgodonsk, Russia  
nii\_energomash@mail.ru*

**Abstract.** The article examines a problem that arose during thermal imaging inspection of NPP equipment after the introduction of sanctions against Russia in connection with the transition from the Windows operating system to the Linux operating system, and also proposes a possible solution.  
**Keywords:** thermal imaging control, thermal imager, thermogram, Linux.

Обеспечение безопасной эксплуатации энергоблоков АЭС предполагает значительный объем работ по неразрушающему контролю состояния оборудования. Тепловизионный контроль (ТБК) является одним из способов мониторинга состояния

определенных категорий оборудования АЭС. Практика проведения тепловизионного контроля оборудования АЭС показывает, что его результаты позволяют своевременно определить дефект оборудования, а в отдельных случаях и узел, в котором появилась неисправность.

Нормативная база для оценки результатов тепловизионного контроля оборудования АЭС формируется на основе нормативных документов, которые применяются при проведении тепловизионного контроля (например, ПМ.0.ТК ИПУ ПГ. ОТД/1310, РД 153-34.0-20.364-00, РД 153-34.0-20.363-99). На основании сравнения результатов тепловизионного контроля с нормативными значениями определяется состояние обследуемого оборудования.

В настоящее время на АЭС эксплуатируются тепловизоры таких марок, как Flir, Guide, Testo и Fluke. Новые тепловизоры, которые приобретаются для атомных станций, чаще всего имеют марку Guide. Кроме того, для покупки в России доступны тепловизоры марок: ADA, СЕМ, Мегеон, НИКMICRO, iRay, ARKON, levenhuk, LEKSNIPER, Fortuna, Veber, Инфратех и других.

В связи с введенными санкциями Россия была вынуждена отказаться от использования операционной системы Windows и постепенно перейти на операционную систему Linux. Этот переход вызвал много проблем, в частности, для сотрудников АЭС, которые проводят тепловизионный контроль оборудования. Дело в том, что все тепловизоры, которые используются на АЭС, в свое время поставлялись с программным обеспечением для обработки термограмм только под управлением операционной системы Windows. Ни SDK (набор инструментов для разработки программного обеспечения), ни программного обеспечения для работы с термограммами для Linux, нет ни для одного тепловизора. А это значит, что оперативно получать информацию из термограмм для определения состояния обследуемого оборудования без применения операционной системы Windows стало невозможно.

Одним из возможных решений описанной выше проблемы является разработка собственных программ, которые будут позволять извлекать из термограмм такую диагностическую информацию, как температуры каждого пикселя изображения термограммы, условия проведения обследования. Также из термограмм может быть получена информация о дате и времени создания, а также марка и модель тепловизора, которым она сделана.

Для тепловизоров Flir, Guide и Testo были разработаны программные модули, которые извлекают описанную выше информацию из файла термограммы и позволяют работать с ней в операционной системе Linux. В настоящий момент эти программные модули интегрированы в программное обеспечение «Комплексная автоматизированная система тепловизионного контроля». Данные программные модули по своей сути являются вспомогательными инструментами для разработки программного обеспечения, автоматизирующего процессы тепловизионного контроля, и могут быть использованы только внутри указанной системы, так как не имеют своего интерфейса.

Таким образом, в отсутствие предоставленных производителями тепловизоров драйверов и библиотек под Linux разработка необходимых программных модулей помогает преодолевать недавнюю зависимость от операционной системы Windows.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПМ.0.ТК ИПУ ПГ. ОТД/1310 «Тепловой контроль патрубков и трубопроводов связи импульсно-предохранительного устройства парогенератора. Программа».
2. РД 153-34.0-20.364-00 «Методика инфракрасной диагностики тепломеханического оборудования».
3. РД 153-34.0-20.363-99 «Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ».

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ ЗОНЫ НАБЛЮДЕНИЯ РОСТОВСКОЙ АЭС

**Сайфудинов Т.К., Бураева Е.А.**

*Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета, г.*

*Ростов-на-Дону, Россия*

*tima.saufydionv2001@gmail.com*

**Аннотация.** В работе представлены результаты обработки данных о запасах радионуклидов в верхнем 10 см слое почвы с 2000 по 2019 года в 30-км зоны наблюдения Ростовской АЭС. Плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  варьируется от 2,8 до 8,0 кБк/м<sup>3</sup>. Вариации ЕРН в почве для  $^{226}\text{Ra}$ : 5,2–13,1 кБк/м<sup>3</sup>,  $^{232}\text{Th}$ : 6,5–17,2 кБк/м<sup>3</sup>,  $^{40}\text{K}$ : 112,3–272,5 кБк/м<sup>3</sup>. На основе полученных результатов были сделаны выводы что, в целом, наблюдается тенденция к сокращению запасов радиоцезия в почве.

## DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES IN SOILS OF THE ROSTOV NPP OBSERVATION ZONE

**T. K. Sayfudinov, E.A. Buraeva**

*Research Institute of Physics, Southern Federal University,*

*Stachka Av. 194, Rostov-on-Don 344090, Russia*

*tima.saufydionv2001@gmail.com*

**Abstract.** The paper presents the results of processing data on radionuclide reserves in the upper 10 cm layer of soil from 2000 to 2019 in the 30-km observation zone of the Rostov NPP. The density of  $^{137}\text{Cs}$  contamination varies from 2,8 to 8.0 kBq/m<sup>3</sup>. Variations of NRN in soil for  $^{226}\text{Ra}$ : 5,2–13,1 kBq/m<sup>3</sup>,  $^{232}\text{Th}$ : 6,5–17,2 kBq/m<sup>3</sup>,  $^{40}\text{K}$ : 112,3–272,5 kBq/m<sup>3</sup>. Based on the results obtained, conclusions were made conclusions that, in general, there is a tendency towards a decrease in radiocesium reserves in soil.

Ростовская область является одним из лидеров по производству сельскохозяйственной продукции благодаря своему умеренному климату и черноземным почвам. На ее территории расположены важные стратегические ядерные объекты, такие как Ростовская АЭС и Пункт хранения радиоактивных отходов (ПХРО). Эти объекты могут быть потенциальными источниками радионуклидов в окружающей среде. Также стоит отметить, что после аварии на Чернобыльской АЭС в Ростовской области наблюдались выпадения радиоактивных частиц. Поэтому оценка содержания  $^{137}\text{Cs}$  в почвах является важной задачей, которая позволит оценить уровень безопасности для населения, проживающего в этом регионе.

В результате обработки статистических данных, было выявлено, что распределение  $^{137}\text{Cs}$  в почве не соответствует нормальному закону. Средние и медианные значения удельной активности для радионуклидов практически совпадают (неопределенности измерений – порядка 30 %). Для лучшей оценки распределения искусственного радиоцезия в почвах в данной работе использовались среднее геометрическое значения. За 19 лет мониторинга 30-км зоны АЭС, было выявлено, что содержание радиоцезия с периодом полураспада 30 лет в верхнем 10 см слое почвы сократились примерно в 3 раза (Таблица 1). Однако, стоит отметить, что за 2000 год имеется только 12 измерений, это достаточно маленькая выборка, которая не является достоверной.

Таблица 1 — Статистика запаса ЕРН в верхнем 10 см слое почвы

Параметры   $^{226}\text{Ra}$	2000	2017	2018	2019
Минимум, кБк/м <sup>3</sup>	4,6	1,1	0,1	0,3
Максимум, кБк/м <sup>3</sup>	70,3	32,2	54,4	43,1
Среднее арифметическое, кБк/м <sup>3</sup>	18,7	9,1	9,2	7,1

Среднее геометрическое, кБк/м <sup>3</sup>	<b>13,1</b>	<b>7,4</b>	<b>6,6</b>	<b>5,2</b>
Медиана, кБк/м <sup>3</sup>	12,6	7,2	6,8	4,5
Стандартная ошибка, кБк/м <sup>3</sup>	5,3	0,4	0,6	0,4
Стандартное отклонение, кБк/м <sup>3</sup>	18,6	6,1	8,6	6,5
Эксцесс	5,37	2,02	7,97	8,33
Асимметричность	2,16	1,49	2,54	2,52
Количество проб, шт	12	192	179	215
Параметры   <sup>232</sup> Th	2000	2017	2018	2019
Минимум, кБк/м <sup>3</sup>	6,0	0,4	0,3	0,3
Максимум, кБк/м <sup>3</sup>	92,7	41,8	70,0	56,9
Среднее арифметическое, кБк/м <sup>3</sup>	25,5	10,3	11,4	8,7
<b>Среднее геометрическое, кБк/м<sup>3</sup></b>	<b>17,2</b>	<b>8,2</b>	<b>8,0</b>	<b>6,5</b>
Медиана, кБк/м <sup>3</sup>	15,8	8,6	7,8	5,8
Стандартная ошибка, кБк/м <sup>3</sup>	7,3	0,5	0,8	0,5
Стандартное отклонение, кБк/м <sup>3</sup>	25,4	7,2	11,1	7,9
Эксцесс	3,91	3,65	7,07	9,57
Асимметричность	1,89	1,75	2,47	2,69
Количество проб, шт	12	192	180	215
Параметры   <sup>40</sup> K	2000	2017	2018	2019
Минимум, кБк/м <sup>3</sup>	92,9	24,8	5,3	3,6
Максимум, кБк/м <sup>3</sup>	1580,2	805,5	1214,6	979,3
Среднее арифметическое, кБк/м <sup>3</sup>	407,9	182,1	200,2	155,3
<b>Среднее геометрическое, кБк/м<sup>3</sup></b>	<b>272,5</b>	<b>152,7</b>	<b>144,9</b>	<b>112,3</b>
Медиана, кБк/м <sup>3</sup>	262,6	154,5	142,8	103,5
Стандартная ошибка, кБк/м <sup>3</sup>	124,0	8,5	13,7	10,0
Стандартное отклонение, кБк/м <sup>3</sup>	429,6	118,0	184,9	147,0
Эксцесс	4,98	4,70	7,39	9,73
Асимметричность	2,13	1,81	2,46	2,72
Количество проб, шт	12	192	180	215

Запасы естественных радионуклидов не превышает среднемировые значения. Согласно сторонним исследованиям для Ростовской области средняя удельная активность радионуклидов следующая: 0,1-15 Бк/кг для <sup>137</sup>Cs, 20-40 Бк/кг для <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, 500 – 700 Бк/кг для <sup>40</sup>K [1 - 4], что соответствует полученным результатам. При этом невозможно строго выявить зависимость поведения радионуклидов от типа почв из-за высокой инструментальной погрешности при измерении удельной активности радионуклидов в почвах (20–40%).

Сравнивая результаты временного промежутка начиная с 2000 по 2019 года видно, что запасы радионуклидов сокращаются. Однако невозможно строго интерпретировать полученный результат из-за высокой инструментальной погрешности при измерении удельной активности радионуклидов в почвах (20–40%). Также, согласно рисунку, мы наблюдаем, что запас цезия не превышает порог 2000 года за весь промежуток времени, что говорит о том, что вклад РоАЭС в фон минимальный и находится на уровне статистической погрешности.

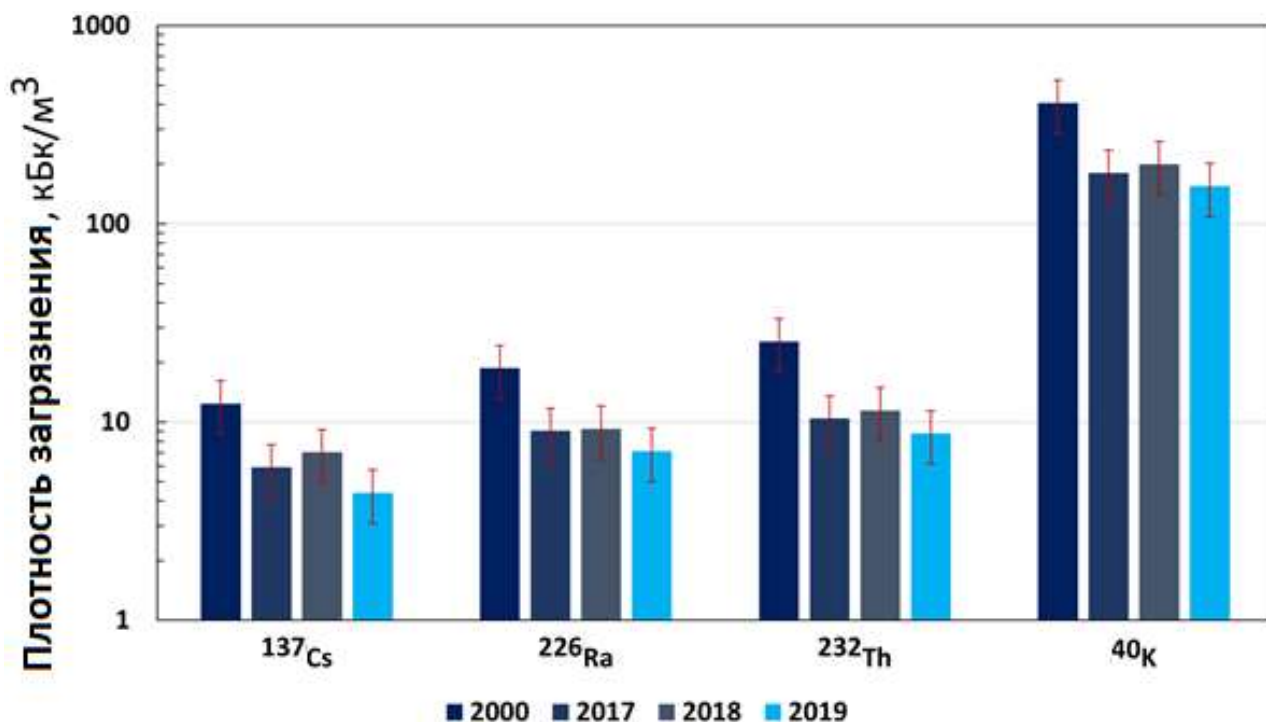


Рисунок 1 – Динамика изменения радионуклидов в верхнем 10 см слое почвы

Таким образом, средняя плотность загрязнения для всех радионуклидов верхнем 10 см слое почвы в период с 2000 по 2019 года уменьшилась в 2 раза.

Основной источник внешнего облучения является  $^{137}\text{Cs}$ . Плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  варьируется от 2,8 до 8,0 кБк/м<sup>3</sup>.

Распределение ЕРН вдоль почвенного профиля является равномерным. Вариации ЕРН в почве для  $^{226}\text{Ra}$ : 5,2–13,1 кБк/м<sup>3</sup>,  $^{232}\text{Th}$ : 6,5–17,2 кБк/м<sup>3</sup>,  $^{40}\text{K}$ : 112,3–272,5 кБк/м<sup>3</sup>.

Основным результатом длительного мониторинга зоны наблюдения Ростовской АЭС является подтверждение отсутствия влияния работы АЭС на окружающую среду. Это подтверждается не только нашими исследованиями, но и измерениями на пунктах АСКРО, данными НПП Тайфун и сторонними исследованиями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобцева М.А. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  в зависимости от физико-химических показателей почв тридцатиколометровой зоны Волгодонской АЭС. / Кобцева М. А., Бураева Е. А., Давыдов М. Г. // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. Специальный выпуск. – 2010. – №2а. – С. 175–179.
2. Бураева Е.А. Радионуклиды в верхнем слое почвы особо охраняемых природных территорий Ростовской области. / Бураева Е. А., Маломыжева Н. В., Швецова Д. А., Безуглова О. С. // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2022. – №3. – С. 38-44. Режим доступа: 10.18522/1026-2237-2022-3-38-44. (дата обращения: 22.07.2024)
3. E.A. Buraeva. Varduny Features of  $^{137}\text{Cs}$  distribution and dynamics in the main soils of the steppe zone in the southern European Russia. / E.A. Buraeva, O.S. Bezuglova, V.V. Stasov, V.S. Nefedov [et al.] // Geoderma. – Volumes 259–260. – 2015. – Pages 259-270, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.014>.
4. Федченко Т. М. Содержание и распределение радионуклидов в почвах территории Новочеркасской ГРЭС. / Федченко Т. М., Бураева Е. А., Минкина Т. М., Триболина А. Н., Нефедов В. С., Мартыненко С. В. // Фундаментальные исследования. – 2013. – №11. – Часть 3. – С. 488–492

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ НА АЭС И ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ НА ОБРАЩЕНИЕ С РАО, В ТОМ ЧИСЛЕ, НА ИХ ЗАХОРОНЕНИЕ

Сапельников В.М., Дембицкий А.Е., Попова И.Ю.

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

**Аннотация:** В докладе приведены результаты исследования процесса переработки ИОС на АЭС, дано обоснование безопасности их переработки с целью оптимизации затрат на обращение с РАО. Физико-химические процессы, происходящие при разогреве и осушении отработанных ионообменных смол (ОИОС), не приводят к образованию взрывоопасных и пожароопасных газов. Осушенные термическими методами ОИОС представляют собой твердый зернистый материал, который может рассматриваться как форма, пригодная для длительного хранения и захоронения, поскольку отвечает общим критериям приемлемости РАО 3 и 4 классов.

**Ключевые слова:** отработанные ионообменные смолы, АЭС, переработка, захоронение, радионуклиды, оптимальная технология.

## INVESTIGATION OF THE PROCESS OF PROCESSING ION-EXCHANGE RESINS AT NUCLEAR POWER PLANTS AND JUSTIFICATION OF THE SAFETY OF THEIR PROCESSING IN ORDER TO OPTIMIZE THE COSTS OF WASTE MANAGEMENT, INCLUDING THEIR DISPOSAL

Sapelnikov V.M., Dembitsky A.E., Popova I.Y.

*Volgodonsk Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI",  
Volgodonsk, Russia  
vsapelnikov@yandex.ru*

**Abstract:** The report presents the results of a study of the process of processing IOS at nuclear power plants, provides a justification for the safety of their processing in order to optimize the cost of handling RAW materials. The physico-chemical processes occurring during heating and drying of spent ion exchange resins (OIOS) do not lead to the formation of explosive and flammable gases. OIOS dried by thermal methods are a solid granular material that can be considered as a form suitable for long-term storage and burial, since it meets the general criteria for the acceptability of radioactive waste of classes 3 and 4.

**Keywords:** spent ion exchange resins, nuclear power plants, recycling, burial, radionuclides, optimal technology.

Эксплуатация любого объекта использования атомной энергии связана с образованием значительных объёмов радиоактивных отходов на каждом из этапов жизненного цикла объекта [1]. Ведущие научно-исследовательские и проектные институты, эксплуатирующие организации ведут стратегически важную работу по сокращению образования РАО и новым методам их переработки, позволяющих максимально очистить технологические среды и отходы от радионуклидов техногенного происхождения с целью их вывода из-под радиационного регулирующего контроля [2].

Одним из наиболее острых вопросов в обращении с РАО является обращение с одним из типов ЖРО – отработанными ионообменными смолами (далее – ОИОС), органическими сорбентами на основе полимерных органических матриц (стирольных, дивинилбензолных и др.) с различными функциональными группами для обмена ионов в водных технологических средах. Данный тип отходов представляет особый интерес из-за сложности кондиционирования и переработки ОИОС в связи с невозможностью уменьшения объёма РАО при переработке ОИОС одними методами (цементированием, прессованием и др.), а также с опасностью технологического цикла и его продуктов из-за выделяющихся

токсичных возгонов, паров, аэрозолей, мобилизацией связанных радионуклидов в высоковолатильные среды (парогазовую фазу), при переработке другими методами (сжиганием и химическим рециклированием) [3].

В настоящее время наиболее серьёзными проблемными моментами в обосновании безопасности определённых технологий переработки ОИОС являются обоснование:

- 1) пожаровзрывобезопасности;
- 2) химической стабильности;
- 3) отсутствия выщелачивания радионуклидов;
- 4) содержания свободной влаги

в продукте(ах) технологии переработки и кондиционирования с целью соответствия требованиям НП-093-14 [4] и РБ-155-20 [5].

Исследования и сравнительный анализ, проведенные специалистами ВИТИ НИЯУ МИФИ показали, что наиболее оптимальной технологией переработки и кондиционирования ОИОС является низкотемпературная сушка ОИОС с утилизацией путём размещения осушенных ОИОС в железобетонные контейнеры типа НЗК-150-1,5П ИОС с вкладышами.

Физико-химические процессы, происходящие при разогреве и осушении ОИОС, не приводят к образованию взрывоопасных и пожароопасных газов.

Осушенные термическими методами ОИОС представляют собой твердый зернистый материал, который может рассматриваться как форма, пригодная для длительного хранения и захоронения, поскольку отвечает общим критериям приемлемости РАО 3 и 4 классов, то есть не содержит веществ:

- в порошкообразной форме с высокой способностью к рассеянию;
- химически неустойчивых и сильных окислителей;
- коррозионно-активных;
- ядовитых, патогенных и инфекционных;
- биологически активных;
- легковоспламеняющихся и взрывопожароопасных;
- способных к детонации или взрывному разложению;
- вступающих в экзотермическое взаимодействие с водой, сопровождающееся взрывом;
- содержащих или способных генерировать токсичные газы, пары или возгоны.

Следует отметить, что радионуклиды прочно зафиксированы в структуре ионообменных смол и для их мобилизации требуется обработка сильными кислотами и щелочами. Сведения о радиационных характеристиках ОИОС (активность удельная, суммарная), детализация мест отбора и объёмные характеристики проб являются информацией ограниченного распространения (гриф «ДСП») и не могут быть приведены в настоящей работе.

Предварительная сушка ОИОС обеспечивает показатель свободной жидкости осушенных ОИОС (содержание межзерновой влаги), подлежащих захоронению, менее 3 %.

Кондиционированные ОИОС могут безопасно захораниваться при размещении в невозвратные контейнеры и при объеме загрузки, не превышающим рекомендованный объем заполнения, что удовлетворяет критериям приемлемости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буйновский Ф. Отходный промысел. Инф.-аналит. журнал Вестник Атомпрома. 2010. №3. С.18-21.
2. Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Ястребинская А.В. Радиационно-защитные методы переработки и кондиционирования РАО АЭС. Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). 2013. № 2. С.90-93.
3. Смольников М.И., Марков В.Ф., Маскаева Л.Н., Бобылев А.Е., Мокроусова О.А. Проблемы утилизации отработанных ионообменных смол атомных электростанций. Бултеровские сообщения. 2016. №10.
4. НП-093-14 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения».

5. РБ-155-20 Руководство по безопасности «Рекомендации по порядку, объём, методам и средствам контроля радиоактивных отходов в целях подтверждения их соответствия критериям приемлемости для захоронения».

УДК621.039.566

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ КОМПЬЮТЕРНО - ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРОЦЕДУР СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ОПЕРАТОРА (СИПО) КАК ИНСТРУМЕНТА СОХРАНЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ЗНАНИЙ ПЕРСОНАЛУ

**Тихонов А.И.<sup>1</sup>, Тучков М.Ю.<sup>2</sup>, Поваров В.П.<sup>3</sup>**

*Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»,  
Нововоронеж, Россия*

<sup>1</sup>*TihonovAI@nvnpp1.rosenergoatom.ru*, <sup>2</sup>*TuchkovMU@nvnpp1.rosenergoatom.ru*,  
<sup>3</sup>*PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru*

**Аннотация.** Рассмотрено применение методов разработки компьютерно-ориентированных процедур, как одного из инструментов, используемых при подготовке оперативного персонала атомных станций. Система информационной поддержки оператора за счёт организации базы данных возможных действий и соответствующих интерактивных процедур позволяет не только оптимизировать информационную нагрузку на оперативный персонал блочных пультов управления АЭС, но также может быть использована для эффективной подготовки и поддержания квалификации.

**Ключевые слова:** система информационной поддержки оператора, передача знаний, сохранение компетенций, информация, человеческий фактор, обучение, персонал.

## APPLICATION OF COMPUTER-BASED PROCEDURES DEVELOPMENT METHODS OF THE INFORMATION SYSTEM OPERATOR SUPPORT (SIPO) AS A TOOL FOR PRESERVING AND TRANSFERRING KNOWLEDGE TO STAFF

**Tikhonov A.I.<sup>1</sup>, Tuchkov M.Yu.<sup>2</sup>, Povarov V.P.<sup>3</sup>**

*Novovoronezh Nuclear Power Plant Branch of Rosenergoatom Concern JSC,*

*Novovoronezh, Russia*

<sup>1</sup>*TihonovAI@nvnpp1.rosenergoatom.ru*, <sup>2</sup>*TuchkovMU@nvnpp1.rosenergoatom.ru*,  
<sup>3</sup>*PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru*

**Abstract.** The application of methods for the development of computer-oriented procedures as one of the tools used in the training of operational personnel of nuclear power plants is considered. The operator's information support system, through the organization of a database of possible actions and appropriate interactive procedures, allows not only to optimize the information load on the operational personnel of NPP block control panels, but can also be used for effective training and maintenance of qualifications.

**Keywords:** operator information support system, knowledge transfer, competence retention, information, human factor, training, personnel.

Персонал АЭС можно рассматривать как один из барьеров для предотвращения отказов и нарушений в режимах отклонений от нормальной эксплуатации с целью недопущения их перерастания в аварии. Во всех состояниях энергоблока АЭС важно обеспечить оператора достоверной, сжатой и полной информацией о состоянии объекта. В ситуациях, когда оператор не ограничен во времени для принятия решения, он выполняет анализ состояния системы (оборудования) с использованием всех доступных источников информации:

- инструкции по эксплуатации, регламенты, программы;
- сообщения обходчиков по визуальному осмотру оборудования;
- сигнализация на панелях управления блочного пульта управления;

– данные автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) на автоматизированных рабочих местах оператора [1].

Проблема сохранения и передачи опыта от старшего оперативного персонала молодым операторам блочного пульта управления (БПУ) и полевым операторам определяет необходимость начала работ по данной тематике.

База данных системы верхнего блочного уровня (СВБУ) в настоящее время содержит порядка 170 тыс. сигналов, которые выводятся оператору на более чем 1500 видеокадров, а сигнализаций на панелях БПУ более 700. Информационная нагрузка в соответствии с рекомендациями ГОСТР-МЭК – 62682[2] при стационарном режиме работы энергоблока оценивается в 300 000 событий/сутки при максимально возможной 288/сутки. В ситуациях с дефицитом времени для принятия решения нужен один достоверный источник информации, выдающий отфильтрованную, сжатую информацию в доступном и удобном виде.

Очевидно, что персонал, работающий на БПУ, должен обладать высочайшей квалификацией и уметь быстро и правильно диагностировать причину, характер и место начала отклонений параметров, составить прогноз развития отклонения и возможных последствий с последующими действиями по предотвращению дальнейшего развития отклонений. Начинающему персоналу БПУ сложно вычленять коренные причины и однозначно определять возможные последствия отклонений, что влечет за собой увеличение времени скорости реакции на сигнал [3].

Принятая концепция культуры безопасности предусматривает чёткое следование процедуре, поэтому у персонала, при формировании базы, возникает потребность досконального изучения эксплуатационных документов, анализа, обсуждения с коллегами и выбора наиболее достоверных критериев отклонения и действий по его устранению. Заранее выработанная методика и выверенные решения позволяют сократить время реакции при возникновении события и снизить вероятность дальнейшего развития отклонения.

Для получения максимального эффекта ускорения принятия решения персоналом, в СИПО предусмотрена функция, содержащая в своем составе базу возможных действий и предлагающая оператору наиболее вероятные причины событий на конкретном оборудовании и на основе анализа параметров системы, физических принципов. Интерактивное окно системы представлено на рисунке 1.

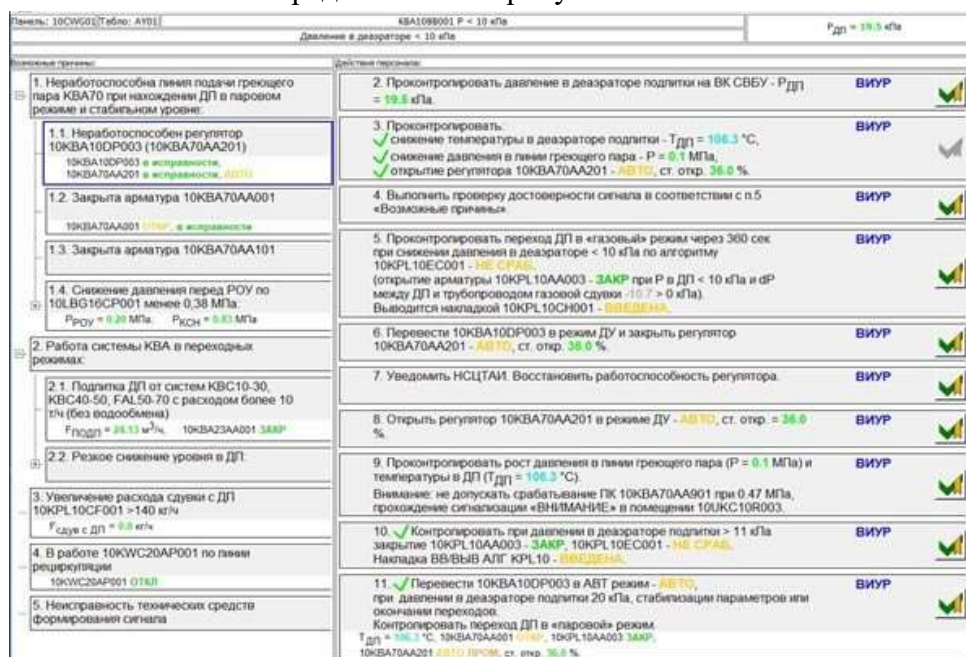


Рисунок 1 - Интерактивное окно системы выбора наиболее вероятных отклонений с указанием действий персонала

Разработка действий персонала, а также непосредственное наполнение базы автоматизированной системы реакции на сигнал, по характеризующим отклонение параметрам, осуществляется оперативным персоналом энергоблока по конкретному закрепленному оборудованию на основе действующей эксплуатационной документации и географии расположения [4].

Начальник смены АЭС и начальник смены блока, являющиеся старшим оперативным персоналом, поддерживают квалификацию за счет обновления знаний по расположению и географии оборудования, а также временных критериев при выполнении отданного поручения. У ведущих инженеров по управлению реактором или турбиной поддержание и развитие критического подхода и вопрошающей культуры при разработке и анализе признаков возможных событий, путей и методов устранения отклонений, происходит под руководством старших коллег. Осознание последствий при бездействии или неверной оценки отклонения параметров или события формируют у персонала внутреннюю приверженность принципам культуры безопасности. Полевые операторы получают информацию о порядке своих действий и их влияния на надежность и безопасность.

Учет опыта эксплуатации, модернизационные работы влекут за собой внесение изменений в эксплуатационную документацию. Ротация персонала, вызванная открытием новых рабочих мест на зарубежных и российских площадках, приводит к непрерывному обновлению кадрового состава персонала.

Указанные факторы в совокупности и каждый отдельно, приводят к необходимости постоянно актуализировать базу автоматизированной системы, разбирать последствия и прорабатывать множественные ситуации с нарушениями нормальной эксплуатации, противоаварийными действиями, поддерживать уровень знаний персонала с учетом изменений.

Авторами статьи проведен сравнительный анализ применения предусмотренных проектом средств управления и средствами управления совместно с интерактивными функциями СИПО в различных режимах работы энергоблока. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 Сравнительные результаты оценки применения СВБУ с интерактивными функциями

Оцениваемый параметр	Штатная СВБУ	СВБУ с интерактивными функциями СИПО
Удобство представления достоверной информации о состоянии оборудования	57%	83%
Сокращение времени, затрачиваемого на проверку параметров	Текущий уровень	18%
Снижение нагрузки на оператора в ситуациях с ограниченным временем принятия решения	Текущий уровень	39%
Снижает время реакции персонала на сигнал	Текущий уровень	19%
Снижение ошибок персонала, в т.ч. пропуск шага, неверная оценка критериев выполнения шага и др.	Текущий уровень	20,5%

Внедрение метода разработки персоналом информационной базы возможных отклонений с последующим поиском вариантов устранения, реализованная как автоматизированная система реакции на сигнал, позволяет не только сократить время реагирования за счет автоматического представления оператору наиболее вероятных причин событий, но и сформировать культуру непрерывного поддержания квалификации оперативного персонала, передачи и сохранения уровня знаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы представления параметров безопасности атомных станций. Функциональные требования. Функциональные требования. ГОСТ Р МЭК 60960-2021 Москва. Российский институт стандартизации, 2022. Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data/772/77201.pdf>. (дата обращения: 15.07.24)
2. ГОСТ Р МЭК 60964-2012. Пункты управления. Проектирование. Атомные станции. "Атомная техника", 2013. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200101819?ysclid=m0ma9qmg4y774025568>. (дата обращения: 16.07.24)

3. Атомные станции. Блочный пункт управления. Функции и представление сигнализации. ГОСТ Р МЭК 62241-2012. 322 "Атомная техника", 2013. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200101819?ysclid=m0ma9qmg4y774025568>. (дата обращения: 19.07.24)
4. О проблеме интеллектуальной поддержки операторов для современных автоматизированных систем управления технологическим процессом энергоблоков с ВВЭР / И. Н. Гусев, В. П. Поваров, М. Ю. Тучков [и др.] // Ядерная и радиационная безопасность. – 2019. – № S1. – С. 46-54. – EDN AWFRKY.

УДК 621.039.74

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУНКТА ЗАХОРОНЕНИЯ ОЧЕНЬ НИЗКОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ АЭС

Фетисова Ю.А.<sup>1</sup>, Гришина О.М.<sup>2</sup>, Кузин С.А.<sup>3</sup>

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия*  
<sup>1</sup> [julia\\_kurmak@mail.ru](mailto:julia_kurmak@mail.ru); <sup>2</sup> [lesia508@mail.ru](mailto:lesia508@mail.ru); <sup>3</sup> [kuzinsergey55@mail.ru](mailto:kuzinsergey55@mail.ru)

**Аннотация.** В работе рассматривается оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) планируемой (намечаемой) хозяйственной и иной деятельности – строительство пункта захоронения очень низкоактивных отходов. Результатом ОВОС является решение о возможности или невозможности осуществления планируемой хозяйственной деятельности, а также рекомендации по разработке необходимых мероприятий для предотвращения или снижения выявленных значимых экологических последствий, определение условий и ограничений для реализации намечаемой деятельности.

**Ключевые слова:** очень низкоактивные отходы (ОНАО), пункт захоронения очень низкоактивных отходов, планируемая (намечаемая) деятельность, гамма-излучающие отходы, доза, активность, радиационный контроль, промышленные отходы.

## ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT DURING THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF A VERY LOW-LEVEL NUCLEAR WASTE DISPOSAL FACILITY

Fetisova Yu.A.<sup>1</sup>, Grishina O.M.<sup>2</sup>, Kuzin S.A.<sup>3</sup>

*Volgodonsk Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI", Volgodonsk, Russia*

<sup>1</sup> [julia\\_kurmak@mail.ru](mailto:julia_kurmak@mail.ru); <sup>2</sup> [lesia508@mail.ru](mailto:lesia508@mail.ru); <sup>3</sup> [kuzinsergey55@mail.ru](mailto:kuzinsergey55@mail.ru)

**Abstract.** The work examines the environmental impact assessment (EIA) of the planned (planned) economic and other activities - the construction of a disposal site for very low-level waste. The result of the EIA is a decision on the possibility or impossibility of carrying out the planned economic activity, as well as recommendations for the development of the necessary measures to prevent or reduce identified significant environmental consequences, determination of conditions and restrictions for the implementation of planned activities.

**Keywords:** very low-level waste (VLLW), disposal site for very low-level waste, planned (planned) activity, gamma-emitting waste, dose, activity, radiation control, industrial waste.

На сегодняшний день в отечественной атомной энергетике существует проблема обращения с очень низкоактивными отходами (ОНАО) атомных электростанций.

Промышленные отходы относятся к ОНАО, если:

- сумма отношений удельных активностей радионуклидов в отходах к значениям, приведённым в приложении 3 к ОСПОРБ-99/2010 (Удельные активности техногенных радионуклидов, при которых допускается неограниченное использование твёрдых материалов), превышает 1;

- сумма отношений удельных активностей радионуклидов в отходах к значениям, приведённым в Приложении к «Критериям отнесения твёрдых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам», утверждёнными постановлением Правительства РФ от

19.10.2012 № 1069 (Предельные значения удельной и объёмной активности радионуклидов в отходах для отнесения их к радиоактивным отходам), не превышает 1.

ОНАО являются твердыми промышленными отходами атомных станций, загрязненные или содержащие радионуклиды техногенного происхождения, но не относящиеся ни к радиоактивным отходам, ни к отходам производства и потребления.

Для обеспечения безопасного обращения с твердыми горючими и негорючими ОНАО на территории Ростовской АЭС принято решение о проектировании и строительстве пункта захоронения ОНАО объемом 11000 м<sup>3</sup>.

Основными этапами обращения с ОНАО на АЭС являются: сбор, сортировка, временное хранение, переработка, транспортирование и захоронение. Из всех этапов обращения с ОНАО главную проблему представляет безопасное захоронение отходов с учетом экономических факторов.

Для обеспечения безопасности захоронений ОНАО проводится прогнозная оценка безопасности населения и воздействия на окружающую среду (далее – оценка безопасности), способы захоронения и методы контроля обосновываются с помощью оценки безопасности и воздействия на окружающую среду.

В настоящее время ОНАО на Ростовской АЭС хранятся в ячейке 101/36 ОС ХТРО. Среднегодовое образование ОНАО на Ростовской АЭС составляет ~ 50 м<sup>3</sup> (с 4-х блоков). Пункты захоронения очень низкоактивных отходов (ОНАО) играют ключевую роль в системе обращения с радиоактивными отходами. Они предназначены для обеспечения безопасной и надёжной изоляции отходов от окружающей среды на протяжении установленного периода времени, который может составлять сотни лет.

В процессе эксплуатации АЭС образуются твердые очень низкоактивные производственные отходы III, IV, V классов опасности. Для размещения образующихся на Ростовской АЭС ОНАО существует **необходимость строительства** пункта захоронения ОНАО.

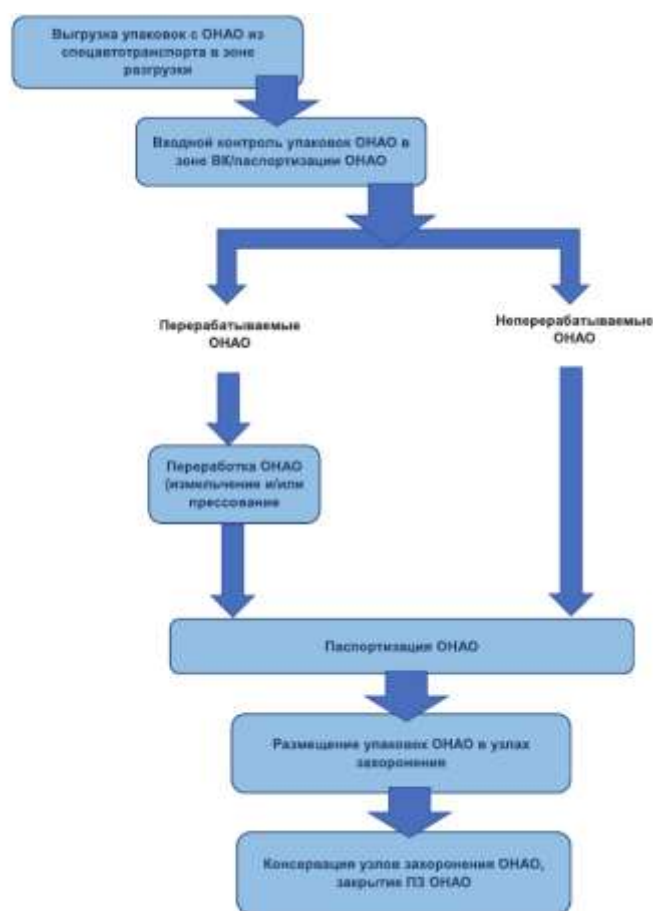


Рисунок 1 — Схема обращения с ОНАО в ПЗ ОНАО

Воздействие источников выброса загрязняющих веществ на период строительства и эксплуатации не окажет негативного влияния на окружающую среду.

По данным Северо-Кавказского УГМС и ФГБУ «НПО «Гайфун» среднегодовая объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в приземном слое атмосферы пунктов наблюдения на территории Ростовской области за период с 2017 по 2021 гг. приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Среднегодовая объемная активность радионуклидов в населённых пунктах Ростовской области,  $10^{-7}$  Бк/м<sup>3</sup>

Пункты наблюдения	$^{137}\text{Cs}$					$^{90}\text{Sr}$				
	2021 г.	2020 г.	2019 г.	2018 г.	2017 г.	2021 г.	2020 г.	2019 г.	2018 г.	2017 г.
Ростов-на-Дону	2,0	9,8	2,7	3,4	3,3	0,73	1,5	0,34	1,4	1,1
Цимлянск	2,5	7,4	2,3	2,5	1,5	0,91	0,42	0,37	0,69	1,5

По данным таблицы 1 в 2021 г. среднегодовая объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в пунктах наблюдения была на уровне 2018-2019 гг. (в 2020 г. наблюдалось повышение в 3,2-3,6 раза величин, наблюдавшихся в 2019 г.) и превышала в 1,05-1,32 раза средневзвешенную объёмную активность  $^{137}\text{Cs}$  по ЕТР ( $1,9 \times 10^{-7}$  Бк/м<sup>3</sup>).

Объёмная активность  $^{90}\text{Sr}$  в 2021 г. в Цимлянске была выше уровней 2020 г. в 2 раза, и превышала в 2 раза средневзвешенное значение по ЕТР ( $0,46 \times 10^{-7}$  Бк/м<sup>3</sup>).

Наблюдавшиеся объёмные активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  были на семь порядков ниже ДООА этих радионуклидов по СанПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009).

По данным отдела радиационной безопасности (ОРБ) Ростовской АЭС в 2020 г. среднегодовая объёмная  $\Sigma\beta$  в приземном слое атмосферы составляла: в СЗЗ –  $16 \times 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, в ЗН –  $16 \times 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, в контрольной точке (с. Дубовское – 36 км на юго-восток от АЭС) –  $17 \times 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>.

Объёмная активность  $^{137}\text{Cs}$  в атмосфере СЗЗ, ЗН и КП составляла  $4,8 \times 10^{-7}$ ,  $4,2 \times 10^{-7}$  и  $3,3 \times 10^{-7}$  Бк/м<sup>3</sup> соответственно. Объёмная активность  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{131}\text{I}$  и  $^{134}\text{Cs}$  в СЗЗ, ЗН и КП была ниже минимально детектируемой активности используемой аппаратуры.

В 2021 году среднегодовая объёмная  $\Sigma\beta$  в воздухе г. Цимлянска, расположенного в ЗН АЭС, по сравнению с 2020 г. уменьшилась в 1,2 раза и составила  $6,4 \times 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, что в 1,3 раза ниже средневзвешенной по территории юга ЕТР объёмной  $\Sigma\beta$  ( $8,5 \times 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>).

Среднегодовые суточные значения  $\Sigma\beta$  выпадений в пунктах наблюдения 100-км зоны Ростовской АЭС по данным Северо-Кавказского УГМС в 2021 г. составляли 0,5–1,1 Бк/м<sup>2</sup>×сут, в двух пунктах наблюдения уменьшились и в двух пунктах превысили средневзвешенные по югу ЕТР выпадения ( $0,73$  Бк/м<sup>2</sup>×сут).

По результатам проведенных в 2022 г. инженерно-экологических изысканий в соответствии с МУ 2.6.1.2398-08 на земельном участке, отведенном под объект, значение плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта в пределах площади застройки с учетом стандартной неопределенности измерений составляет менее  $20$  мБк×м<sup>-2</sup>×с<sup>-1</sup>.

Точки измерения, в которых значения ППР с поверхности грунта в пределах площади застройки, превышают  $80$  мБк×м<sup>-2</sup>×с<sup>-1</sup>, не выявлены.

Таким образом, плотность потока радона с поверхности грунта в пределах площади застройки не превышает величины, установленной п. 5.2.3 СП 2.6.1.2612-10 (ОСПОРБ-99/2010) ( $250$  мБк×м<sup>-2</sup>×с<sup>-1</sup>) для участков строительства зданий и сооружений промышленного значения.

Разработка радонозащитных мероприятий не требуется.

#### **Параметры очень низкоактивных отходов**

Для обоснования безопасности ПЗ ОНАО использована следующая информация об отходах: объем (масса) и вид отходов; характер радиоактивного загрязнения; удельная, поверхностная и суммарная активность, а также радионуклидный состав; физико-

химические свойства отходов; класс опасности отходов; концентрации опасных веществ в отходах, определяющих класс опасности.

Результаты измерений удельной активности ( $A_i$ ) радионуклидов, содержащихся в ОНАО сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений удельной активности радионуклидов, содержащихся в ОНАО

№ п/п	Код отхода по ФККО	Класс опасности отхода	Результаты измерений удельной активности радионуклидов, Бк/кг *					$\sum(A_i / \text{МЗУ}A_i)$	МЭД гамма-излучения, мкЗв/ч
			$^{54}\text{Mn}$	$^{60}\text{Co}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$\Sigma\beta$		
1	88512111723	III	$9,60 \times 10^2$	–	$8,00 \times 10^2$	–	$1,76 \times 10^3$	0,176	0,69
2	43819191523	III	–	$5,52 \times 10^3$	–	–	$5,52 \times 10^3$	0,552	0,71
3	44350111603	III	$9,60 \times 10^2$	–	–	$8,90 \times 10^2$	$1,85 \times 10^3$	0,185	0,69
4	91920401603	III	$5,60 \times 10^3$	–	$1,90 \times 10^2$	–	$5,79 \times 10^3$	0,579	0,83
5	49119711523	III	–	$7,92 \times 10^2$	–	$9,58 \times 10^2$	$1,75 \times 10^3$	0,175	0,45
6	72220001394	IV	–	$2,11 \times 10^2$	$8,36 \times 10^2$	–	$1,047 \times 10^3$	0,1047	0,36
7	88512211724	IV	$6,95 \times 10^3$	–	–	–	$6,95 \times 10^3$	0,695	0,75
8	88518111724	IV	–	$1,86 \times 10^3$	–	$2,05 \times 10^3$	$3,91 \times 10^3$	0,391	0,86
9	40211001624	IV	$6,08 \times 10^2$	–	$1,86 \times 10^3$	–	$2,468 \times 10^3$	0,2468	0,51
10	43114191524	IV	–	$2,69 \times 10^3$	$1,36 \times 10^2$	–	$2,826 \times 10^3$	0,2826	0,23
11	88513111514	IV	$5,83 \times 10^3$	$9,06 \times 10^2$	–	–	$6,736 \times 10^3$	0,6736	0,52
12	44313241524	IV	$5,06 \times 10^2$	$9,23 \times 10^2$	–	–	$1,429 \times 10^3$	0,1429	0,29
13	43510003514	IV	$9,00 \times 10^2$	–	$8,71 \times 10^2$	–	$1,771 \times 10^3$	0,1771	0,30
14	73339001714	IV	$9,47 \times 10^2$	$1,00 \times 10^3$	–	–	$1,947 \times 10^3$	0,1947	0,76
15	34190102204	IV	$5,83 \times 10^3$	–	–	–	$5,83 \times 10^3$	0,583	0,29
16	81111111494	IV	–	–	$1,96 \times 10^2$	$1,95 \times 10^3$	$2,146 \times 10^3$	0,2146	0,38
17	72874112395	V	–	$3,50 \times 10^3$	–	$1,00 \times 10^2$	$3,60 \times 10^3$	0,36	0,24

\* суммарная удельная активность альфа-излучающих радионуклидов ( $\Sigma\alpha$ )  $\leq$  НПДИ (0,05 Бк (имп./с));  
удельная активность  $^{90}\text{Sr}$   $\leq$  НПДИ (0,1 Бк (имп./с))

Таким образом, в соответствии с результатами измерения удельной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов промышленные отходы, образующиеся в Филиале АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», относятся к ОНАО.

Выводы:

На основании проведенной оценки воздействия можно сделать вывод, что безопасность пункта захоронения обеспечивается последовательной реализацией концепции глубоко-эшелонированной защиты, основанной на применении системы физических барьеров.

Строительство и эксплуатация ПЗ ОНАО не окажет негативного воздействия на окружающую среду.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка воздействия на окружающую среду, ООО «Спецпроект», Санкт-Петербург, 2022 г.- 755 с.
2. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010). – Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_103742](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103742) (дата обращения: 17.07.2024)
3. СП 2.6.6.2572-2010. Обеспечение радиационной безопасности при обращении с промышленными отходами атомных станций, содержащими техногенные радионуклиды. – Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_97962/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_97962/). (дата обращения: 18.07.2024)
4. Проектная документация ООО «Спецпроект», Санкт-Петербург, 2022 г. - 3547 с.
5. Международный опыт по захоронению радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива. Обзор литературы SKB International Consultant АВ Июнь 2009 г — 162 с.

УДК 621.646, 621.3.08

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ И ТАРИРОВКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА АРМАТУРЫ АЭС

Цыхлер Л.В.<sup>1</sup>, Егорова В.П., Лапкис А.А., Никифоров В.Н.

*НИИ АЭМ, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия  
nii\_energomash@mail.ru*

**Аннотация.** В докладе описан результат выполнения НИОКР по разработке переносного комплекса для проведения оперативной безразборной диагностики и тарировки ограничителей крутящего момента электроприводной арматуры (ЭПА) по месту её эксплуатации (ПК ОКМП). Приведён анализ неопределённости результата тарировки электропривода, которую вносит сама процедура тарировки. Разработана методика прямого и косвенного измерения крутящего момента затяга ЭПА.

**Ключевые слова:** трубопроводная арматура, электропривод, АЭС, техническая диагностика, базовые испытания, крутящий момент.

## DEVELOPMENT OF A COMPLEX FOR OPERATIONAL DIAGNOSTICS AND CALIBRATION OF THE NPP ELECTRIC VALVE DRIVE

Tsykhler<sup>1</sup> L.V., Egorova V.P., Lapkis A.A., Nikiforov V.N.

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”  
Volgodonsk, Russia  
<sup>1</sup>nii\_energomash@mail.ru*

**Abstract.** The report describes the result of R&D on the development of a portable complex for operational non-disassembly diagnostics and calibration of torque limiters of electric drive valves (EDV) at the place of its operation (PC TLED). The analysis of the uncertainty of the calibration result of the electric drive, which is introduced by the calibration procedure itself, is given. A technique for direct and indirect measurement of the torque of the EPA tightening has been developed.

**Keywords:** pipeline valves, electric drive, NPP, technical diagnostics, basic test, torque.

Значительная часть дефектов электроприводной арматуры (ЭПА) АЭС, возникающих при эксплуатации, представляет собой негерметичность в затворе и различного рода дефекты подвижных частей – тугий ход, низкая плавность хода, заклинивание, отсутствие затяга запорного органа, отрыв штока и т.д. Часть таких дефектов носит износостойкий характер, а часть – обусловлена некорректной настройкой моментных и концевых выключателей привода [1-3]. С целью повышения качества выявления как износостойких дефектов, так и проблем настройки электропривода, НИИ атомного энергетического машиностроения (НИИ АЭМ) ВИТИ НИЯУ МИФИ выполнил в 2022-2024 гг. в интересах АО «Концерн Росэнергоатом» НИОКР по разработке переносного диагностического комплекса ПК ОКМП.

ПК ОКМП представляет собой двухуровневую систему. Нижний уровень реализован в виде переносного прибора, выполненного в форм-факторе кейса (рисунок 1). Верхний

уровень представляет собой специализированное программное обеспечение, работающего на рабочем месте оператора-диагноста (рисунок 2) под управлением Astra Linux, требуемой заказчиком.

ПК ОКМП совмещает функции оперативной диагностики ЭПА по сигналам силы тока и напряжения питающей сети привода с его тарировкой путём одновременной регистрации указанных электрических параметров и крутящего момента по месту эксплуатации ЭПА.

ПК ОКМП включает преимущественно российские и белорусские компоненты: измерительный преобразователь напряжения, первичные преобразователи силы тока, напряжения и крутящего момента.

С опорой на ранние работы [4], [5] в качестве методического обеспечения ПК ОКМП разработаны:

- методика диагностирования и тарировки электропривода ЭПА;
- методики измерения диагностических величин: силы тока и напряжения питающей сети, прямого измерения крутящего момента, косвенного измерения крутящего момента по электрическим сигналам.

Тарировка электропривода обеспечивается путём одновременной регистрации электрических сигналов и фактического крутящего момента электропривода на месте его установки на ЭПА [6]. Для установки датчика крутящего момента между арматурой и электроприводом применяется специально разработанная оснастка. К настоящему моменту разработан ряд комплектов оснастки для приводов с присоединительными размерами, соответствующими ГОСТ 34287-2017.



Рисунок 1 – Общий вид ПК ОКМП



Рисунок 2 – ПО стационарного модуля ПК ОКМП

При разработке методики косвенного измерения крутящего момента впервые проведена оценка погрешности тарировки электропривода в целях метрологической аттестации методики. Так, для экспериментальных задвижек DN125 и DN150 показано, что при многократных замерах крутящего момента с неизменной настройкой электропривода, расчётный крутящий момент определяется, как показано в таблице 1. Коэффициент связи здесь определяется как величина, связывающая изменение мощности ЭПА ( $P$ ) с изменением её крутящего момента ( $M$ ).

$$K_{св} = \frac{\Delta M}{\Delta P}$$

Таблица 1 – Результаты анализа неопределенности при тарировке электропривода задвижки DN150

Номер опыта	Коэффициент связи, Н·м/Вт	Расчётный крутящий момент затяга ЭПА, Н·м	Номер опыта	Коэффициент связи, Н·м/Вт	Расчётный крутящий момент затяга ЭПА, Н·м
1	0,621	46,675	9	0,700	50,875
2	0,602	42,075	10	0,666	46,175
3	0,573	48,975	11	0,629	52,375
4	0,637	48,275	12	0,592	45,175
5	0,629	48,175	13	0,657	51,275
6	0,624	48,375	14	0,620	50,075
7	0,631	46,375	15	0,564	52,875
8	0,700	50,875	16	0,600	51,175
<b>Результаты обобщения</b>					
Величина		Коэффициент связи, Н·м/Вт	Расчётный крутящий момент затяга ЭПА, Н·м		
Математическое ожидание		0,623	48,6		
Стандартное отклонение		0,035	2,96		
Относительная погрешность (коэффициент вариации)		5,6	6,1		

Испытания в целях утверждения типа средства измерения показали, что погрешность измерения крутящего момента ПК ОКМП не превышает 0,6-0,8 Н·м. Таким образом, общая погрешность тарировки может быть определена как суперпозиция погрешности снятия тарировочной характеристики и погрешности расчёта по ней крутящего момента.

Итоговая погрешность составила не более 6,5 % от действующей величины момента затяга. Учитывая требование НП-068-05 [7] по 10%-й точности срабатывания ОКМП привода, результаты тарировки могут считаться достоверными и корректно описывать техническое состояние и правильность настройки блока выключателей электропривода арматуры АЭС.

Таким образом, после внедрения результатов НИОКР специализированные подразделения атомных станций АО «Концерн Росэнергоатом» получают новые возможности по контролю технического состояния ЭПА. Опытная эксплуатация разработанного комплекса пройдет на Нововоронежской АЭС, после этого разработка может быть применена на других АЭС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слепов М.Т., Сысоев Н.П. Диагностика ЭПА - опыт работы Нововоронежской АЭС // Глобальная ядерная безопасность. 2014. №2 (11). с. 79-85. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-epa-opyt-raboty-novovoronezhskoy-aes> (дата обращения: 10.07.2024)
2. СТО 1.1.1.02.002.1857-2021 Техническое диагностирование электроприводной трубопроводной промышленной арматуры на энергоблоках атомных станций. АО «Концерн Росэнергоатом». Стандарт организации – Москва, 2021. – 60с.
3. МТ 1.2.3.02.999.0085-2010 «Диагностирование трубопроводной арматуры. Методика», НИИ «Энергомашиностроения», 2010. - 127с
4. Синельщиков П.В., Бабенко Р.Г. Расчет крутящего момента электроприводной арматуры по сигналам тока и напряжения // Глобальная ядерная безопасность. 2014. №4 (13). с. 28-31. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-krutyaschego-momenta-elektroprivodnoy-armatury-po-signalam-toka-i-napryazheniya> (дата обращения: 12.07.2024)
5. Лапкис А.А., Никифоров В.Н., Калашников М.В., Цыхлер Л.В. Неиспользованный потенциал базовых испытаний электроприводов трубопроводной арматуры АЭС для решения задач оперативного дистанционного контроля её технического состояния // XIX Международная научно - практическая конференция «Безопасность ядерной энергетики». 2023. с. 19-21. Режим доступа: <http://nps.viti-merphi.ru/ru/arhiv-konferencii> (дата обращения: 09.07.2024)
6. Лапкис А.А., Швец Д.В., Абидова Е.А., Дембицкий А.Е. Расчетный метод контроля состояния электропривода запорной арматуры. Автоматизация в промышленности. 2022. № 1. С. 45-50. Режим доступа: [https://avtprom.ru/system/files/DOI/2022/1/10.\\_lapkis.pdf](https://avtprom.ru/system/files/DOI/2022/1/10._lapkis.pdf) (дата обращения: 07.07.2024)
7. НП-068-05. Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические требования. Режим доступа: [http://cntr-nrs.gosnadzor.ru/about/AKTS/НП-068-05%20Трубопроводная%20арматура%20для%20атомных%20станций.%20Общие%20технические%20требования\\_Текст.pdf](http://cntr-nrs.gosnadzor.ru/about/AKTS/НП-068-05%20Трубопроводная%20арматура%20для%20атомных%20станций.%20Общие%20технические%20требования_Текст.pdf) (дата обращения: 08.07.2024)

УДК 621.039.01

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ПОРИСТОГО ТЕЛА

Яуров С.В.<sup>1</sup>, Гусев П.Ю.<sup>2</sup>, Гусев К.Ю.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция», Нововоронеж, Россия

<sup>2,3</sup> "Воронежский государственный технический университет", Воронеж, Россия

<sup>1</sup> [YaurovSV@nvnpp1.rosenergoatom.ru](mailto:YaurovSV@nvnpp1.rosenergoatom.ru); <sup>2</sup> [pgusev@cchgeu.ru](mailto:pgusev@cchgeu.ru); <sup>3</sup> [gussev\\_konstantin@mail.ru](mailto:gussev_konstantin@mail.ru)

**Аннотация.** В работе представлены результаты применения подхода в моделировании режимов работы оборудования сложных технологических систем с применением модели пористого тела. Расчеты проводились для прогнозирования режимов работы регенеративного теплообменного аппарата системы продувки парогенераторов энергоблоков №1,2 Нововоронежской АЭС-2. Данный подход применим в случае, когда в результате моделирования требуется спрогнозировать режимы работы технологической системы в целом при этом локальные процессы возникающие внутри оборудования не моделируются. Подход позволяет сократить затраты времени на построение трехмерных расчетных моделей сложного оборудования в составе технологических систем, а также на проведение теплогидравлических расчетов этих систем.

**Ключевые слова:** градирня, атомная электрическая станция, АЭС-2006, продувка, эксплуатация, основная охлаждающая вода, модель пористого тела

## MATHEMATICAL MODELING OF OPERATING MODES OF EQUIPMENT OF COMPLEX TECHNOLOGICAL SYSTEMS USING A POROUS BODY MODEL

**Yaurov S.V.<sup>1</sup>, Gusev P.Yu.<sup>2</sup>, Gusev K.Yu.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Branch of JSC Concern Rosenergoatom Novovoronezh Nuclear Power Plant, Novovoronezh, Russia

<sup>2,3</sup> Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

<sup>1</sup>YaurovSV@nvnpp1.rosenergoatom.ru; <sup>2</sup>pgusev@cchgeu.ru; <sup>3</sup>gussev\_konstantin@mail.ru

**Abstract.** The paper presents the results of the application of the approach in modeling the operating modes of equipment of complex technological systems using a porous body model. Calculations were carried out to predict the operating modes of the regenerative heat exchanger of the purge system of steam generators of power units No. 1,2 of Novovoronezh NPP-2. This approach is applicable in the case when, as a result of modeling, it is required to predict the operating modes of the technological system as a whole, while local processes occurring inside the equipment are not simulated. The approach makes it possible to reduce the time spent on building three-dimensional computational models of complex equipment as part of technological systems, as well as on conducting thermohydraulic calculations of these systems.

**Keywords:** cooling tower, nuclear power plant, NPP-2006, purging, operation, main cooling water, porous body model.

Авторами представлены результаты апробации подхода в CFD моделировании, с применением модели пористого тела. Этот подход используется при решении задач по прогнозированию параметров/режимов работы оборудования или технологической системы в целом. Суть подхода заключается в следующем: сложная геометрия системы/оборудования заменяется сплошной средой с эквивалентным гидравлическим сопротивлением. За счет существенного уменьшения числа элементов в геометрии расчетной области значительно сокращаются затраты вычислительных ресурсов. Упрощения и допущения принимаются на этапе выбора и построения расчетной области.

Основные этапы применения модели пористого тела при проведении теплогидравлических расчетов указаны в [1].

**Объект моделирования.** Исходным объектом моделирования с типовой геометрией для проведения численного моделирования является регенеративный теплообменный аппарат со спирально навитыми трубками (РТО).

Данный теплообменник применен в составе технологической системы продувки и дренажей парогенераторов Нововоронежской АЭС-2. Основные характеристики при номинальном режиме работы РТО указаны в [2]. Общий вид теплообменника (РТО) представлен на рисунке 1а.

Особенностью конструкции РТО являются спирально-навитые теплообменные трубки, при этом шаг навивки трубок (как и их длина) является величиной переменной и зависит от порядкового номера ряда. Очевидно, разработка трехмерной геометрии такой конфигурации напрямую является достаточно трудоемким процессом.

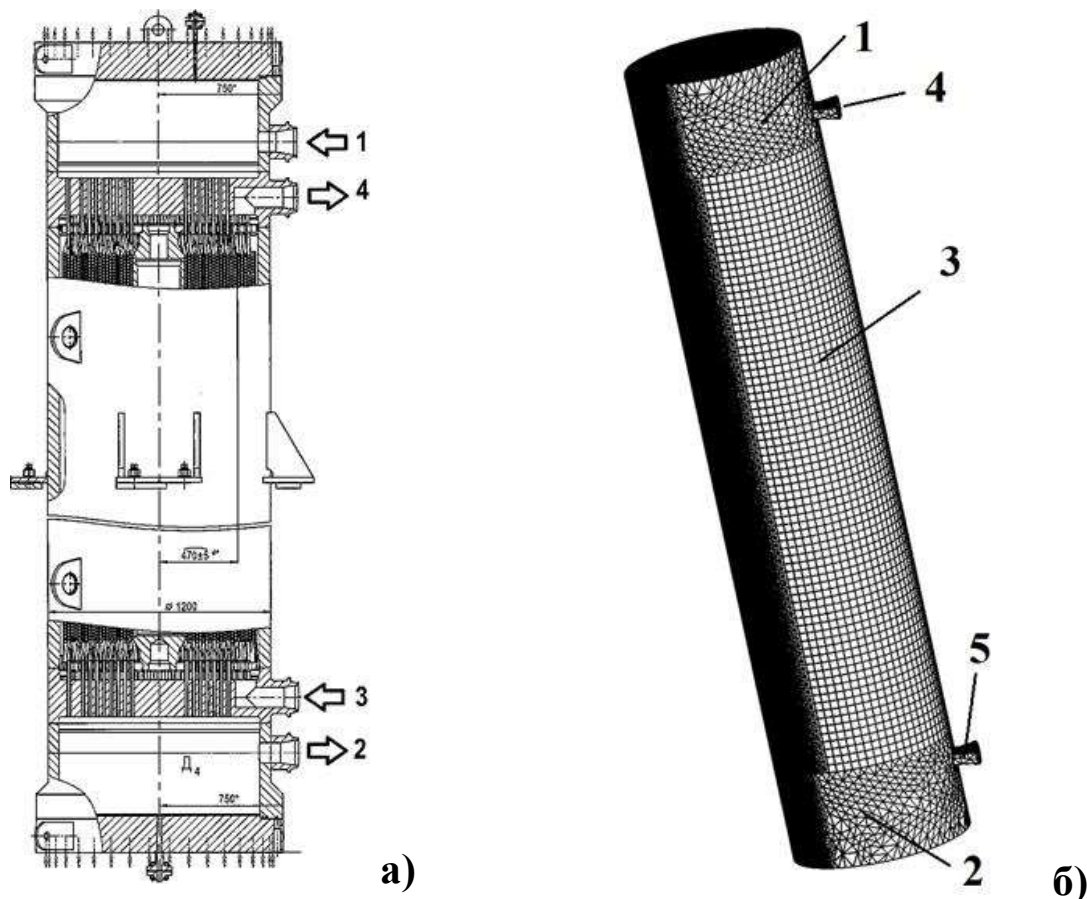


Рисунок 1– а) общий вид теплообменника (РТО):  
 1 – патрубок входа охлаждаемой среды; 2 – патрубок выхода охлаждаемой среды; 3 – патрубок входа охлаждающей среды; 4 – патрубок выхода охлаждающей среды  
 б) расчетная область РТО:  
 1 – верхняя камера РТО; 2 – нижняя камера РТО; 3 – область модели пористого тела; 4 – патрубок входа охлаждаемой среды; 5 – патрубок выхода охлаждаемой среды.

При моделировании номинального режима работы теплообменника с помощью модели пористого тела выбран следующий подход:

1) разработана полномасштабная трехмерная модель теплообменника, за исключением области размещения спиральных теплообменных трубок. Эта область заменена цилиндром (поз. 3 на рисунке 1б);

2) спиральные трубки условно разбиты на 7 групп. Для этих групп построены трехмерные геометрии в виде полых цилиндров (рисунок 2). Каждая группа является пористым телом. Для каждой группы разработана полноразмерная фигура-аналог (расчетная область) в рамках геометрии РТО;

3) для каждой группы были определены зависимости коэффициентов сопротивления трению согласно [3, 4].



Рисунок 2 - группы полых цилиндров – заменителей спиральных теплообменных трубок в составе расчётной модели

Результаты расчета режима работы регенеративного теплообменника и сравнение с реальными его характеристиками представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета режима работы РТО

Параметр	Расчётное значение	Проектное (реальное) значение	$\Delta$ , %
Давление среды, МПа	6,891	6,9	0,12
Температура на входе в РТО охлаждаемой среды (трубное пространство), °С	285	285	*
Температура на выходе из РТО охлаждаемой среды из ПГ (трубное пространство), °С	96,2	$\leq 100$	4
Расход среды, т/ч	140	140	*
* - параметр использовался в качестве граничных условий в расчётной модели			

Сравнительный анализ полученных расчетных и реальных характеристик регенеративного теплообменника показал, что разработанная расчетная модель в полном объеме описывает течение теплоносителя в трубном пространстве, а коэффициенты гидравлического сопротивления выбраны правильно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Математическое моделирование теплогидравлических процессов методом пористого тела / Яуров С.В., Гусев П.Ю., Гусев К.Ю. // Системы управления и информационные технологии. – 2024. – №2(96). – С.24-29.
2. Расчетно-экспериментальное обоснование повышения эффективности регенеративного теплообменника системы продувки парогенераторов проекта АЭС-2006 (РУ В-392М) / Яуров С.В., Боровой А.В., Юдин А.В., Болгов М.В., Данилов А.Д. // , Известия вузов. Ядерная энергетика, – 2022, –№2, –С.27-36.
3. Кириллов П.Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике. / П.Л. Кириллов, В.П. Бобков, А.В. Жуков, Ю.С. Юрьев – М.: ИздАт, 2010. – 776с.
4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям (под ред. М.О. Штейнберга) 3-е изд., перераб. и доп. / И.Е. Идельчик – М.: Машиностроение; 1992, – 672 с.

---

---

**СЕКЦИЯ**  
**СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ**  
**И СООРУЖЕНИЙ АЭС**

---

---

УДК 69.055

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**  
**СТРОИТЕЛЬСТВОМ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ**  
**«ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СТРОИТЕЛЬСТВА»**

**Бондаренко О.Н.<sup>1</sup>, Заяров Ю.В.<sup>2</sup>, Цуверкалова О.Ф.<sup>3</sup>**

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия*  
<sup>1</sup>oli25112@mail.ru ; <sup>2</sup>yvzayarov@mephi.ru

**Аннотация:** В данной статье представлена система дистанционного мониторинга за процессом строительства, которая демонстрирует большую эффективность по сравнению с классическими способами контроля возведения зданий. Это нововведение способствует обеспечению полноты и достоверности информации, а также позволяет ускорить процесс строительства и сократить трудозатраты.

**Ключевые слова:** строительство, дистанционный мониторинг, традиционный контроль, НЛС, БАС.

**IMPROVEMENT OF THE CONSTRUCTION MANAGEMENT SYSTEM THROUGH**  
**THE INTRODUCTION OF THE "REMOTE MONITORING OF CONSTRUCTION"**  
**SYSTEM**

**Bondarenko O.N.<sup>1</sup>, Zayarov Yu.V.<sup>2</sup>, Tsuverkalova O.F.<sup>3</sup>**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute – branch of National Research  
Nuclear University "MEPhI", Russia*  
<sup>1</sup>oli25112@mail.ru ; <sup>2</sup>yvzayarov@mephi.ru

**Abstract.** This article presents a remote monitoring system for the construction process, which demonstrates greater efficiency compared to classical methods of monitoring the construction of buildings. This innovation helps to ensure the completeness and reliability of information, as well as to speed up the construction process and reduce labor costs.

**Keywords:** construction, remote monitoring, traditional control, radar, GBLS, UAS.

Госкорпорация Росатом с каждым годом увеличивает объёмы строительства объектов атомной энергетики в России и за рубежом. Однако отсутствие качественного строительного контроля может привести к непредвиденным расходам, нарушению сроков строительства, усложнению взаимодействия между участниками строительства и заинтересованными ведомствами, особенно при реализации международных проектов. В связи с этим необходимо выбрать систему контроля строительства, которая будет предоставлять оперативные, объективные и актуальные данные на всех этапах строительства.

В наше время, когда наука и техника развиваются стремительными темпами, появилась возможность создать систему дистанционного контроля, которая позволит ускорить строительство, сделать его более контролируемым и менее трудозатратным, а также улучшить информирование о том, что происходит на стройплощадках.

Для Госкорпорации «Росатом», у которой много заказов на строительство, дистанционный контроль — один из самых действенных способов управления в строительной отрасли. Если внедрить дистанционный мониторинг повсеместно, можно будет следить за состоянием проектов на расстоянии, не нужно будет каждый день приезжать на стройплощадки и собирать информацию из разных источников.[1]

Преимущества дистанционного контроля включают:

- возможность прогнозирования сроков строительства и выявления потенциальных рисков;
- доступ к точной и объективной информации о состоянии строительной площадки, которая регулярно обновляется;
- высокую точность и прозрачность полученных данных;
- экономию денежных средств;
- создание единого информационного пространства для всех участников проекта;
- обеспечение охраны труда и безопасности на стройплощадке.

Методы дистанционного мониторинга могут быть эффективно применены на различных этапах строительства.

Платформа для сбора, обработки и анализа данных дистанционного мониторинга строительных работ может стать незаменимым инструментом для всех участников строительного процесса. Современные технологии позволяют настроить различные уровни доступа к информации, что делает возможным безопасное использование платформы всеми заинтересованными сторонами.

Особенно актуальным становится вопрос создания единой платформы под управлением технического заказчика, которая будет осуществлять дистанционный мониторинг всех строительных объектов. Это позволит оптимизировать процессы управления проектами, повысить эффективность работы и обеспечить высокое качество строительства.

Данные спутникового мониторинга играют ключевую роль в процессе планирования и выбора площадки для строительства. Они предоставляют застройщику и техническому заказчику ценную информацию, необходимую для принятия обоснованных решений на ранних стадиях проекта.

Данные, полученные с использованием БВС, имеют важное значение для большинства участников строительного процесса. Например, генподрядчику, субподрядчикам и поставщикам материалов они помогают оценить объём выполненных земляных работ и количество поставленных сыпучих материалов. Для строительного контроля, генерального проектировщика и субпроектировщиков важны результаты геодезических работ. Управляющий проектом (технический заказчик), застройщик и авторский надзор нуждаются в объективной информации о ходе строительства. [2]

Такие данные особенно актуальны для управляющего проектом (технического заказчика), генподрядчика и субподрядчиков, строительного контроля и авторского надзора. Видеоаналитика, IoT датчики и способы идентификации техники и материалов могут помочь повысить эффективность бизнеса и увеличить норму прибыли. Как правило, именно эти участники являются заказчиками подобных услуг. Поставщиками услуг и (или) оборудования и программного обеспечения выступают специализированные компании.

Давайте подробнее рассмотрим такие методы контроля, как беспилотные авиационные системы и наземное лазерное сканирование.

Наземное лазерное сканирование (НЛС) – это передовая технология, которая позволяет создавать трехмерные модели объектов с высокой степенью детализации. Система работает путем измерения расстояний от сканера до точек объекта с очень высокой скоростью – от нескольких тысяч до миллиона точек в секунду. Одновременно регистрируются вертикальные и горизонтальные углы, что позволяет сформировать трехмерное изображение объекта в виде облака точек.

Благодаря НЛС можно оперативно собрать огромное количество данных и создать точную 3D-модель объекта. Это открывает широкие возможности для хранения и использования детальной информации об объектах в электронном виде. Такие данные могут быть применены в различных компьютерных программах для планирования реконструкций, ремонтных и строительных работ, что значительно повышает эффективность и качество этих процессов.

Задачи, которые можно решить с помощью НЛС:

- проектирование или топографическая съёмка элементов инфраструктуры, промышленных сооружений.
- создание 3D-моделей рельефа, сложных технологических объектов.
- получение информации о количестве насыпей и выемок грунта для предприятий горной промышленности.
- слежение за деформациями готовых или строящихся объектов.
- сбор данных для дальнейшего строительства объекта, его полной или частичной реконструкции, планового ремонта.

Эти задачи можно эффективно решать с помощью наземного лазерного сканирования.

Беспилотные авиационные системы (БАС) представляют собой летательные аппараты, способные выполнять различные задачи без участия человека. Они могут управляться дистанционно или работать автономно благодаря встроенным программно-управляемым планам полёта. БАС оснащены различными бортовыми датчиками и системой глобального позиционирования (GPS), что позволяет им собирать и передавать данные для анализа и обработки.

Профессиональные картографические беспилотники оборудованы геодезическими приёмниками, которые обеспечивают точное определение координат центров фотографирования. Это позволяет создавать высокоточные цифровые модели местности, исключая необходимость проведения избыточных полевых геодезических работ.

Беспилотные авиационные системы (БАС) открывают новые горизонты в решении разнообразных задач. С их помощью можно:

- создавать ортофотопланы, топопланы и 3D-модели местности.
- анализировать ход работ, сравнивая результаты наземного лазерного сканирования за разные даты или сопоставляя данные НЛС с BIM-моделью, включая график строительства. Это позволяет проводить расчёты, связанные с земляными работами, такие как баланс земляных масс, оптимизация террасирования и прокладки дорог, а также оценивать объём выполненных работ за указанный период и проводить план-фактный анализ земляных работ.
- выявлять отклонения от проекта, сравнивая данные НЛС с BIM-моделью или 3D-моделью, включая расположение объектов.
- осуществлять детальное управление проектом.
- проводить инвентаризацию сыпучих материалов.
- обеспечивать контроль безопасности на строительных площадках.

Исходя из всего вышесказанного, можно заключить, что традиционный подход во многих аспектах проигрывает дистанционному методу, что делает его использование более предпочтительным.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единые отраслевые методические рекомендации Госкорпорации «Росатом» по осуществлению строительного контроля [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eosdo.rosatom.local/> Дата обращения: (20.07.2024)
2. Единые отраслевые методические рекомендации Госкорпорации «Росатом» по оценке экономической эффективности компонентов программы «Цифровой Росатом» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eosdo.rosatom.local/> Дата обращения: (20.07.2024)

## СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ВИДМАНШТЕТТОВОЙ СТРУКТУРЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОТВЕТСТВЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Бурдаков С.М.<sup>1</sup>, Заяров Ю.В.<sup>2</sup>

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

*<sup>1</sup>SMBurdakov@mephi.ru, <sup>2</sup>YVZayarov@mephi.ru*

**Аннотация.** Приводятся данные по определению влияния вспомогательного электрического, сконцентрированного, высокоинтенсивно-импульсного воздействия (QPS40) на содержание видманшеттовой структуры в полученных сварных соединениях-образцах ответственных строительных металлических конструкций, при сварке в процессе перекристаллизации.

Даны результаты оценки микроструктуры по зонам дендритов области термического влияния (ЗТВ), линии-границы сплавления. При этом размер равноосных зерен зоны термического влияния в месте сплавления без использования QPS40 больше, чем по предлагаемой технологии с использованием QPS40.

В ЗТВ без QPS40 присутствие видманшеттовой структуры может быть охарактеризовано четвертым баллом-эталонном. В ЗТВ с QPS40 видманшеттова структура может быть оценена третьим баллом-эталонном. Снижение эталонного балла оценки наличия видманшеттовой структуры, а также полученного номера зерна, можно сказать об общей тенденции к получению мелкозернистой структуры исследуемого соединения в связи с применением технологии сварки с QPS40.

**Ключевые слова:** строительные металлические конструкции, эксплуатация, видманшеттовая структура, сварные соединения, структура металла, ручная дуговая сварка, высокоинтенсивно-импульсное воздействие, зона термического влияния, феррит, мелкозернистая структура, граница зерен.

## REDUCTION OF THE LEVEL OF WIDEMANNETTE STRUCTURE OF WELDED JOINTS OF CRITICAL BUILDING METAL STRUCTURES

Burdakov S.M.<sup>1</sup>, Zayarov Yu.V.<sup>2</sup>

*Volgodonsk Engineering Technical Institute – branch of National Research  
Nuclear University "MEPhI", Russia*

*e-mail: <sup>1</sup>SMBurdakov@mephi.ru, <sup>2</sup>YVZayarov@mephi.ru*

**Abstract.** The data on determination of the effect of auxiliary electric, concentrated, high-intensity-pulse action (QPS40) on the content of vidmanstett structure in the obtained welded sample joints of critical building metal structures during welding during recrystallization are given.

The microstructure was evaluated by the studied zones of dendrites of the heat-affected zone, fusion line. The size of equiaxed grains of the heat-affected zone (HAZ) at the fusion line without using QPS40 is larger than according to the proposed technology using QPS40.

In a HAZ without QPS40, the presence of a vidmanstett structure can be characterized by a fourth reference score. In HAZ with the QPS40 of vidmannstett, the structure can be evaluated by the third reference point.

A decrease in the reference score for the assessment of the presence of a vidmannstett structure, as well as the obtained grain number, can be said about the general tendency to obtain a fine-grained structure of the test compound in connection with the use of welding technology with QPS40.

**Keywords:** building metal structures, operation, vidmannstett structure, welded joints, metal structure, manual arc welding, high-intensity pulsed impact, heat-affected zone, ferrite, fine-grained structure, grain boundary.

Одним из факторов, на который стоит обратить внимание, оказывающим влияние на улучшение безопасной и надежной эксплуатации ответственных строительных металлических конструкций, объектов тепловой и атомной энергетики, является повышение их качества изготовления и монтажа. Существенным влиянием на осуществление этого фактора, является улучшение качества и служебных свойств сварных соединений, как способа соединения, элементов металлических конструкций [1].

На основе исследований, в рамках работ [2, 3] по изучению структуры металла сварных соединений, выполненных ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, можно

сказать о наличии в них так называемой видманштеттовой структуры, отличающейся геометрически правильно расположенными элементами кристаллической структуры в виде игл внутри зёрен [4].

Возникновение видманштеттовой структуры в сварных соединениях, ведет к снижению ударной вязкости, пластичности и прочности металла, повышается охрупчивание, особенно на стадии воздействия динамических нагрузок высокой интенсивности.

Степень оценки наличия видманштеттовой структуры может быть оценена в соответствие с балло-эталонной градацией ГОСТ5640-2020 [5].

Повышение качества и служебных свойств сварных соединений, возможно за счет воздействия на процесс их получения, влияющее на структуру металла соединения высокоинтенсивно-сконцентрированным импульсным воздействием, для ее измельчения в процессе перекристаллизации (QPS40).

Для исследования структуры в сварном шве в работе [2, 6], проводились изыскания со специальными образцами, изготовленными с помощью ручной дуговой сварки (QPS40) покрытыми электродами и предложенной технологии с наложением на плазму дуги и сварочный контур, импульсного воздействия (электрическое напряжение комбинированной системы питания –  $U_{\text{имп.генер.}}=80,000\text{В}$ , частота импульсов –  $f_{\text{имп.генер.}}=40,000\text{кГц}$ , сварочный ток –  $I_{\text{св.проц}}=100,000\text{А}$ ). Выполнялась оценка микроструктуры по области столбчатых и равноосных дендритов, ЗТВ, граничной области сплавления. Было определено, что размер равноосных зёрен ЗТВ у линии сплавления при базовом варианте (без QPS40) больше (номер эталона зерна  $G_{1_3}=\text{№}1$ ), чем по предлагаемой технологии (с QPS40) (номер эталона зерна  $G_{2_3}=\text{№}2$ ) [2, 6].

В ЗТВ без QPS40 (рис.1а) присутствие видманштеттовой структуры может быть оценено по баллу-эталону: четыре [5], и охарактеризовывается как четко определенная видманштеттова структура с многочисленным числом удлиненных игл-элементов, отходящих от ферритовой сетки-структуры по границам зёрен-кристаллитов. В ЗТВ с QPS40 (рис.1б) видманштеттова структура по [5] может быть оценена по баллу-эталону: три [5] и выглядит как структура с большим числом истонченных игольчатых элементов внутри зёрен-кристаллитов направленных от сетки по их границам.

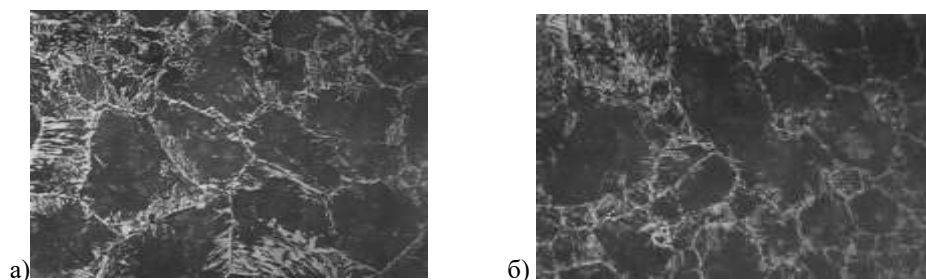


Рисунок 1 – Зона термического влияния (ЗТВ), с QPS40 (а), и без QPS40 (б), кратность увеличения  $\times 100$  раз.

Снижение эталонного балла оценки наличия видманштеттовой структуры, а также полученного номера зерна, может указывать на общую тенденцию получения мелкозернистой структуры исследуемого соединения, в связи с применением технологии сварки с QPS40. Рассмотренное строение кристаллических областей шва с низкой и стандартной зернистостью, в том числе ЗТВ, может использоваться как фактор для дополнительных изысканий связанных с анализом служебно-прочностных характеристик образцов-эталонных выполненных из их металла при разных условиях и параметрах ведения процесса сварки металлических конструкций.

Полученные в рамках работы [7] результаты свидетельствуют о положительном влиянии мелкозернистой структуры, в том числе полученным снижением уровня видманштеттовости на ударную вязкость металла сварного соединения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдаков С.М., Козловцев В.М. Исследование параметров дугового разряда с комбинированной системой питания / С.М. Бурдаков, В.М. Козловцев // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 2(11). – С. 54-58.
2. 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.
3. Бурдаков, С.М. Обоснование получения мелкозернистой структуры сварных соединений при высокоинтенсивном импульсном воздействии на сварочный контур / С.М. Бурдаков, В.И. Ратушный, Ю.В.Заяров // Глобальная ядерная безопасность. – 2023. – №4. – С. 27–31.
4. Специальные материалы, составы, смеси, покрытия. Видманштеттова структура [Электронный ресурс] // сайт большая российская энциклопедия (Автономная некоммерческая организация «Национальный научно-образовательный центр «Большая российская энциклопедия»). Режим доступа: <https://bigenc.ru/c/vidmanshtettova-struktura-39576f> (дата обращения: 19.07.2024).
5. ГОСТ 5640-2020. Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры проката стального плоского // Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – Режим доступа: [https://consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_375099/](https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375099/) (дата обращения: 19.07.2024).
6. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна" (ред. от 01.03.1987) // Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <https://consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=18004#A8ojzIU0ecSIUyQJ2> (дата обращения: 19.07.2024).
7. Бурдаков С.М. Механизм повышения ударной вязкости соединений при импульсном воздействии на сварочный контур / С.М. Бурдаков // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 3(20). – С. 51-56.

УДК 666.322.4

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

**Кулягина С. С., Ткачев В.Г., Гейдарова А.Н.**

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия  
kkulyagina.1979@gmail.com*

**Аннотация.** Строительная отрасль активно ищет новые экологичные материалы из природных источников. Особое внимание привлекают бентониты – минералы с высокой адсорбционной способностью. Их способность связывать вещества и поглощать жидкости, а также доступность и невысокая стоимость делают их идеальным решением для строительства ядерных объектов. В статье рассматриваются свойства, преимущества и области применения материалов, полученных из бентонита, а также приводятся примеры их использования в строительстве.

**Ключевые слова:** бентонит, бентонитовые материалы, строительство, глина, блоки, атомная промышленность.

## IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF WATERPROOFING OF CRITICAL FACILITIES USED IN NUCLEAR ENERGY

**Kulyagina S. S., Tkachev V.G., Heidarova A.N.**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Volgodonsk, Russia  
kkulyagina.1979@gmail.com*

**Abstract.** The construction industry is actively seeking new sustainable materials from natural sources. Bentonites, minerals with high adsorption capacity, attract special attention. Their ability to bind substances and absorb liquids, as well as their availability and low cost, make them an ideal solution for the construction of nuclear facilities. The article discusses the properties, advantages and applications of materials obtained from bentonite, and also provides examples of their use in construction.

**Keywords:** bentonite, bentonite materials, construction, clay, blocks, nuclear industry.

Из-за высокого потребления воды, необходимого атомным электростанциям, только 30% производимой энергии идет на производство электроэнергии, а оставшиеся 70% - на охлаждающую воду. В результате эти сооружения обычно строятся рядом с водохранилищами, что может привести к повышению уровня грунтовых вод. Для решения этой проблемы строительными методами был разработан ряд способов защиты фундамента зданий от просачивания воды.

Кирпичи, бетон и другие обычные строительные материалы могут поглощать и удерживать воду в своих порах, что приводит к потенциальному накоплению воды и повреждению конструкций. Чтобы этого избежать, при строительстве используются гидроизоляция.

Гидроизоляция – это слой водоустойчивых материалов на ограждаемой поверхности. Её выполняют для предотвращения накопления влаги и капиллярного подноса воды в подземных частях сооружений, создания непроницаемости хранилищ различных жидкостей от воздействия грунтовых вод[1].

В настоящее время существуют следующие основные виды гидроизоляции: окрасочная (обмазочная), оклеечная, штукатурная, асфальтовая и сборная. Все эти методы эффективны, хотя существует множество исторических и природных способов, которые могут еще больше улучшить гидроизоляцию.

Был установлен высокий уровень требований к материалам, используемым в гидроизоляции: они должны быть высокотехнологичными, эффективными, соответствовать нормативным стандартам, конкурентоспособными, актуальными и легко интегрироваться в процесс строительства.

Материалы на основе бентонита, особенно бентонитовая глина, соответствуют этим критериям. Бентонит - это тип глины, которая в основном состоит из минералов монтмориллонитовой группы и может быть диспергирована в воде до коллоидного состояния.

Бентонит имеет более 200 различных современных применений, включая косметику, корм для животных, пищевую промышленность и металлургию. Кроме того, он обычно широко используется при создании гидроизоляционных материалов и в качестве компонента строительных материалов для ядерной промышленности.

В ядерной промышленности бентонит служит материалом, используемым для фильтрации и предотвращения движения радиоактивных веществ при хранении, консервации и утилизации ядерных отходов, а также в процессе вывода из эксплуатации ядерных установок [2].

Бентонит имеет несколько применений в ядерной промышленности. Его можно использовать для поверхностной подземной утилизации радиоактивных отходов класса 3 и 4, а также для глубокой геологической утилизации радиоактивных материалов класса 1 и 2 на глубинах 100 метров и более. Он также используется для демонтажа радиоактивных отходов путем длительного хранения. Бентонит может использоваться для защиты специальных хранилищ радиоактивных отходов и цементных упрочняющих конструкций для жидких радиоактивных отходов (ЖРО).

Геосинтетические материалы на основе бентонита обладают несколькими важными свойствами, которые делают их пригодными для использования в ядерной промышленности. К ним относятся низкая проницаемость, самовосстановление и способность к самоуплотнению из-за его способности набухать. Низкая скорость диффузии радиоизотопов, снижение микробной активности и уменьшение эффекта смещения горных пород, а также долгосрочная минералогическая стабильность - все это полезные свойства материалов на основе бентонита.

Эти свойства позволяют использовать геосинтетические бентонитовые рулоны при установке защитных экранов при строительстве и реабилитации очистных сооружений для

радиоактивных, коммунальных и промышленных отходов. Они также полезны для гидроизоляции подземных участков зданий и сооружений, устройства противофильтрационных экранов в земляных насыпях и для гидротехнических сооружений [2].

Преимущества этого материала включают: сохранение водостойкости и влагопроницаемости, двойная защита, высокая устойчивость к агрессивным средам, высокая прочность, способность эксплуатации при температурах от  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ , способность к самовосстановлению при механических повреждениях, длительный срок службы, низкая стоимость установки.

Бентонитовые изделия, используемые в ядерной промышленности, включают в себя: натуральные глины (активированные и измельченные), глиняные порошки и гранулы бентонита, прессованный бентонит (в виде блоков, колец, дисков и гранул), бентонитовые маты и материалы для инъекций.

Например: бентонитовые блоки для захоронения ядерных отходов.

Национальные энергетические стратегии стран с ядерными установками разработали планы по утилизации отработанного ядерного топлива. Эти стратегии похожи и включают хранение контейнеров для отходов на подземных участках в гранитных образованиях.

Это сложные и дорогостоящие проекты, включающие исследования и разработку подходящих мест хранения, раскопки, выбор подходящих материалов для контейнеров и герметизацию пространства. Бентонит был единогласно выбран в качестве изоляционного материала из-за его оптимальных характеристик, таких как высокая адсорбционная способность для широкого спектра радионуклидов и образование прочного изоляционного слоя.

Различные виды бентонитовых продуктов, включая гранулы, блоки и маты, включены в национальные стратегии управления радиоактивными отходами.

Бентонитовые блоки используются в качестве основного материала. Они помещаются в скважину, в которую вставляется контейнер для отходов. Для обеспечения полной герметичности, оставшееся пространство заполняют гранулами или пеллетами.

В России имеются большие месторождения с подходящими свойствами. Разработаны технологии производства бентонитовых блоков, в том числе прессования сырья в условиях постоянной влажности[5].

Также существуют бентонитовые маты, предназначенные для гидроизоляции, предотвращающие миграцию загрязняющих веществ в окружающую среду и обеспечивающие надежный барьер. Бентонит имеет коэффициент фильтрации менее  $0,7 \times 10^{-11}$  м / с и обеспечивает надежную гидроизоляцию для большого вида конструкций.

В ходе работы описаны основные характеристики и преимущества бентонитовых материалов, используемых при строительстве атомных электростанций и других зданий и сооружений. Бентонит служит отличной составляющей, из которой могут производиться различные изделия, отвечающие всем необходимым требованиям и стандартам. Однако для более полного использования продуктов из бентонита необходимы исследования их поведения в грунтовых водах, атмосферных водах и при тепловом воздействии.. Поскольку такие исследования будут проводиться в будущем, материалы в настоящее время поступают из импортных источников.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теличенко, В.И. / Технология строительных процессов. В 2 ч. Ч. 2: Учебник/ В.И. Теличенко, О.М. Терентьев, А.А. Лапиндус. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 209 с.
2. Захаров С.А. /«Применение бентонитовых матов - путь к созданию непроницаемых экранов»/ журнал «Гидротехника» – наука и технологии – 2019. –№1. – 7с
3. «Бентонит в атомной отрасли» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tagbent.com/bentonit-v-atomnoj-promyshlennosti> (дата обращения:14.07.2024)
4. «Росатом внёс бентонитовыегеосинтетические маты «BentIzol» в Реестр инновационных решений для внедрения при строительстве объектов атомной отрасли» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/news/2023/08/23/138020> (дата обращения:15.07.2024)

5. «Бентонитовый блок» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pskgeodor.ru/blog/betonitovyi-mat/Bentonite%20Block> / (дата обращения: 16.07.2024)
6. Л.С. Васильянова / Химические технологии / «Бентониты в экологии» / журнал «Новости науки Казахстана» – 2016. – №3. – 72 с.

УДК 624.04.45.001.3

## РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ АЭС

**Киселев А.С., Киселев А.С., Медведев В.Н.<sup>1</sup>, Скорикова М.И.<sup>2</sup>,  
Стризов В.Ф., Ульянов А.Н.**

*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, Россия*  
<sup>1</sup> *cont@ibrae.ac.ru*, <sup>2</sup> *skorikova@ibrae.ac.ru*

**Аннотация.** В работе приводится описание двух расчетных моделей, используемых для оценки работоспособности датчиков контроля напряженно-деформированного состояния защитной оболочки АЭС: для анализа кинетики НДС защитной оболочки АЭС и для расчета нестационарных полей температуры.

**Ключевые слова:** защитная оболочка, расчетная модель, датчики, контрольно-измерительная аппаратура, перемещения, деформации, напряжения, усилия.

## DEVELOPMENT OF CALCULATION MODELS FOR ASSESSING THE OPERABILITY OF SENSORS FOR MONITORING THE STRESS-STRAIN STATE OF THE NUCLEAR POWER PLANT CONTAINMENT

**Kiselev A. S., Kiselev A. S., Medvedev V.N.<sup>1</sup>, Skorikova M.I.<sup>2</sup>,  
Strizhov V.F., Ulianov A.N.**

*Nuclear safety institute of the Russian academy of sciences (Moscow)*  
<sup>1</sup> *cont@ibrae.ac.ru*; <sup>2</sup> *skorikova@ibrae.ac.ru*

**Abstract.** The paper describes two calculation models used to assess the operability of sensors for monitoring the stress-strain state of the nuclear power plant containment: to analyze the kinetics of the stress-strain state of the nuclear power plant containment and to calculate non-stationary temperature fields.

**Keywords:** containment, calculation model, sensors, instrumentation, displacements, deformations, stresses, forces

Используемые для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) защитных оболочек (ЗО) АЭС с ВВЭР-1000 датчики контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) имеют ограниченный проектный срок эксплуатации (13 лет), отдельные датчики выходят из рабочего состояния еще на стадии возведения защитной оболочки, а в период эксплуатации невозможно провести их достоверную тарировку и ремонт [1].

Для выполнения работ по обоснованию эксплуатации сверх назначенного срока датчиков КИА, установленных в защитной оболочке реакторного отделения в период строительства, разработаны расчетные модели.

Расчетное моделирование проводится в трехмерной постановке с учетом всех особенностей конструкции ЗО. При моделировании используются современные численные методы конечных элементов и суперэлементов, обладающие высокой точностью. Алгоритмы этих методов реализованы в вычислительной программе CONT, дающей возможность эффективно решать задачу расчета НДС защитной оболочки с учетом всех факторов нагружения, как при эксплуатационных, так и аварийных режимах [2]. Программа CONT аттестована в Ростехнадзоре.

Оценка работоспособности датчиков КИА может быть выполнена на основе сравнения приращения их показаний и расчетных значений в период сезонных изменений наружной температуры воздуха, существенно влияющих на уровень напряжений в зонах установки датчиков. При этом на первом этапе необходимо провести расчеты нестационарных полей температуры по толщине стенки с учетом изменения температуры среды внутри и снаружи ЗО, а затем получить расчетную оценку изменения НДС в стенке ЗО вследствие воздействия полученных на первом этапе полей температуры. Сравнение расчетных и измеренных данных позволяет оценить работоспособность датчиков КИА.

Для анализа кинетики НДС защитной оболочки АЭС разработана детальная конечноэлементная модель с использованием 8-узловых объемных конечных элементов, в которой с помощью стержневых конечных элементов непосредственно моделируется меридиональная и окружная арматура вблизи наружной и внутренней поверхности ЗО. Общий вид конечноэлементной модели представлен на рисунке 1. Число узлов модели – 1053263, число конечных элементов – 1371468 [3].

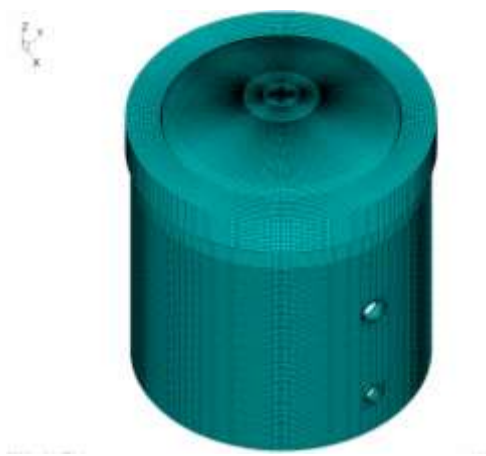


Рисунок 1 – Конечноэлементная модель защитной оболочки АЭС для анализа кинетики НДС ЗО

Для проведения расчетного моделирования НДС защитной оболочки АЭС необходимо получить информацию о распределении температуры по толщине стенки оболочки. Величина градиента температуры по толщине стенки меняется во времени, поскольку изменяется температура воздуха снаружи и внутри оболочки. Изменение температуры воздуха внутри и снаружи оболочки приводит к постоянному перераспределению температуры по толщине стенки ЗО и, как следствие, вызывает изменение напряженного состояния, которое носит циклический характер из-за суточных и сезонных колебаний температуры, варьирующихся снаружи от  $-20$  до  $+40$  °С, а внутри от  $+20$  до  $+47$  °С. Наибольший уровень компонентов НДС реализуется в зимний период, когда градиент температуры по толщине стенки ЗО имеет максимальное значение.

При численном моделировании процессов теплопереноса в стенке ЗО на внутренней и наружной поверхностях модели ЗО задаются условия конвективного теплообмена (граничные условия 3 рода), характеризующиеся температурой среды и коэффициентом теплоотдачи. Зависимости изменения температуры снаружи оболочки принимаются по данным метеорологических наблюдений. Из-за массивности железобетонной оболочки процессы распространения тепла обладают значительной инерционностью. Это означает, что при изменении температуры наружного воздуха изменение температуры в среднем по толщине сечения оболочки будет заметно лишь через несколько десятков часов. Поскольку рассматривается достаточно длительный временной интервал, то для первого момента времени рассматриваемого интервала рассчитывается стационарное поле температуры, а затем моделируется нестационарное изменение этого поля в соответствии с изменяющимися

условиями снаружи оболочки по данным натуральных наблюдений. При этом результаты расчета температуры в первые 3 суток могут иметь отличия от экспериментально измеренных, поскольку в начальный момент времени поле температуры могло отличаться от стационарного вследствие запаздывающего на 5-7 суток влияния изменения температуры среды. Тем не менее, после 3-5 суток расчетные значения температуры приближаются к значениям в натурной конструкции, поскольку нестационарность процесса переноса тепла будет учтена при моделировании начального промежутка времени рассматриваемого интервала.

В отличие от модели ЗО для расчетов НДС, в конечноэлементной модели ЗО для расчета распределения температуры должно быть учтено наличие цементной стяжки на поверхности купола, толщина которой может достигать 0,4–0,5 м, которая снижает влияние изменений наружной температуры на ее распределение по толщине стенки купола ЗО. При расчете НДС ЗО стяжка не учитывается, поскольку ее прочностные свойства существенно ниже, чем у бетонной стенки и неоднородны.

Конечноэлементная модель ЗО для расчета нестационарных полей температуры представлена на рисунке 2, а). Она получена из модели для расчета НДС из которой удалены стержневые конечные элементы, моделирующие стержневую арматуру. Также вблизи внутренней и наружной поверхности ЗО введены дополнительные слои конечных элементов для более точного моделирования градиентов температуры в этих зонах при изменении параметров среды внутри и снаружи оболочки. Модель содержит 935768 линейных 8-узловых конечных элементов и 1053263 узлов. На рисунке 2, б) показан увеличенный фрагмент модели в зоне купола, на котором виден материал №8, моделирующий цементную стяжку, включающий 3 дополнительных слоя конечных элементов, толщина которой задавалась с помощью автоматического алгоритма по результатам геодезических измерений.

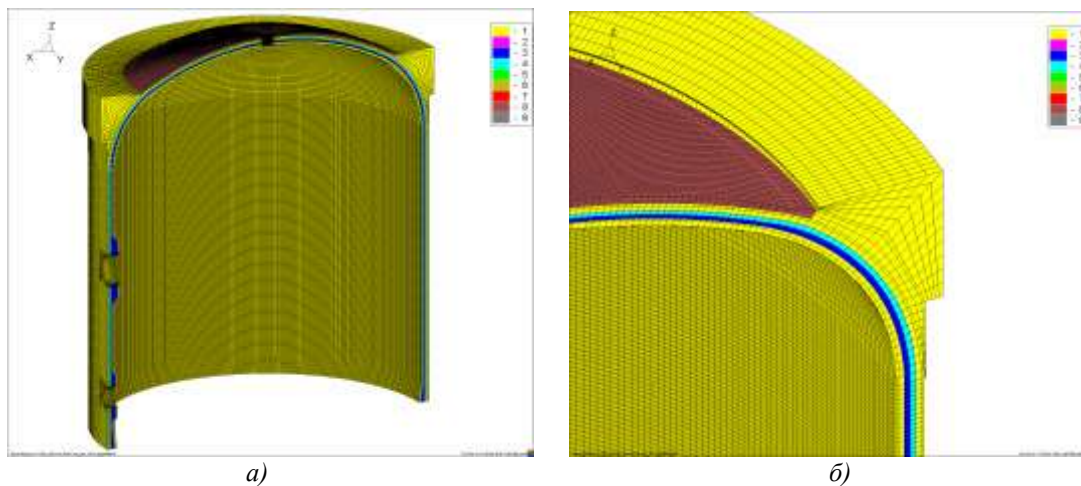


Рисунок 2 – Конечноэлементная модель защитной оболочки АЭС для расчета нестационарных полей температуры: а) сечение модели плоскостью XOZ, б) увеличенный фрагмент модели в зоне купола. Номер материала в легенде: 1, 3 и 4 – бетон, 6 – стальная облицовка на внутренней поверхности ЗО, 8 – цементная стяжка на наружной поверхности купола

Таким образом, для оценки работоспособности датчиков контроля напряженно-деформированного состояния защитной оболочки АЭС, были разработаны и описаны выше две расчетные модели – для анализа кинетики НДС защитной оболочки АЭС и для расчета нестационарных полей температуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по наблюдениям за напряженным состоянием защитных оболочек АЭС с реактором ВВЭР-1000. Москва: НИС Гидропроекта, 1987. 85 с.

2. Медведев В.Н., Киселев Александр С., Киселев Алексей С. [и др.] Воздействие нагрузок внутри сечения стенки защитной оболочки АЭС с ВВЭР-1000. Москва: Атомная энергия, 2021. Т. 130, № 1, с. 20-24.
3. Медведев В.Н., Ульянов А.Н., Киселев Ал-др С. [и др.] Разработка экспертной системы оценки напряженного состояния для защитной оболочки 1-го энергоблока Волгодонской АЭС. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. Спецвыпуск. 2008. с. 107-112.

УДК 666.185.45

## СТЕКЛЯННАЯ ЧЕРЕПИЦА КАК ИННОВАЦИЯ НА ТЕРРИТОРИИ АЭС

**Науменко А.Р., Бурдаков С.М., Орехов М.И.**

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия  
anaumenko51@mail.ru*

**Аннотация.** Статья посвящена стеклянной черепице, представляющей собой инновационный строительный материал для кровли. В ней раскрываются ее характеристики, преимущества и недостатки, анализируются технологии монтажа и облицовки. Особое внимание уделяется дизайнерским возможностям стеклянной черепицы, которая позволяет создавать стильные и современные архитектурные решения. В статье также рассматривается влияние этого материала на экологию, энергоэффективность и эстетику зданий, что позволяет оценить его потенциал для современного строительства. Атомные электростанции – это не только источники энергии, но и территории с уникальным потенциалом для создания комфортных пространств для отдыха. Помещения со стеклянными крышами, ранее использовавшиеся для технических целей, могут стать идеальным местом для релаксации и единения с природой.

**Ключевые слова:** стеклянная черепица, кровля, инновации, дизайн, экология, АЭС, источник энергии, энергоэффективность, монтаж, преимущества, недостатки.

## GLASS TILES AS AN INNOVATION ON THE TERRITORY OF NUCLEAR POWER PLANTS

**Naumenko A.R., Burdakov S.M., Orekhov M.I.**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Volgodonsk, Russia  
anaumenko51@mail.ru*

**Abstract.** The article is devoted to glass tiles, which are an innovative building material for the roof. It reveals its characteristics, advantages and disadvantages, analyzes installation and cladding technologies.

Special attention is paid to the design possibilities of glass tiles, which allows you to create stylish and modern architectural solutions. The article also examines the impact of this material on the ecology, energy efficiency and aesthetics of buildings, which allows us to assess its potential for modern construction. Nuclear power plants are not only energy sources, but also territories with a unique potential for creating comfortable spaces for recreation. Rooms with glass roofs, previously used for technical purposes, can become an ideal place for relaxation and unity with nature.

**Keywords:** glass tiles, roofing, innovation, design, ecology, nuclear power plant, energy source, energy efficiency, mont

Стеклянная крыша – не просто элемент дизайна, а перспективное решение для современных зданий, включая объекты атомной энергетики [1].

Преимущества стеклянной крыши:

1. Естественное освещение: позволяет экономить энергию и создавать комфортную атмосферу.

2. **Открытость:** создает ощущение единения с природой и позволяет наслаждаться свежим воздухом.
3. **Безопасность:** прочная конструкция крыши гарантирует защиту от непогоды.
4. **Высокая светопроницаемость:** обеспечивает естественное освещение, снижая потребность в искусственном свете и экономия электроэнергии.
5. **Прочность и долговечность:** устойчива к нагрузкам, температурным перепадам и атмосферным влияниям. Современные материалы, включая закаленное стекло и поликарбонат, обеспечивают высокую прочность и долговечность.
6. **Устойчивость к пожару:** стекло не горит и не распространяет огонь, что важно для безопасности на территории АЭС.
7. **Эстетика и функциональность:** стеклянные крыши могут быть использованы для создания уникальных архитектурных решений, обеспечивая приток естественного света в здания.
8. **Экологичность:** применение стекла способствует снижению энергопотребления и уменьшению углеродного следа[3].

#### Применение в АЭС:

**Озелененные оазисы:** Оснащенные системами отопления и вентиляции, такие помещения могут стать круглогодичными зимними садами.

Стеклянная крыша позволит наслаждаться естественным освещением, а озеленение создаст атмосферу спокойствия и умиротворения.

Зимний сад может быть оборудован удобными скамейками, местами для отдыха, фонтанами и искусственными водоемами.

#### Пространства для развлечений:

Прозрачная крыша позволит проводить мероприятия под открытым небом даже в непогоду.

Оборудование для спортивных игр, игровые площадки для детей, зоны для барбекю, кафетерии и рестораны – все это можно разместить под стеклянным куполом.

В теплое время года помещение может быть полностью открыто, а зимой превратиться в уютный теплый уголок.

**Информационные центры:** просторные и светлые помещения с стеклянной крышей могут быть использованы для проведения экскурсий, презентаций и выставок, посвященных атомной энергетике.

**Зоны отдыха и рекреации:** стеклянные крыши создают приятную атмосферу для отдыха и работы на территории АЭС, обеспечивая естественное освещение и вид на окружающую среду.

**Теплицы:** стеклянные крыши могут быть использованы для создания теплиц на территории АЭС, обеспечивая оптимальные условия для растений[5].

**Сравнение с традиционными материалами:** хотя стоимость стеклянной крыши выше, чем у традиционных материалов (например, металлической черепицы), ее преимущества в долговечности, экологичности и эстетике делают ее привлекательной альтернативой.

#### Важно учитывать:

**Очистка поверхности:** для поддержания прозрачности и эстетичного вида необходимо регулярно очищать стекло.

**Защита от прямых солнечных лучей:** необходимо использовать специальные материалы, защищающие от УФ-излучения и перегрева.

**Вентиляция:** важно обеспечить хорошую вентиляцию под стеклянной крышей, чтобы предотвратить перегрев воздуха в жаркую погоду.

**Создание зон отдыха на территории АЭС:** реализация идеи требует грамотного планирования, учета особенностей территории и соблюдения всех экологических норм. Проекты должны быть согласованы с руководством АЭС и соответствующими органами. Обязательно требуется обеспечить безопасное и удобное функционирование зон отдыха для всех посетителей.

Разнообразие стеклянных крыш для территории АЭС: от функциональности до эстетики[4].

Стеклянные крыши на территории АЭС могут быть разнообразны по конструкции, материалу и функциональности, создавая уникальные пространства для отдыха, работы и информации:

По типу конструкции:

Плоские крыши: простой и экономичный вариант, часто используются для создания крытых пространств с большим пролётом.

Скошенные крыши: добавляют динамику в архитектурный образ и обеспечивают естественный сток воды.

Купольные крыши: создают ощущение пространства и естественного освещения, идеальны для зон отдыха и кафе-терриев.

Арочные крыши: придают зданию элегантный вид и обеспечивают хорошую звукоизоляцию.

По материалу:

Закаленное стекло: Прочное и устойчивое к механическим повреждениям, используется для крыш с большим пролётом.

Ламинированное стекло: состоит из нескольких слоёв стекла, склеенных плёнкой, что делает его более безопасным.

Триплекс: толстое многослойное стекло, которое очень прочное и устойчиво к ударам.

Поликарбонат: легкий и прочный пластик, который хорошо пропускает свет и имеет высокую теплоизоляцию.

По функциональности:

Солнечные панели: встроенные солнечные панели позволяют генерировать электричество и снижать зависимость от традиционных источников энергии.

Система вентиляции: обеспечивает хорошую циркуляцию воздуха и создает комфортный микроклимат в помещении.

Система освещения: используются LED лампы для энергосбережения и создания приятной атмосферы.

Системы контроля доступа: обеспечивают безопасность и контроль за доступом на территорию[2].

Превращение помещений со стеклянными крышами на территории АЭС в зоны отдыха – это не только возможность создать комфортные условия для работников станции, но и проявить заботу об экологии и создать пространство для единения с природой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярцева Д. Э., Шаламова С. А. «Стеклянная черепица как инновация в строительстве» – Краснодар, 2023 – 21с.
2. «Стеклянная черепица – удивительный кровельный материал, который поможет сэкономить деньги» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kraska.guru/dom/istorii/steklyannaya-cherepica.html?ysclid=luwahe0swm273685568>(дата обращения 28.07.2024)
3. «Крыши из стекла основные виды» [Электронный ресурс].Режим доступа: <https://glassvita.ru/poleznye-materialy/nashi-statji/kryshi-iz-stekla-osnovnye-vidy/>(дата обращения 28.07.2024)
4. «Особенности стеклянной кровли» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://glasshouse.by/2020/12/01/osobennosti-steklyannoj-krovli/> (дата обращения 28.07.2024)
5. «Исследование проблемы применения технологий вертикального озеленения на конструкциях светопрозрачных оболочек зданий» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://research-journal.org/archive/6-96-2020-june/issledovanie-problemy-primeneniya-texnologij-vertikalnogo-ozeleneniya-na-konstrukciyax-svetoprozrachnyx-obolochek-zdanij> (дата обращения:31.07.2024)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ОПОРНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ СТРОИТЕЛЕЙ

Орехов М.И.<sup>1</sup>, Пимшин Ю.И.<sup>2</sup>, Заяров Ю.В.<sup>3</sup>,  
Лобковская Н.И.<sup>4</sup>, Науменко Г.А.<sup>5</sup>, Гайрабеков И.Г.<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Волгодонский инженерно-технический институт – филиал национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия

<sup>5</sup> Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>6</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», Грозный, Россия

<sup>1</sup>MIOrkhov@mephi.ru, <sup>2</sup>YIPimshin@yandex.ru, <sup>3</sup>YVZayarov@mephi.ru,

<sup>4</sup>NILobkovskaya@mephi.ru, <sup>5</sup>Galishka@mail.ru, <sup>6</sup>Ibragim.ggni@mail.ru

**Аннотация:** В данной статье рассмотрена возможность использования системы опорных сигналов при подготовке студентов высшей школы.

**Ключевые слова:** компетенции, методика обучения, высшая школы, букварь.

## THE USE OF THE THEORY OF REFERENCE SIGNALS IN THE TRAINING OF CONSTRUCTION SPECIALISTS

Orekhov M.I.<sup>1</sup>, Pimshin Yu.I.<sup>2</sup>, Zayarov Yu.V.<sup>3</sup>,  
Lobkovskaya N.I.<sup>4</sup>, Naumenko G.A.<sup>5</sup>, Gayrabekov I.G.<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Volgodonsk Institute of Engineering and Technology – branch of the National Research Nuclear University "MEPhI", Volgodonsk, Russia

<sup>5</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

<sup>6</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Grozny State Petroleum Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov", Grozny, Russia

<sup>1</sup>MIOrkhov@mephi.ru, <sup>2</sup>YIPimshin@yandex.ru, <sup>3</sup>YVZayarov@mephi.ru,

<sup>4</sup>NILobkovskaya@mephi.ru, <sup>5</sup>Galishka@mail.ru, <sup>6</sup>Ibragim.ggni@mail.ru

**Abstract:** This article discusses the possibility of using a reference signal system in the preparation of higher school students

**Keywords:** competencies, teaching methods, higher education, primer.

Повышение качества образования является желаемой целью во все исторические времена. На современном этапе развития нашего государства данная задача сохраняет свою актуальность [1]. На федеральном уровне были приняты ВГОС 3 [2], из которых следует что высшее образование должно быть компетентностно ориентировано. То есть все предметы на всех курсах обучения читаются для формирования тех или иных компетенций у обучающихся. А обучающие овладев совокупностью компетенций  $C$  (1), будут компетентными специалистами. Таким образом

$$C = \Sigma (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

где  $C$  - совокупность компетенций специальности (например, строительство),  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – компетенции.

Авторы настоящей работы выполнили поиск по определению наиболее эффективной методики обучения. В результате было определено. Что известной, с 20 века эффективной и применяемой методикой, является методика профессора В.Ф. Шаталова [3], основанная на применении опорных сигналов. Однако данная методика была разработана и применена в

средней школе и направлена на освоение обучающимися школьных предметов. Необходимо было оценить возможность ее применения для подготовки специалистов в высшей школе. Чем особенны предметы высшей школы и чем они отличны от предметов средней школы.

Школьные предметы являются базовыми (начальными) знаниями, для предметов высшей школы. В вузе школьные предметы читаются на более высоком уровне их развития. А специальные предметы есть симбиоз, теоретических предметов (математики, физики) и обобщенного опыта предыдущих поколений.

Специальность С даже несколькими опорными сигналами представить невозможно. А вот разложить С на отдельные области знаний и данные области дифференцировать на базовые предметы, начальные знания - возможно. Таким образом, начальные знания представить опорными сигналами возможно. Таким образом, объединив базовые знания, представленные опорными сигналами, можно отобразить С, специальность, при этом, документ, представляющий собой С, будет называться «Букварь».

$$C = C_1, C_2, C_3, \dots, C_n. \quad (2)$$
$$C = (\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_1, y_2, y_3, \dots, y_1, y_2, y_3, \dots\})$$

где -  $y_1, y_2, y_3$ - опорные сигналы, базовых знания.

Опорные сигналы ( $y_1, y_2, y_3$ ) представляют собой графическое изображение, выполненное индивидуально, имеющее особенное начертание, разработанное индивидуально авторами-специалистами. Кроме-того в опорном сигнале используются некоторые известные графические изображения, например, буквы алфавита, или устоявшиеся изображения общепринятых фигур (треугольники, прямоугольники) и т.д. Изображения опорных сигналов выполняются цветными, четкими, данные графические композиции должны быть интересны и взрослым и детям. Опорные сигналы представляют на листах А-4, объединив, которые получают сшив ( $y_1, y_2, y_3$ ) - «Букварь», специальности С.

Например С – специальность «Строительство уникальных зданий и сооружений». Данная специальность, может быть разложена на: области знаний - геодезия, геометрия, геология, материалы, сопротивление материалов, строительные конструкции, строительная механика, строительные технологии и др.

Каждая область знаний должна быть дифференцирована на «элементарные» знания, например: геодезия - измерения, виды измерений, средства измерения, способы измерений, методика измерений, результат измерений, ошибка результата измерений.

«Букварь» строителя, представляет собой области знаний - геодезия, геометрия, геология, материалы, сопротивление материалов, строительные конструкции, строительная механика, строительные технологии. Причём области знаний должны быть представлены «элементарными» знаниями, отображенными опорными сигналами. Красочно оформленный сшив под общим названием «Букварь» строителя, должен быть использован на всех курсах обучения в ВИТИ.

Использование предложенных подходов к организации учебного процесса позволит повысить усвоение нового материала студентами, и в конечном счете улучшит качество образования по строительным специальностям и направлениям подготовки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ (ред. от 19.12.2023) "Об образовании в Российской Федерации"
2. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - специалитет по специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений
3. Шаталова В. Ф. Особенности системы обучения. Режим доступа: <http://nsportal.ru/blog/shkola/obshcheshkolnaya-tematika/osobennosti-sistemy-obucheniya-v-f-shatalova> (дата обращения: 07.08.2024)

## БЛАГОУСТРОЙСТВО ТЕРРИТОРИИ СКВЕРА «ВИТИ НИЯУ МИФИ»

**Томченко А.В.<sup>1</sup>, Пимшин Ю.И., Ткачев В.Г., Орехов М.И.**

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

<sup>1</sup>*nastyia18-80@mail.ru*

*VITIkafSP@mephi.ru*

**Аннотация.** В данной статье обсуждается проектное предложение и текущая ситуация в сквере. Проведен анализ текущего состояния парка и озеленения, проведен опрос среди студентов. Мы пришли к выводу, что наши концептуальные предложения окажут положительное влияние, особенно в эстетическом и ландшафтном аспектах.

**Ключевые слова:** Проектное предложение реконструкции сквера, сквер «Студенческий», архитектурные формы благоустройства.

## LANDSCAPING OF THE TERRITORY OF THE VITI NRNU MEPHI PARK

**Tomchenko A.V.<sup>1</sup>, Pimshin Yu.I., Tkachev V.G., Orekhov M.I.**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,*

*Volgodonsk, Russia*

<sup>1</sup>*nastyia18-80@mail.ru*

*VITIkafSP@mephi.ru*

**Abstract.** In the statue there is a project and a textile situation in the square. Проведен анализ текущего состояния парка и озеленения, проведен опрос среди студентов. My goal is to understand that this conceptual message is important. This is particularly important in terms of aesthetics and landscape aspect.

**Keywords:** Student Square, design proposal for the reconstruction of the square, architectural forms of improvement.

Благоустройство территории как городов, так и производственных объектов (включая территории строящихся и действующих АЭС) является одной из актуальных проблем современной строительной отрасли. При формировании профессиональных компетенций будущих строителей особое внимание необходимо уделять созданию благоприятной среды обитания с обеспечением комфортных условий для всех видов деятельности как на производстве, так и городской среде.

Рассмотрим благоустройство территории на примере сквера перед ВИТИ НИЯУ МИФИ. Сквер был создан одновременно с открытием лабораторного корпуса (сейчас это главный корпус ВИТИ НИЯУ МИФИ) 45 лет назад. Его общая площадь составляет 1,2 га. В архитектурном решении площади сочетаются как элементы регулярной планировки – например, пешеходные аллеи, предназначенные для подведения горожан и учащихся к остановкам общественного транспорта, так и элементы свободной планировки – предназначенные для отдыха учащихся в перерывах между занятиями [1].

Площадь свободна от мелких элементов архитектурного ландшафта. Со временем функциональные и планировочные особенности сквера менялись. Часть существовавших элементов озеленения была утрачена, а остальные устарели как физически, так и морально.

Анализ существующего ландшафта выявляет ряд проблем, основной из которых является отсутствие озеленения на уровне глаз, цветников, газонов и освещения.[2] Центральная пешеходная дорожка, главная ось входной зоны ВИТИ НИЯУ МИФИ, пересекается конструкциями из декоративных чаш фонтанов и зелеными насаждениями и тем самым теряет перспективу. Дизайн декоративной чаши фонтана сохранился, но техническое оснащение полностью утрачено и восстановлению не подлежит.

Основными идеями реконструкции данного сквера являются обеспечение удобного передвижения горожан к остановкам общественного транспорта и студентов к зонам отдыха, архитектурно-художественное оформление существующих декоративных чаш фонтанов и спрямление центральной пешеходной зоны [4]. Кроме того, планируется посадить деревья, кустарники, грядки и газоны, оборудовать дополнительные площадки с твердым покрытием, заменить покрытие на открытых дорожках и в проект включить освещение [3].

При разработке предложений по реконструкции сквера были учтены результаты опроса 60 студентов на тему «С какими трудностями вы сталкиваетесь при посещении сквера?»

1. Слабое освещение. В холодное время года световой день становится намного короче. В это время года, после занятий, студенты сталкиваются с полным отсутствием освещения на аллеях.

2. Отсутствие ландшафтного дизайна. Многие студенты отметили, что на уровне глаз человека очень мало озеленения.

3. Мало скамеек для отдыха студентов между занятиями. Однако эти скамейки должны быть разделены перилами или иметь не обычную форму.

Подобные концептуальные предложения окажут положительное влияние, в частности, на эстетические и ландшафтные характеристики оформления входной зоны ВИТИ НИЯУ МИФИ и в целом на проектирование городской среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Г. Тулинцев / Цветоводство с основами селекции и семеноводства / Ленинград / Стройиздат. Ленинградское отделение – 1977. – 287 с.
2. И.М. Смоляр / Новые города (планировочная структура городов промышленного и научно-производственного профиля) / Издательство литературы по строительству / Москва – 1972. – 183 с.
3. В.С. Теодоровский / Садово-парковое строительство и хозяйство / Ленинград / Стройиздат. Ленинградское отделение – 1978. – 223 с.
4. В.С. Холявко, Д.А. Глоба-Михайленко / Дендрология и основы зеленого строительства / М.: Высш. шк., 1980. – 217 с.

---

---

**СЕКЦИЯ**

---

---

**КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОЙ  
ЭНЕРГЕТИКИ И ТЕРРИТОРИЯХ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЙ:  
СОЦИОКУЛЬТУРНЫЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ**

УДК 349.7

**К ВОПРОСУ ОБ АКТУАЛИЗАЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

**Абросимова Н.В.**

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

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема развития института профессиональных стандартов в атомной энергетике. Предложен подход рассмотрения квалификационных характеристик работников ядерной отрасли через призму независимой оценки.

**Ключевые слова:** профессиональный стандарт, квалификационные требования, трудовая функция, независимая оценка квалификаций.

**ON THE ISSUE OF UPDATING THE CURRENT PROFESSIONAL STANDARDS IN  
NUCLEAR ENERGY**

**Abrosimova N.V.**

*Volgodonsk Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI",  
Volgodonsk, Russia  
abnatvik@yandex.ru*

**Abstract.** The paper considers the problem of the development of the institute of professional standards in nuclear energy. An approach is proposed to consider the qualification characteristics of nuclear industry workers through the prism of an independent assessment.

**Keywords:** professional standard, qualification requirements, labor function, independent assessment of qualifications.

В настоящее время термин «профессиональный стандарт» является достаточно привычным у законодателя и правоприменителя. Впервые он появился в декабре 2012 года в тексте Трудового кодекса РФ, однако именно с 2016 года приобрел наиболее ярко выраженные черты и особенности. Как известно, в этот период времени вступил в силу Федеральный закон от 02.05.2015 г. № 122-ФЗ «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации».

Подход законодателя в плане подготовки и внедрения профессиональных стандартов основывался на соответствующих отраслях экономики, применительно к специфике каждого вида экономической деятельности. Не стала исключением и атомная промышленность.

Следует отметить, что к вопросу о наполнении содержанием квалификационных характеристик работников атомной отрасли были подключены образовательные организации, ведущие подготовку специалистов для объектов атомной отрасли, организации – работодатели и профессиональные союзы самих работников. На первых этапах разработки профессиональных стандартов работников атомной отрасли каких-либо видимых сложностей не возникло, так как работать приходилось в утвержденной структуре, а именно: обобщенная трудовая функция, трудовые действия, необходимые умения и знания. Однако, в зависимости от правового статуса разработчика соответствующего профессионального стандарта, его содержанию придавалось различное правовое значение. В частности,

образовательные организации усиливали роль профессиональных знаний, а организации – работодатели делали акцент в сторону обязанностей работника, стремясь предусмотреть максимально «полный функционал по конкретной должности».

Кроме того, на законодательном уровне также имелись неоднозначные формулировки, которые вызывали полемику в научных кругах и на практике. Например, словосочетания «квалификационные требования» и «требования к квалификации» употреблялись как словосочетания синонимы. Тогда как очевидно, что «квалификационные требования» являются более узким понятием, так как охватывают совокупность требований к образованию, опыту работы, знаниям и умениям, изложенным в профессиональном стандарте.

Спорным остается вопрос и об обязательности применения работодателями профессиональных стандартов. С одной стороны, профессиональные стандарты обязательны, если наименование должности работника и его профессиональные особенности позволяют ему получать компенсации, льготы и иные преференции либо напротив устанавливают какие-либо ограничения.

С правовой точки зрения, правильным будет подход, когда Трудовой кодекс РФ или иной нормативный правовой акт, а не сам профессиональный стандарт, установит требования обязательности применения профессиональных стандартов в части требований к квалификации работника. Например, ст. 52 Федерального закона от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» обязывает работодателя допускать к работе на ядерной установке, на радиационном источнике, в пункте хранения, с ядерными материалами и радиоактивными веществами лиц, удовлетворяющих соответствующим квалификационным требованиям. В других случаях такой обязательности не прослеживается, что порождает коллизии в праве. Таким образом, очевидно, что профессиональные стандарты и сама ключевая нормативная база нуждаются в доработке и установлении единых критериев обязательности применения первых.

Применительно к работникам атомной отрасли немаловажным остается вопрос о соответствии образования и опыта работы лица тем требованиям, которые отражены в профессиональных стандартах. К примеру, если в них содержится условие о повышении квалификации работников, то, несомненно, такую процедуру должен обеспечить сам работодатель для выполнения требований обязательного характера, изложенных в профессиональных стандартах, что не всегда соблюдается и приветствуется сторонами трудовых отношений.

Во многих трудовых договорах с работниками, а также в иных кадровых документах наблюдается дисбаланс между требованиями профессиональных стандартов обязательного и договорного характера. Соответственно, на работников, занимающих однородные должности, возлагается разный спектр должностных обязанностей, что является прямой дискриминацией в сфере труда.

Судебная практика в этой связи также неоднозначна, позиция многих судей основывается на детальном прочтении конкретного профессионального стандарта и включении в текст должностной инструкции всех без исключения его положений. Тогда как другие считают, что достаточно соблюдения лишь ключевых трудовых действий и «переписывать полный текст профессионального стандарта не требуется».

Отдельно следует отметить, что в России надлежит внедрить обязательность проведения независимой оценки квалификации работника через специально учрежденные Центры оценки квалификаций. На сегодняшний день, такие Центры существуют, но процедура оценки не является обязательной, поэтому в ней, по сути, не заинтересован ни работодатель, ни сам работник. Хотя именно Центры могут дать объективную профессиональную оценку той квалификации, которой обладает работник, и выдать ему соответствующий документ об этом (сертификат, удостоверение и др.).

Таким образом, подводя итог, можно сказать о том, что актуализация профессиональных стандартов в атомной энергетике должна отталкиваться от четкой

нормативной базы, обязывающей их применение со стороны работодателей. Особая роль здесь отводится квалификационным требованиям работников атомной отрасли как стратегически важному сектору экономики нашей страны. Поэтому проверка (оценка) квалификаций указанной категории работников должна иметь распорядительно обязывающий характер.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шибяев А.А. Инновационная экономика: роль профессиональных стандартов / А.А. Шибяев // Вестник научно-исследовательского института труда и социального страхования. – 2010. – № 2 / 3. – С. 116-119.
2. Драчук М.А. Роль профессиональных стандартов в построении современной нормативной модели рынка труда / М.А. Драчук // Трудовое право в России и за рубежом. – 2016. – № 3. – С. 50-53.
3. Саликова Н.М., Кучина Ю.А. Актуальные проблемы внедрения профессиональных стандартов / Н.М. Саликова, Ю.А. Кучина // Трудовое право и право социального обеспечения. – 2017. – № 5. – С. 79-83.

УДК 349.7

## КОРРУПЦИЯ В СФЕРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАКУПОК КАК УГРОЗА ФИЗИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

**Брагина Е.А.**

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

**Аннотация.** В настоящей статье рассматривается взаимосвязь между коррупционными практиками в процессе государственных закупок и их потенциальным воздействием на физическую ядерную безопасность. подчеркивает, что без должного контроля за целевым использованием бюджетных средств и закупок в ядерной сфере, вероятность возникновения угрозы национальной безопасности возрастает. Контекст статьи расширяет проблему, ставя её в рамки глобальных вызовов современного общества, таких как борьба с терроризмом, нарастающие конфликты и изменения в международной политике/

**Ключевые слова:** государственные закупки, физическая ядерная безопасность, коррупция, взяточничество, нецелевое расходование бюджетных средств, обязательств по нераспространению ядерного оружия.

## CORRUPTION IN PUBLIC PROCUREMENT AS A THREAT TO THE NUCLEAR SECURITY OF THE STATE

**Bragina E.A.**

*Volgodonsk Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI",  
Volgodonsk, Russia  
advokat.bragina@mail.ru*

**Abstract.** This article examines the relationship between corrupt practices in the public procurement process and their potential impact on nuclear security. He emphasizes that without proper control over the targeted use of budgetary funds and purchases in the nuclear field, the likelihood of a threat to national security increases. The context of the article expands the problem, placing it within the framework of global challenges of modern society, such as the fight against terrorism, growing conflicts and changes in international politics.

**Keywords:** public procurement, nuclear security, corruption, bribery, misuse of budget funds, obligations on non-proliferation of nuclear weapons.

Государственные закупки являются одним из ключевых инструментов в экономической стратегии государства. Они направлены на концентрацию материальных, трудовых, научных и промышленных ресурсов для реализации критически важных социальных и экономических задач. Через надлежащие закупки возможно не только обеспечение государственных нужд, но и внедрение инновационных технологий и поддержка отечественного производства.

Вместе с тем, указанная сфера нередко становится объектом внимания лиц, использующих свое служебное положение в целях незаконного обогащения. Так, например, в 2023 году в отношении генерального директора ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (НО РАО, входит в госкорпорацию «Росатом») было возбуждено уголовное дело. По версии Следственного комитета, от руководства ООО «Спецпроект» за четыре заключенных госконтракта, относившихся к периоду 2018–2021 гг., а также за подписание в будущем новых договоров он получил 132,5 млн. рублей в качестве взяток. От обвиняемого также напрямую зависела оценка и приемка работ, которые выполняло доверенное им предприятие.

По оценкам Счетной палаты РФ, каждый пятнадцатый рубль, выделенный из государственного бюджета, тратится с нарушениями. Вместе с тем, коррупция в сфере государственных закупок – это не только экономическая проблема, но и угроза физической и ядерной безопасности государства. В случаях, когда речь идет о государственных закупках, особенно в стратегически важных областях, включая оборонные технологии или ядерные программы, коррупция может иметь катастрофические последствия. Как отмечал известный физик Ричард Фейнман: «Если что-то может пойти не так, оно пойдет не так».

Физическая и ядерная безопасность государства зависит от строгого контроля за закупками технологий и материалов, связанных с ядерно-энергетическим комплексом. Когда коррупция проникает в эту сферу, возможности для манипуляций и злоупотреблений возрастают.

Один из наиболее ярких примеров того, как коррупция может угрожать ядерной безопасности, был замечен в Украине в начале 2000-х годов. В то время произошли многочисленные случаи нецелевого расходования средств, выделенных на модернизацию атомных реакторов. Из-за недостаточного контроля средства использовались не по назначению, что, в конечном счете, могло поставить под угрозу безопасность использующихся в стране атомных станций. В результате недобросовестного управления и коррупционных схем Украина оказалась на грани ядерной катастрофы.

Кроме того, коррупция также угрожает контролю над ядерными материалами. Когда закупки осуществляются без соответствующего надзора, появляется риск того, что ядерные материалы могут попасть в руки террористов или подпольных группировок. Примером может служить ситуация в некоторых странах Ближнего Востока, где коррупция способствовала утечке ядерных материалов на черный рынок, что вызвало серьезные опасения в международном сообществе.

На уровне международной политики коррупция в оборонной сфере и сфере ядерной энергетики может также привести к нарушению обязательств по нераспространению ядерного оружия. Когда государства уступают коррупционному давлению, допустимые стандарты безопасности могут существенно снижаться, что влечет за собой серьезные риски не только для внутренней безопасности страны, но и для глобальной ядерной безопасности.

«Несовершенство российского уголовного законодательства, существующие механизмы борьбы с коррупционными преступлениями, в том числе и сама система назначения наказания, – отмечает профессор Г.И. Чечель [1, с. 45], – оказались малоэффективными». Выбирая методы борьбы со взяточничеством, отечественное уголовное право отдало предпочтение лишь репрессивной составляющей, оставив коррупционные факторы вне зоны их правового воздействия. Подобное несовершенство и бесперспективность избранного направления заставляет всё научное сообщество объединять свои усилия для создания эффективного уголовного закона, направленного на предупреждение и пресечение использования своего служебного положения в целях незаконного обогащения. Система эффективного контроля за закупками и прозрачности также является важной мерой по борьбе с коррупцией в ядерной сфере. Необходимо внедрять механизмы, позволяющие гражданам и правозащитным организациям следить за процессом государственных закупок, особенно в тех областях, которые касаются ядерной

безопасности. Нельзя недооценивать важность человеческого фактора в борьбе с коррупцией и защите ядерной безопасности.

Эффективные меры борьбы с коррупцией помогут создать уверенность в том, что ядерные технологии и материалы защищены, а их использование соответствует международным стандартам безопасности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чечель Г.И. Наказание – как мера противодействия коррупции // Актуальные проблемы правоприменения и управления на современном этапе: сборник статей по материалам национальной заочной научно-практической конференции (Ставрополь, 17-18 июня 2019). – Ставрополь: Издательско-информационный центр «Фабула», 2019. – С. 43-53.

УДК 378:621.039

## МОЛОДЁЖЬ КАК СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

**Волгина С.В.<sup>1</sup>, Довбыш В.Е.<sup>2</sup>, Рогачева Ж.С.<sup>3</sup>**

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

*<sup>1</sup> SVVolgina@mephi.ru; <sup>2</sup> VEDovbysh@mephi.ru; <sup>3</sup> ZSRogacheva@mephi.ru*

**Аннотация.** В работе рассматривается значимость потенциала молодежи в обеспечении развития атомной отрасли в соответствии со стратегическими задачами ГК «Росатом» на перспективу до 2035 года. Определены основы сотрудничества представителей ядерной отрасли с сектором образования, планомерной работы по раскрытию потенциала студентов. Представлен опыт работы ВИТИ НИЯУ МИФИ с молодежью, что обеспечивает реализацию стратегических задач атомной отрасли.

**Ключевые слова:** ГК «Росатом», молодежь, стратегический потенциал, атомная отрасль.

## YOUTH AS STRATEGIC POTENTIAL NUCLEAR INDUSTRY DEVELOPMENT

**Volgina S.V.<sup>1</sup>, Dovbysh V.E.<sup>2</sup>, Rogacheva J.S.<sup>3</sup>**

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

*<sup>1</sup> SVVolgina@mephi.ru; <sup>2</sup> VEDovbysh@mephi.ru; <sup>3</sup> ZSRogacheva@mephi.ru*

**Abstract.** The paper examines the importance of the potential of young people in ensuring the development of the nuclear industry in accordance with the strategic objectives of Rosatom State Corporation for the future until 2035. The foundations of cooperation between representatives of the nuclear industry and the education sector and systematic work on unlocking the potential of students have been determined. The article presents the experience of VITI NRNU MEPhI working with young people, which ensures the implementation of strategic objectives of the nuclear industry.

**Keywords:** Rosatom State Corporation, youth, strategic potential, nuclear industry.

Безопасность и устойчивость атомной отрасли в значительной степени зависят от качества подготовки высококвалифицированных кадров, формирования кадрового резерва, воспитания молодого поколения будущих специалистов, отвечающих потребностям предприятий ГК «Росатом», способных решать стратегические задачи отрасли в обеспечении технологического суверенитета нашей страны.

На сегодняшний день основной ресурс кадрового обеспечения Концерна составляет 34500 человек работающих на 36 действующих блоках АЭС. До 2035 года запланировано строительство ещё 43 блоков (17 блоков в России и 26 блоков за рубежом) [1].

Развитие атомных технологий, строительство новых блоков АЭС в России – это сопряжено с созданием новых рабочих мест и ростом качества жизни людей в городах размещения атомных станций. Реализация стратегических задач Концерна по формированию

кадрового резерва Дивизиона 2035 года требует подготовки порядка 100 тыс. человек для новых строящихся блоков АЭС в России и порядка 1200 человек для зарубежных блоков. Амбициозные цели, которые ставит перед собой ГК «Росатом» требуют соответствующей кадровой поддержки.

В целях обеспечения работоспособности коллективов АЭС, управления средним возрастом сотрудников, усилия должны быть сосредоточены на приеме молодых специалистов, выпускников вузов и ссузов. В связи с этим важно:

- поддержание численности персонала действующих АЭС;
- увеличение приема выпускников ВО и СПО;
- поддержание специального резерва Концерна на заданном уровне.

На сегодняшний день в дивизионе работает порядка 31 % молодых работников, а это более 20 тыс. человек. Как отмечает генеральный директор АО «Концерн Росэнергоатом» Александр Шутиков: «Для решения поставленных задач, необходимо принять 10 тыс. выпускников и успешно их адаптировать для совместной работы молодежи над приоритетными для отрасли направлениями» [2].

По мнению председателя Отраслевого совета молодежи Марии Зотовой, «молодежная политика должна опираться на три составляющие: запрос руководства предприятия, дивизиональную и отраслевую повестки (с дальнейшим выходом на федеральный и международный уровни)» [3].

Порядка 20 тыс. человек выпускников составляет потребность в кадровых ресурсах Концерна на перспективу – 2035 год. Для этого необходимо увеличить прием (трудоустройство выпускников) до среднего уровня 1600 человек ежегодно. Это требует решения следующих задач по обеспечению набора и удержанию молодых специалистов:

- развитие целевого обучения (заключение целевых договоров) в вузах и ссузах;
- установление приоритетных связей вуз – АЭС для снижения внутренней конкуренции в Дивизионе;
- обеспечение конкурентных условий работы (условия труда, наставничество, адаптация и т.п.);
- увеличение времени прохождения производственной практики на АЭС и последующего раннего трудоустройства на предприятие;
- формирование адекватного пакета поддержки молодых специалистов (через гранты, карьерное консультирование, обеспечение культурного и физического развития и др.).

По итогам 2023 года 23% трудоустроенных на предприятия Концерна составляют выпускники НИЯУ МИФИ. К 2030 году на предприятия ГК «Росатом» должны быть трудоустроены из МИФИ вузов и колледжей не менее 570 человек в год. В связи с этим, приоритетными направлениями работы в развитии МИФИ и его филиалов должны стать:

1. Обеспечение удовлетворения возрастающей кадровой потребности Концерна (выполнения плана по трудоустройству).
2. Работа со школами по формированию абитуриентской базы (предуниверситарий).
3. Совершенствование образовательного процесса и укрепление материально-технической базы (создание современной комфортной среды для обучения и проживания студентов).
4. Практико-ориентированное обучение (обеспечивающее бесшовную подготовку специалистов, раннее трудоустройство и быструю адаптацию на предприятии).
5. Подготовка и переподготовка кадров в соответствии с запросами предприятий отрасли (расширение перечня реализуемых программ ДПО).
6. Создание новых и адаптация существующих образовательных программ под задачи Концерна.

ВИТИ НИЯУ МИФИ транслирует на территории региона интересы НИЯУ МИФИ как стратегического партнера ГК «Росатом» в сфере подготовки кадров. Это единственный опорный вуз на Юге России, осуществляющий подготовку выпускников для атомной

отрасли. Ежегодно свыше 100 выпускников нашего института трудоустраиваются на предприятия-партнеры атомной отрасли, обеспечивая молодыми специалистами полный производственный цикл атомной энергетики: от строительства АЭС, проектирования, изготовления и монтажа оборудования, до его эксплуатации, поддержания работоспособности и вывода из эксплуатации.

Институтом накоплен значительный опыт работы с молодежью, развитию ее творческого потенциала, формированию высокого уровня культуры и патриотизма. В процессе обучения формируются компетенции инженера-лидера, столь важные для решения стратегических задач в обеспечении технологического суверенитета страны. Инженера, который способен осуществлять квалифицированное управление продуктами инженерной деятельности, разрабатывать технологические проекты и реализовывать их на высокотехнологичных предприятиях.

ВИТИ НИЯУ МИФИ осуществляет работу с молодежью в различных форматах.

Отбор и привлечение талантливой молодежи в атомную отрасль – одна из приоритетных задач института. Создан и работает «Атомный технопарк» как стартовая площадка для решения реальных производственных задач. Работа «Атомного технопарка» позволяет выстроить образовательную траекторию «Школа - Атомный технопарк – институт - предприятия ГК «Росатом». Внедряется EdTech в школьное образование (работает Яндекс-лицей; ежегодно проводятся «AtomCamp» – проектные и инженерные образовательные интенсивы для школьников); работает Летняя научно-техническая школа «Юный атомщик» – летний лагерь для школьников города и региона. В 2023 году открыта в формате предуниверситария инженерно-технологическая гимназия «Юнона» при ВИТИ НИЯУ МИФИ.

Ведется работа по созданию новых исследовательских команд с участием молодежи, реализация совместных образовательных и инновационных инфраструктурных проектов под запросы ГК «Росатом». Ресурсный центр ГК «Росатом» – НИЯУ МИФИ, в котором реализуется обучение студентов/магистрантов/аспирантов на русском и английском языках; проводятся исследования с последующей защитой диссертаций. На базе НИИ атомного энергетического машиностроения студенты участвуют в проведении научных исследований и выполнении НИР; действует студенческая лаборатория.

Накоплен значительный опыт проведения мероприятий, направленных на формирование корпоративной культуры, работы в команде, развитию лидерских качеств.

Таким образом, сегодня реализуется комплекс мер, который позволяет молодым специалистам стать частью профессионального сообщества. На предприятиях Росатома формируются условия для развития диалога практиков и действующих экспертов с инициативными учащимися и закрепления наиболее эффективных наработок. Практики целевого привлечения молодых профильных специалистов на стажировки, наставничество, вовлечение в образовательный процесс практикующих специалистов – это все примеры инструментов, показавших свою эффективность. Именно совместная командная работа вузов с предприятиями ГК «Росатом» по формированию кадрового потенциала, воспитанию современной молодежи, и является залогом успеха в обеспечении реализации стратегических задач атомной отрасли.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт ГК «Росатом» Режим доступа: <https://rosatom.ru/about/> (дата обращения: 15.07.2024)
2. Официальный сайт Технической академии Росатом. На V Молодежном слете дивизиона «Электроэнергетический» молодые работники и студенты обсудили достижение стратегических целей отрасли. Режим доступа: <https://rosatomtech.ru/media/news-article/na-v-molodezhnom-slete-divizionaelektroenergeticheskij-molodie-rabotniki-i-studenti-obsudili-dostizhenie-strategicheskikh-celey-otrasli/> (дата обращения: 15.07.2024)
3. Официальный сайт органов местного самоуправления города Курчатова Курской области. Молодежь обсуждает перспективы атомной энергогенерации. Режим доступа: [https://kurchatov.gosuslugi.ru/dlya-zhiteley/novosti-i-reportazhi/novosti\\_1597.html](https://kurchatov.gosuslugi.ru/dlya-zhiteley/novosti-i-reportazhi/novosti_1597.html) (дата обращения: 15.07.2024)

## **ПРОФЕССИОНАЛЬНО – ЛИЧНОСТНОЕ СТАНОВЛЕНИЕ БУДУЩЕГО СПЕЦИАЛИСТА В ИННОВАЦИОННОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ «ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА – ПРОФИЛЬНЫЙ ВУЗ – РОСАТОМ»**

**Волощук А.В.**

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

**Аннотация.** Статья посвящена подходам к подготовке кадров для атомной отрасли. Поднимается вопрос о важности взаимодействия образовательных организаций и предприятий Росатома. Представлен опыт профориентационной работы ВИТИ НИЯУ МИФИ в построении инновационной целевой модели «Инженерная школа – Профильный вуз – Росатом».

**Ключевые слова:** ГК «Росатом», атомная отрасль, инженерная школа, профильный вуз, подготовка кадров.

## **PROFESSIONAL AND PERSONAL DEVELOPMENT THE FUTURE SPECIALIST IN AN INNOVATIVE EDUCATIONAL SPACE "ENGINEERING SCHOOL – SPECIALIZED UNIVERSITY – ROSATOM"**

**Voloshchuk A.V.**

*Volgodonsk Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI",  
Volgodonsk, Russia  
AVVoloshchuk@mephi.ru*

**Abstract.** The article is devoted to approaches to personnel training for the nuclear industry. The issue of the importance of interaction between educational organizations and Rosatom enterprises is raised. The experience of career guidance work of VITI NIYAU MEPhI in building an innovative target model "Engineering school – Specialized university – Rosatom" is presented.

**Keywords:** Rosatom State Corporation, nuclear industry, engineering school, specialized university, personnel training.

Подготовка кадров для атомной отрасли и других высокотехнологичных отраслей национальной экономики является одной из ключевых проблем, стоящих перед образовательными организациями и предприятиями. Как отмечает Алексей Лихачев, генеральный директор Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» - «Готовить специалистов начинаем со школьной скамьи. В атомных городах на базе общеобразовательных школ реализуем проект «Школа Росатома». Мы открыли более 100 специализированных классов: атомных, инженерных, менделеевских, что дает возможности для углубленного изучения естественнонаучных и точных дисциплин. Вовлекаем школьников со всей страны в наше движение инженерно-технического творчества «Юниоры Росатома». Ведем большую работу с высшими учебными заведениями, здесь наша точка взаимодействия - консорциум из 20 опорных вузов Росатома во главе с НИЯУ МИФИ. Филиалы этого университета - главный источник кадров для предприятий ядерного оружейного комплекса и атомных станций» [1]. Сегодня востребованы выпускники школ, ориентированные на инженерно-технические специальности, способные к техническому творчеству и инновационному мышлению. По мнению ректора НИЯУ МИФИ Владимира Шевченко - наиболее важной задачей, которую необходимо решить для подготовки будущих технологических лидеров России на этапе обучения школьников – научить школьников пониманию сути физических явлений и процессов. Именно это всегда выделяло нашу отечественную инженерную школу, и это будет определяющим в развитии новых технологий. Важно включать учащихся в проектную и исследовательскую деятельность,

необходима предпрофессиональная подготовка и профориентация. Эта работа должна вестись школами, университетами и корпорацией совместно [2].

В ВИТИ НИЯУ МИФИ реализуется комплекс мер по ранней профориентации и довузовской подготовке школьников, позволяющий существенно повысить качество набора, привлечь в качестве абитуриентов талантливую молодежь. Сегодня необходима подготовка кадров по принципиально новой схеме – создание школ при ведущих вузах – предуниверситариях. Ключ к решению этой задачи – построение инновационной целевой модели «Инженерная школа – Профильный вуз – Росатом». Это стало предпосылкой создания инженерной школы в городе Волгодонске. Спустя 30 лет, в городе Волгодонске, 1 сентября 2023 г. открылась инженерно – технологическая Гимназия «Юнона» при ВИТИ НИЯУ МИФИ» г. Волгодонска. Ведущим партнером института и Гимназии является филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «РоАЭС», Сальников А.А. – Заместитель Генерального директора – директор филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «РоАЭС» возглавляет ученый совет нашего вуза. Создана и утверждена Ученым советом ВИТИ НИЯУ МИФИ Программа стратегического партнерства МБОУ «ИТ Гимназия «Юнона» г. Волгодонска, ВИТИ НИЯУ МИФИ и филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция» по развитию школьного инженерно – технологического образования на 2024 – 2030 годы. Новизной данного проекта является системный подход к организации инновационного образовательного пространства: урочная деятельность – внеурочная деятельность – дополнительное образование – воспитательная деятельность – родительское сообщество – научно – исследовательская и проектная деятельность – потенциал партнеров. Преимущества обучения в инженерно – технологической гимназии: – высокий уровень образования – углубленное изучение профильных дисциплин под руководством опытных преподавателей ВИТИ НИЯУ МИФИ; – возможность посещать мастер – классы и открытые лекции ведущих ученых вуза; – участие в олимпиадах и конкурсах НИЯУ МИФИ и ГК «Росатом»; – выявление и развитие одаренных детей в соответствии с профилем обучения; – постепенная адаптация к вузовской среде; – развитие SOFT-компетенций, начальных профессиональных знаний и умений. В режиме образовательного аутсорсинга гимназия использует материально-технические возможности ВИТИ НИЯУ МИФИ и Ростовской АЭС. На базе лабораторий и площадей Атомного технопарка ВИТИ НИЯУ МИФИ реализуются в каникулярное и внеурочное время мероприятия инженерной направленности для учащихся 1–11 классов. Также учащиеся имеют доступ к предметным видеолекциям, библиотеке ВИТИ НИЯУ МИФИ, электронным библиотекам; возможность пользоваться другими инфраструктурными объектами. Партнерство с филиалом АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция» направлено на поддержку образовательных проектов и инициатив учащихся. Им предоставляется возможность посещать образовательные экскурсии в Учебно – тренировочное подразделение, Информационный центр. Для учащихся Гимназии сотрудниками Ростовской АЭС проводятся лекции, встречи с учеными и высококвалифицированными специалистами атомной станции, социокультурные мероприятия, что позволит учащимся определиться с оптимальной образовательной траекторией, связанной с выбором будущей специальности в атомной отрасли.

Дополнительное образование представлено программами по выбору.

– Дидактические игры по физике (1-4 классы); – Веб-дизайн и разработка; – Робототехника: конструирование и программирование; – Компьютерная грамотность; – Моделирование Аниме персонажей; – Программирование. Python для начинающих; – Первые шаги в физических знаниях (5-6 классы); – Школа удивительной физики (7-8 классы); – Методы решения физико-технических задач (10-11 классы); – Основные понятия и принципы работы АЭС (10-11 классы); – Основы технологических процессов в машиностроении (9-11 классы).

Проектная часть программы представлена тремя проектами:

Проект развития 1: «Знакомство с наукой» (1-4 классы).

Проект развития 2: «Первые научные открытия» (5-9 классы).

Проект развития 3: «Научно-исследовательские проекты» (10-11 классы).

Учащиеся принимают участие в мероприятиях, проводимых на площадках вуза: – профориентационных – Дни открытых дверей, дни карьеры, экскурсии в лаборатории кафедр и на производственные площадки предприятий-партнеров, Летняя научно-техническая детская школа «Юный атомщик», Летняя школа «Робототехника: конструирование и программирование», Инженерная смена, AtomCamp» и др.; – культурно-массовых и гражданско-патриотических. Одной из задач ставим - приобщение учащихся к ценностям и традициям ГК «Росатом». В январе–феврале 2024 г. в рамках программы академической мобильности 15 учащихся 9-10 классов МБОУ «ИТ- Гимназия «Юнона» прошли обучение в Университетском Лицее №1511 Предуниверситария НИЯУ МИФИ, с целью знакомства с НИЯУ МИФИ, его статусом, имиджем, структурными подразделениями, понимания необходимости высокого уровня подготовки для поступления в университет. С 1 по 5 июля 2024 г. на базе Атомного технопарка для 60 учащихся проведены: атомная сессия для обучающихся из предуниверситариев НИЯУ МИФИ (г. Москва) и ТИ НИЯУ МИФИ (г. Лесной) и Летняя школа для учащихся из ИТ- гимназии «Юнона». Реализованный впервые проект направлен на глубокое вовлечение в мир научных исследований одаренных детей, имеющих склонность к физико-математическим наукам. Его главная цель – подготовка высококвалифицированных кадров для предприятий атомной отрасли.

В ВИТИ создана развивающая и воспитывающая среда для раскрытия талантов и способностей, формирования высококультурной, личности, способной к развитию и профессиональному росту. Как отмечала Ю. Ужакина, гендиректор АНО «Корпоративная академия Росатома» на Петербургском международном экономическом форуме «Очень важно следить не только за тем, какие знания приобретаются в профессии, но и какими людьми выходят из вузов, ... выпускников вузов мы стараемся не только доучивать, но и доращивать как людей» [3]. Такая позиция говорит об изменении отношения работодателей к результатам выпуска вузов.

Таким образом, инновационная целевая модель «Инженерная школа – Профильный вуз – Росатом» позволит осуществить качественную непрерывную профессиональную и социальную подготовку будущих инженерных кадров. Профессионалы, обладающие надлежащими техническими и управленческими навыками необходимы в современном производстве в области ядерной энергии. Данная модель может быть использована при проектировании профильных моделей профориентационной, довузовской подготовки на базе других образовательных организаций, так как отражает необходимое содержание и инструментарий для качественной подготовки учащихся к обучению в техническом вузе и будущему трудоустройству на предприятия атомной отрасли.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт ГК «Росатом». Режим доступа: [https://rosatom.ru/journalist/interview/aleksey-ikhachev-v-stranakh-nashego-prisutstviya-my-stroim-tselye-otrasli/?sphrase\\_id=5850730](https://rosatom.ru/journalist/interview/aleksey-ikhachev-v-stranakh-nashego-prisutstviya-my-stroim-tselye-otrasli/?sphrase_id=5850730) (дата обращения: 29.08.2024)
2. Официальный сайт ГК «Росатом». Режим доступа: [https://rosatom.ru/journalist/news/sostoyalas-konferentsiya-uchitel-dlya-rosatoma-vozmozhnosti-i-perspektivy-professionalnogo-razvitiya/?sphrase\\_id=5850635](https://rosatom.ru/journalist/news/sostoyalas-konferentsiya-uchitel-dlya-rosatoma-vozmozhnosti-i-perspektivy-professionalnogo-razvitiya/?sphrase_id=5850635) (дата обращения: 29.08.2024)
3. «Мы учимся договариваться»: тезисы образовательной дискуссии ПМЭФ-2021. [Сайт]: РБК. Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/education/60c0a8779a794761a6d7059e> (дата обращения: 29.08.2024)

## НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ С УЧЕТОМ ОТРАСЛЕВЫХ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ

Головко М.В.<sup>1</sup>, Руденко В.А.<sup>2</sup>, Томилин С.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

<sup>2</sup>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия

<sup>1</sup>golovko@mail.ru; <sup>2</sup>VARudenko@mephi.ru; <sup>3</sup>SATomilin@mephi.ru

**Аннотация.** В статье приведены основные направления развития человеческого потенциала в образовательных организациях с учетом требований стратегического развития отраслевых предприятий-партнеров. Проведен анализ специфики формирования человеческого потенциала предприятий атомного энергетического машиностроения в соответствии с перспективными трендами стратегического развития. Выявлено значение навыков проектной работы как основного формата инновационных проектов дивизионов Росатома и предложен алгоритм их развитию у магистрантов выпускного курса.

**Ключевые слова:** стратегические цели, человеческий потенциал, компетенции, атомное энергетическое машиностроение.

## THE DIRECTIONS OF HUMAN POTENTIAL DEVELOPMENT OF NUCLEAR POWER ENGINEERING ENTERPRISES, TAKING INTO ACCOUNT INDUSTRY STRATEGIC TRENDS

Golovko M.V.<sup>1</sup>, Rudenko V.A.<sup>2</sup>, Tomilin S.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

<sup>2,3</sup>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI", Russia

<sup>1</sup>golovko@mail.ru; <sup>2</sup>VARudenko@mephi.ru; <sup>3</sup>SATomilin@mephi.ru

**Abstract.** The article presents the main directions of human potential development in educational organizations, taking into account the requirements of strategic development of industry partner enterprises. The analysis of the specifics of the formation of the human potential of nuclear power engineering enterprises in accordance with promising trends in strategic development is carried out. The importance of project work skills as the main format of innovative projects of Rosatom divisions is revealed and an algorithm for their development among graduate students is proposed.

**Keywords:** strategic goals, human potential, competencies, nuclear power engineering.

Достижение стратегических целей Росатома требует максимальной вовлеченности сотрудников во все бизнес-процессы, их стремления развиваться вместе с технологиями и осваивать несколько профессиональных направлений в течение жизни (с учетом скорости меняющихся технологий). Безусловно, важнейшим этапом в подготовке кадров для атомной отрасли являются образовательные организации высшего образования. Консорциум опорных вузов Росатома является интеграционным объединением ведущих университетов страны, осуществляющих подготовку кадров для атомной отрасли [1].

Рассмотрим реализацию стратегических целей в направлении формирования кадрового потенциала предприятий Росатома на примере предприятий машиностроительного дивизиона, которые обладают стратегическим значением для России, что обуславливает повышенный интерес научного сообщества к исследованию детерминантов и особенностей их экономического развития и становления, а также определяет актуальность проблемы кадрового обеспечения. В основе эффективности решения данного вопроса лежит тесное сотрудничество предприятий атомного энергетического машиностроения с вузами, осуществляющими подготовку специалистов, для решения следующих задач:

- согласование и своевременная корректировка компетентностных моделей выпускников;
- формирование запросов на организацию научно-исследовательской работы научно-педагогических кадров и студентов по актуальным для предприятия темам;
- обеспечение тесной связи теории и практики путем привлечения представителей работодателей к образовательному процессу (чтений лекций, консультации, тьюторская поддержка и проч.);
- создание релевантных институциональных форм взаимодействия с талантливой молодежью – кванториумы, «точки кипения», коворкинги, технопарки и проч.
- организация профессионального развития сотрудников предприятий и преподавателей вузов и обмена прогрессивным опытом при реализации совместных программ и интенсивов по наиболее востребованным направлениям на базе отраслевых центров компетенций;
- ранняя профориентация и профессиональное обучение школьников – будущих студентов технических вузов – в рамках технопарков (например, Атомный технопарк ВИТИ НИЯУ МИФИ, реализующий программы дополнительного довузовского образования), профильных классов (например, атомклассы), предуниверситариатов (с углубленным изучением математики, физики и информатики) и даже школ при образовательных организациях высшего образования (например, МБОУ «Инженерно-технологическая гимназия «Юнона» при ВИТИ НИЯУ МИФИ»).

Подобный компетентностный (и коллективный) подход к управлению человеческим потенциалом и образовательной деятельностью позволяет обеспечить конкурентоспособность предприятий (и вузов, в том числе) на фоне конъюнктурных колебаний, инновационную активность и прирост итоговых финансово-экономических показателей [2].

Учитывая роль и значение инновационной активности персонала для развития предприятий и территорий, необходимо максимально эффективно управлять процессом формирования интеллектуального потенциала, ориентируясь на раннее выявление талантов и способностей к инженерному творчеству, инновационному предпринимательству, решению изобретательских задач и проч. [3]. Разработка и реализация проектов развития востребованных компетенций может строиться с учетом различных направлений, предполагающих вовлечение разных по возрасту и статусу категорий граждан – это не только сотрудники и студенты образовательных организаций высшего и среднего профессионального образования, но и ветераны производства (пенсионеры), а также дети (школьные и дошкольные образовательные учреждения) (рисунок 1).

Особую роль в развитии кадрового потенциала играет формирование у выпускников навыков проектной работы, поскольку именно в данном формате разрабатываются и реализуются инновационные решения в дивизионах Росатома. Так, в частности, для развития персонала АО «Атомэнергомаш» проводятся форсайт-сессии по генерации бизнес-идей, получающих развитие в преакселераторах в рамках программы развития молодежи STEAM ((science, technology, engineering, math) – программа обучения, сочетающая занятия естественными науками, технологией, инженерией и математикой). Основная цель мероприятия – вовлечение высокопотенциальной молодежи машиностроительного дивизиона в проектную работу по генерации бизнес-идей и новых продуктов с учетом стратегических целей, а также для повышения эффективности деятельности предприятий и дивизиона в целом. Участники должны осуществлять проверку рыночных гипотез по своим продуктам, взаимодействовать с потенциальными клиентами, искать новые направления развития проектов, изучать реальные запросы и новые сегменты рынка. Оценка проектов ведется, исходя из рыночных перспектив, наличия или отсутствия конкурентных преимуществ, а также реалистичности планов по реализации. В 2024 г. Атомэнергомаш в сотрудничестве с «Иннохабом Росатома» планирует расширить практику работы с проектными командами в формате форсайт-сессий и на другие предприятия дивизиона.

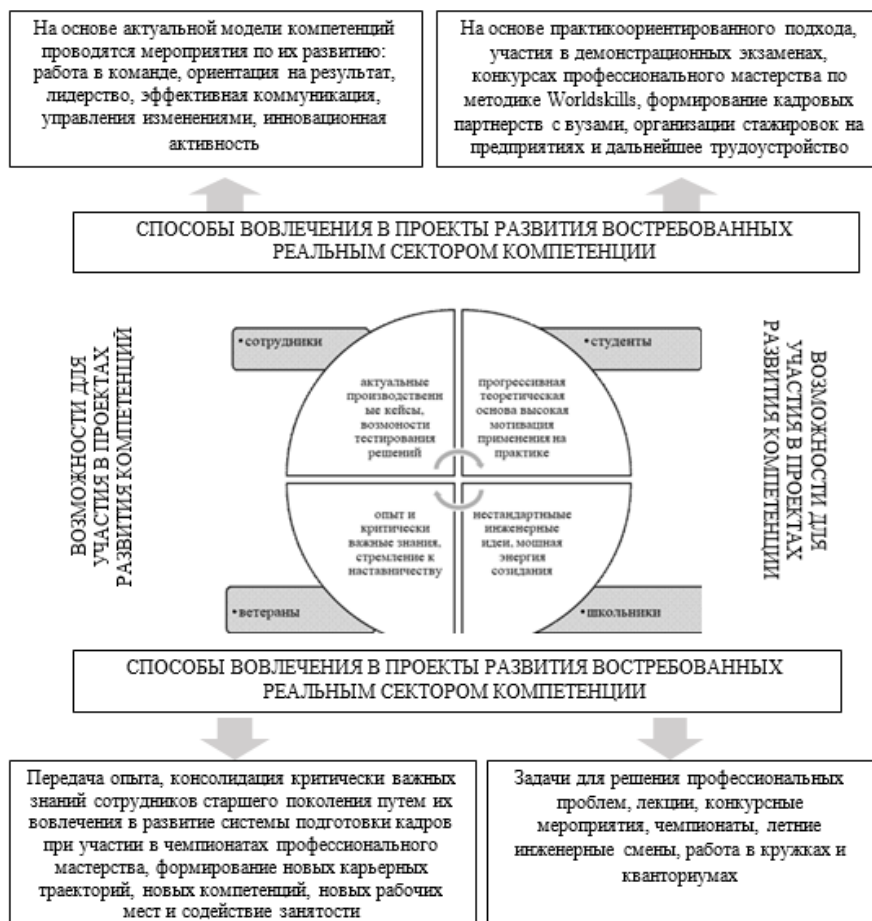


Рисунок 1 – Способы и направления вовлечения в проекты развития организаций востребованных компетенций (составлено авторами)

Указанные перспективы для молодых специалистов требуют включения и/или развития в учебных планах дисциплин, связанных с формированием навыков организации научно-исследовательской работы и работы в проектных командах. В соответствии с обозначенным мейнстримом, можно предложить образовательным организациям алгоритм работы с обучающимися по программам магистратуры, опирающийся на проблемно-ориентированный подход (рисунок 2).



Рисунок 2 – Алгоритм работы с магистрантами в интересах предприятий-работодателей (составлено авторами)

Представленный на рисунке 2 алгоритм может одним из решений проблемы кадрового дефицита и актуализации структуры компетенций молодых специалистов, позволяющих обеспечить устойчивый экономический рост предприятий атомного энергетического машиностроения в контексте стратегических ориентиров проектов развития организаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руденко, В.А. Синхронизация задач отраслевых вузов со стратегией развития ГК «Росатом» как фактор обеспечения безопасности атомной энергетики / В. А. Руденко, М. В. Головкин, С. А. Томилин, О. Ф. Цуверкалова // Глобальная ядерная безопасность. – 2020. – № 1(34). – С. 98-106.
2. Головкин, М. В. Развитие отраслевых компетенций в вузе как фактор обеспечения безопасности предприятий атомной отрасли / М. В. Головкин, А. А. Лапкис, А. Н. Сетраков // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 1(42). – С. 67-74.
3. Флек, М. Б. Взаимодействие вуза и предприятия: опыт базовой кафедры в подготовке инженерных кадров / М. Б. Флек, Е. А. Угнич // Университетское управление: практика и анализ. – 2020. – Т. 24, № 3. – С. 122-136.

УДК 159.923

## ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

**Зеленова Г.В.<sup>1</sup>, Евецкая С.В.<sup>2</sup>, Алексеева О. П.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия

<sup>2</sup>Волгодонский филиал Ростовского юридического института МВД России, Волгодонск, Россия

<sup>3</sup>Российский университет транспорта (ПУТ МИИТ) Москва, Россия

<sup>1</sup>[GVZelenova@mephi.ru](mailto:GVZelenova@mephi.ru), <sup>2</sup>[evetskaja.svetl@yandex.ru](mailto:evetskaja.svetl@yandex.ru), <sup>3</sup>[olgaalekseeva@yahoo.com](mailto:olgaalekseeva@yahoo.com)

**Аннотация.** В статье рассматриваются проблемные вопросы, связанные с психологической безопасностью образовательной среды, раскрываются важность и значимость психологической безопасности образовательной среды для развития и формирования личности, выделяются, на основе проведенного опроса показатели психологической безопасности образовательной среды технического вуза.

**Ключевые слова:** безопасность, психологическая безопасность, угрозы, образовательная среда.

## PSYCHOLOGICAL SAFETY OF THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF A TECHNICAL UNIVERSITY

**Zelenova G. V.<sup>1</sup>, Evetskaya S. V.<sup>2</sup>, Alekseeva O. P.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Rostov Law Institute of the MIA of the Russian Federation (Volgodonsk branch),

<sup>3</sup>Russian University of Transport (RUT MIIT)

<sup>1</sup>[GVZelenova@mephi.ru](mailto:GVZelenova@mephi.ru), <sup>2</sup>[evetskaja.svetl@yandex.ru](mailto:evetskaja.svetl@yandex.ru), <sup>3</sup>[olgaalekseeva@yahoo.com](mailto:olgaalekseeva@yahoo.com)

**Abstract.** The article discusses problematic issues related to the psychological safety of the educational environment, reveals the importance and significance of the psychological safety of the educational environment for the development and formation of personality, and identifies, based on a survey, indicators of the psychological safety of the educational environment of a technical university.

**Keywords:** safety, psychological safety, threats, educational environment.

Мир, в котором живем, постоянно развивается и меняется. В современной социокультурной ситуации достаточно примеров влияния внешних условий, как позитивных, так и негативных, на формирование личности. Негативно воздействуют на становление личности, ее внутренний мир, причиняя физическую и душевную боль, неся

серьезные последствия насильственные действия по отношению к другому и со стороны другого, строгое, а порой и жесткое обращение в семье, демонстрация агрессивного поведения и отношения с экранов телевизора и в сети интернет и т.д.. Рост напряженности социальных условий оказывает влияние на рост угроз и личностной напряженности. Несмотря на все изменения, которые влияют и которые претерпевает личность, основной базовой потребностью была и остается потребность в безопасности, защищенности от различного рода угроз. Тема безопасности личности не только весьма актуальна, но и становится насущной необходимостью. Страх, тревоги, неуверенность, попадание в психологическую зависимость, снижение самоуважения, нарушение самооценки это все составляющие характеристики психологической безопасности. Как создать и поддержать образовательную среду психологически безопасной.

Цель работы: исследовать показатели психологической безопасности образовательной среды технического вуза.

Понимание каждым человеком безопасности сугубо индивидуально. Исходя из трактовки «психика», каждый человек субъективно отражает окружающий его мир, следовательно, и «безопасность» понимается каждым человеком субъективно. ООН в 1994 году предложило понимание безопасности человека для 21 века. Это:

- безопасность народа;
- защита от конфликтов;
- безопасность развития;
- безопасность каждого человека в окружающем его пространстве [1].

Профессор Эми Эдмондсон вводит впервые термин «психологическая безопасность» как «... уверенность человека в отсутствии наказания или унижения за иное мнение.....» [2]. В настоящее время понимание психологической безопасности неоднородно.

По мнению Хакимзянова Р. Н. это:

- целый комплекс мероприятий создающих социально-психологический климат, который способствует психологическому здоровью и психологической устойчивости.

По мнению Прониной Е.Е. это:

- осознание собственного статуса, чувства достоинства, и неприкосновенности, эмоциональное принятие себя [3].

Скворцов С.Ю. под психологической безопасностью понимает положительные самоощущения человека, эмоциональное, интеллектуальное, социальное благополучие [4].

Сенситивный период с точки зрения психологии и оптимальный возраст, с точки зрения медицины для интенсивного обучения и профессионального становления от 17 до 20 лет. Обучающийся погружается в образовательную среду, т.е. в совокупность созданных условий, важных, значимых для обучения, воспитания, развития, профессионального становления. Образовательная среда предполагает включение обучающегося и его активное участие в образовательной деятельности.

Обратившись к трудам отечественного педагога В.А. Сухомлинского, автора книги «Сердце отдаю детям» можно составить перечень угроз негативно действующих на психику и поведение и не способствующих психологической безопасности образовательной среды. Это: скука, предельное напряжение умственных сил на занятиях и в процессе самостоятельного выполнения заданий и их объем, умственные, физические, эмоциональные перегрузки, формализм программных знаний, нервозность обстановки.

Наряду с этим следует так же отметить стрессовое поведение и воздействие педагогических работников на обучающихся, нерациональная организация образовательного процесса, не соответствие технологий индивидуальным возможностям обучающихся и другое.

Образовательная среда технического вуза (мы не умоляем достоинства гуманитарного, и сейчас отмечается интеграция гуманитарного и технического образования, в технических вузах реализуют образовательные программы гуманитарного направления) ориентирована на изучении точных наук и техники, на решении инженерных задач,

формирование технических навыков, высокий уровень ответственности. Именно в процессе подготовки они понимают и осознают, что в профессиональной деятельности будет отсутствовать право на ошибку (ведь даже мельчайшая оплошность может стать причиной серьезных сбоев системы). Сложно передать палитру эмоций студентов, ту степень и уровень ответственности, их серьезности, когда они работают в учебной мастерской, управляя блоком атомной электростанции, или наблюдают за процессом изготовления реактора или парогенератора для АЭС.

По личным качествам также отличаются студенты, обучающиеся на технических направлениях подготовки от студентов, обучающихся на гуманитарных направлениях.

Опрос студентов, проведенный в вузе показал, что каждый из них понимает и ощущает психологическую безопасность по – своему, субъективно. Это:

- внимание к просьбам;
- уважительное отношение;
- сохранение личного достоинства;
- возможность высказать свое мнение;
- помощь в выборе и реализации своего варианта решения задачи;
- комфорт внешний и внутренний и т.д.

Данные опроса позволяют сделать вывод, что психологическую безопасность образовательной среды следует рассматривать как систему, которая обеспечивает защиту участников от угроз и рисков, направленную на позитивное развитие личности, ее профессиональное становление в процессе педагогического взаимодействия. Основными показателями психологической безопасности образовательной среды являются:

- качество межличностных отношений, проявляющееся во взаимосвязи с окружающими людьми: с педагогами, однокурсниками, административными работниками. Важно, что отношения возникают и складываются на основе чувств, эмоциональных переживаний. Хорошие отношения возможны при наличии способности сочувствовать, сопереживать, ставить себя в положение другого человека, понимать его.

- комфортность образовательной среды которая возникает лишь в том случае, когда обучающийся не испытывает чувство страха, не боится быть униженным. Взаимодействие диалогического уровня – залог психологической комфортности в вузе.

- защищенность от психологического насилия со стороны других обучающихся и защищенность от насилия со стороны педагогических работников. Человек свободный от психологического давления со стороны способен активно использовать свой потенциал.

- удовлетворенность образовательной средой технического вуза охватывает различные аспекты образовательного процесса: оборудование и технологии, физические условия, стиль преподавания, культуру вуза. Это индикатор того насколько условия образовательной среды соответствуют ожиданиям и потребностям обучающихся. А удовлетворенность отражает не только чувства и впечатления, но и является началом будущего успеха.

Таким образом, обеспечение психологической безопасности образовательной среды технического вуза позволяет гармонично и разносторонне развивать личность, готовя ее профессиональной самостоятельной деятельности в социуме. А созданная внутренняя система оценки качества образования, участие в независимой оценке условий образования позволит систематически осуществлять мониторинг и принимать решения по обеспечению психологической безопасности образовательной среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность, угрозы, опасности .Режим досупа: <https://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/bezopasnost-turistov.html> (дата обращения: 05.082024)
2. Эдмондсон Эми на TED. Создание психологической безопасности. Режим доступа: <https://www.talent-management.com.ua/2361-e-mi-e-dmondson-na-ted-sozdanie-psiologicheskobjbezopasnosti> (дата обращения: 06.082024)

3. Проница, Е. Е. Матрица психологической безопасности рекламного воздействия // Информационная и психологическая безопасность в СМИ: В 2 т. Т. 1: Телевизионные и рекламные коммуникации. М., 2002.
4. Скворцов, С.Ю. Психология безопасности (spravochnik.ru) Режим доступа: [https://spravochnik.ru/psihologiya/sistema\\_psihologicheskikh\\_nauk/psihologiya\\_bezopanosti/?ysclid=lfyd9vhm1e337469658](https://spravochnik.ru/psihologiya/sistema_psihologicheskikh_nauk/psihologiya_bezopanosti/?ysclid=lfyd9vhm1e337469658) (дата обращения: 07.082024)

УДК 349.7

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ В УСЛОВИЯХ ПРОКСИ-ВОЙНЫ**

**Корниенко В.Т.**

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

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема обеспечения безопасности объектов ядерно-энергетического комплекса России в условиях прокси-войны, проводимой блоком НАТО, возглавляемым США на территории бывшей УССР в отношении Российской Федерации. Рассмотрены причины возникновения конфликта. Исследованы варианты его продолжения и завершения, которые можно использовать для обеспечения безопасности объектов ядерно-энергетического комплекса России.

**Ключевые слова:** ядерно-энергетический комплекс России, прокси-война, обеспечение безопасности.

## **ENSURING THE SAFETY OF RUSSIA'S NUCLEAR ENERGY COMPLEX FACILITIES IN A PROXY WAR**

**Kornienko V.T.**

*Volgodonsk Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI",  
Volgodonsk, Russia  
kvt@bk.ru*

**Abstract.** The paper considers the problem of ensuring the safety of facilities of the Russian nuclear energy complex in the context of a proxy war conducted by the NATO bloc led by the United States on the territory of the former USSR against the Russian Federation. The causes of the conflict are considered. The options for its continuation and completion, which can be used to ensure the safety of facilities of the Russian nuclear energy complex, are investigated.

**Keywords:** Russian nuclear energy complex, proxy war, security.

Поскольку на той территории, которая ранее называлась УССР, полным ходом идет прокси-война, завершение которой возможно только при наличии политической воли властей США и России, необходимо продумать такой порядок реакции на действия противника, который бы создал для них экономическую целесообразность завершения этой прокси-войны.

Прокси-война — это международный конфликт между двумя странами, которые пытаются достичь своих собственных целей с помощью военных действий, происходящих на территории и с использованием ресурсов третьей страны, под прикрытием разрешения внутреннего конфликта в этой третьей стране.

По Мамфорду не прямое вмешательство — неотъемлемый элемент прокси-войны, при её ведении внешние силы прибегают к семантическим уловкам типа «проекция силы», «иностранный помощь» и т. п., прокси-войны зачастую приводят к необходимости секретных операций, роль войн чужими руками в XXI веке будет возрастать.

По мнению Ч. Джонсона, мировая политика XXI века будет в целом определяться «обратным ударом» из XX века.

В современном мире широкое распространение прокси-войн прямо связано с появлением и распространением ядерного оружия. Применение этого оружия чревато катастрофическими последствиями для участников ядерного конфликта. Поэтому ядерные державы прикладывают все усилия, чтобы не допустить прямых военных действий между собой.

По утверждению А.И. Владимирова, в современных прокси-войнах все большее влияние оказывают транснациональные компании. Достаточно скоро может наступить момент, когда сама необходимость «подчиняться» национальному и мировому праву, будет сковывать деловую активность ТНК, что, в свою очередь, может побудить их образовать некий «мировой альянс ТНК», способный успешно конкурировать с национальными государствами и существующими международными организациями.

«Главной видимой силой (и средством) «мирового альянса ТНК» станут наёмники, а главным методом их действий будет демонстрация подавляющего реального силового превосходства над отдельными структурами государственной и местной власти, и частями национальных вооружённых сил, подтверждаемое периодическими эпизодами боевых столкновений, в которых эти части (всегда и однозначно) будут терпеть сокрушительное поражение», – считает А.И. Владимир [1].

В период бурного развития империализма, как высшей стадии капитализма, прокси-войны будут стандартным видом конфликта, поскольку позволяют избежать непосредственного столкновения ядерных империй.

В условиях прокси-войны, проводимой блоком НАТО, возглавляемым США на территории бывшей УССР в отношении Российской Федерации обеспечение безопасности объектов ядерно-энергетического комплекса России становится все более актуальным.

Терпя одно поражение за другим в прокси-войне на линии боевого столкновения, нацистский режим, правящий на территории бывшей УССР, все чаще прибегает к террористическим актам, в том числе на объектах ядерно-энергетического комплекса России.

Рассматриваемый конфликт, хоть и имеет долговременную перспективу, тем не менее конечен, в период его протекания важно акцентировать свое внимание на следующем. Наличие в арсенале нацистов все более дальнобойных систем вооружения позволяет утверждать, что обеспечить надлежащую безопасность объектов ядерно-энергетического комплекса России можно лишь путем укрепления противовоздушной обороны, а также их антитеррористической защищенности.

Как отмечала Л.Б. Прудникова, «одним из отраслевых принципов энергетического права является принцип безусловного признания государственного суверенитета над национальными энергетическими ресурсами, который позволяет самостоятельно, без внешнего и внутреннего влияния принимать эффективные решения в сфере энергетики, обеспечивать национальную экономическую, да и (если не в первую очередь) политическую безопасность России. Спорная ситуация с некоторыми европейскими государствами показала, насколько важным фактором влияния на международные отношения является энергетический суверенитет государства» [2].

Для понимания перспектив конфликта, а значит – и планирования укрепления безопасности объектов ядерно-энергетического комплекса России необходимо понимать следующее.

Человеческое общество развивается по определенным законам. Современному капитализму предшествовал феодальный строй, ему – рабовладельческий, которому, в свою очередь, - первобытно-общинный. Высшей стадией капитализма является империализм. Перескочить через целую историческую формацию невозможно, а попытка этого влечет за собой тяжкие последствия. Распад Союза Советских Социалистических Республик связан с попыткой перескочить через целую историческую формацию с феодализма сразу в социализм.

Экономика – это базис, фундамент, на котором строится и развивается формация. Все остальное – и политика, и право, - надстройка. Именно экономический рост общества влечет

за собой смену социальной формации. Человек в своем развитии полностью зависит от того социума, который его окружает.

Решения, влияющие на развитие человеческого общества, принимаются конкретными личностями единолично или коллегиально. Для их принятия нужна вполне определенная политическая воля, которая, в свою очередь, может возникнуть не иначе, как при наличии экономической целесообразности.

Большинство государств Планеты Земля находится на капиталистической стадии развития. Эта стадия – достаточно длительный исторический период, который, в свою очередь, можно разделить на период первоначального накопления капитала, период бурного развития капиталистических отношений, а также империализм – как высшую стадию капитализма.

Россия исторически является империей. Во всем мире нет другого такого государства, как по площади, так и по несметным природным богатствам, содержащимся на ней. Не все государства исторически являются империями, равно, как и не все могут ими стать в процессе своего развития, сколь экономически развитыми они не являлись бы.

Человеческая формация опирается на два основных понятия: добро и зло. Все остальные понятия, такие, как совесть, честь, достоинство, порядочность и т.д., и т.п. являются инструментарием, используемым человечеством для достижения своих целей. Россия – это полюс добра. Полюс зла - это Соединенные Штаты Америки, полагающие, что они до сих пор имеют право распространять свою юрисдикцию на весь Земной Шар. США за 240 лет своего существования не воевали лишь 16 лет. При этом, для развязывания очередного кровавого конфликта они всегда используют иные, нежели свои, территории.

Максимальная концентрация зла, как и добра, содержится во властных структурах, которые принято называть политическими элитами.

Борьба между добром и злом в период империализма подвигла современный мир к возникновению многополярности, ибо каждая империя, а таковых на Планете Земля не одна, имея свои экономические интересы на территории, являющиеся для неё, прежде всего, рынками, пытается выстроить на них отношения, приемлемые для себя.

Проблема обучаемости заложена в самой человеческой сущности, ибо крайне мало кто учится на ошибках других, - в основном обучение происходит только на своих ошибках.

США период первоначального накопления капитала прошли порядка ста пятидесяти лет тому назад, накопив к настоящему времени уже значительный опыт существования на стадии бурного развития капитализма.

Не допускать явных «промахов», ранее допущенных нашими заокеанскими «контрагентами», равно, как и использовать вполне разумные, проверенные временем их решения на аналогичные вызовы современности целесообразно.

Высшая стадия развития человеческого общества наступит только тогда, когда люди научатся договариваться. Победить на поле боя ядерную державу практически невозможно. Только тогда, когда удастся убедить стороны в необходимости заключения мирового соглашения, можно говорить об окончательном разрешении спора как такового.

Из проведенного исследования вытекают два основных вывода:

1. Обеспечить надлежащую безопасность объектов ядерно-энергетического комплекса России в период прокси-войны можно лишь путем укрепления противовоздушной обороны, а также антитеррористической их защищенности;

2. Поднимая в «Большой Игре» ставки до предела, экономические элиты в качестве экономически целесообразной не могут иметь целью полное уничтожение всего живого на Планете Земля. А значит, – и политическая воля правящих элит, полностью зависимых от экономических, не может отличаться от вышеуказанной цели, как бы они не пытались демонстрировать иное.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.И. Владимиров. Основы общей теории войны. Часть II. Теория национальной стратегии: основы теории, практики и искусства управления государством. – М.: Синергия, 2013. – С. 789

2. Л.Б. Прудникова. Принципы энергетического права как идеологическая и организационно-системная основа его функционирования и развития (виды и краткий анализ содержания). – М.: Глобальная ядерная безопасность, 2015 №3(16), С. 104. Режим доступа: [https://viti-mephi.ru/sites/default/files/pages/docs/gns\\_3\\_2015.pdf](https://viti-mephi.ru/sites/default/files/pages/docs/gns_3_2015.pdf) (дата обращения: 15.07.2024)

УДК 338.2:621.039

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО КАК ВЕКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Пивоварова О.С.<sup>1</sup>, Волгина С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Волгодонская городская Дума, г. Волгодонск, Россия

<sup>2</sup>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия

<sup>1</sup>OSPivovarova@mephi.ru

<sup>2</sup>SVVolgina@mephi.ru

**Аннотация.** Технологическое предпринимательство является важным драйвером экономического развития и конкурентоспособности на глобальном рынке. Участники сессии на Петербургском международном экономическом форуме 2024 года отметили значимость интеграции этого направления в университетскую среду для развития идей стартапов среди студентов. Несмотря на споры о целесообразности такой интеграции, растущая потребность в предпринимательских навыках становится особенно актуальной в высокотехнологичных отраслях, таких как атомная энергетика. Для успешной коммерциализации научных разработок необходимы компетенции в инновационном мышлении, бизнес-планировании, управлении проектами и междисциплинарной работе.

**Ключевые слова:** технологическое предпринимательство, инновации, знания, высокотехнологичное производство, конкурентоспособность.

## TECHNOLOGICAL ENTREPRENEURSHIP AS A VECTOR OF FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCIES OF NUCLEAR INDUSTRY SPECIALISTS

Pivovarova O.S.<sup>1</sup>, Volgina S.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Volgodonskaya City Duma, Volgograd, Russia

<sup>2</sup>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Volgodonsk, Russia

<sup>1</sup>OSPivovarova@mephi.ru

<sup>2</sup>SVVolgina@mephi.ru

**Abstract.** Technological entrepreneurship is an important driver of economic development and competitiveness in the global market. The participants of the session at the St. Petersburg International Economic Forum 2024 noted the importance of integrating this area into the university environment for the development of startup ideas among students. Despite the debate about the feasibility of such integration, the growing need for entrepreneurial skills is becoming especially relevant in high-tech industries such as nuclear energy. Successful commercialization of scientific developments requires competencies in innovative thinking, business planning, project management and interdisciplinary work.

**Keywords:** technological entrepreneurship, innovation, knowledge, high-tech production, competitiveness.

Во всем мире технологическое предпринимательство – один из мощных драйверов развития экономики. Разработка инновационных продуктов и решений обеспечивает стране технологический суверенитет и конкурентоспособность на мировом рынке [1].

Поддержка технологического предпринимательства существенно повысит производительность труда, экономическую эффективность и привлечет инвестиции в высокотехнологичные отрасли. К таким выводам пришли участники сессии

«Технологическое предпринимательство — основа развития экономики России», которая прошла в рамках Петербургского международного экономического форума (ПМЭФ-2024)<sup>1</sup>.

Существует мнение, что активизации развития технологического предпринимательства можно добиться, интегрировав его в университетскую среду. Именно студенты с гибким мышлением, свежими hard skills и интересом к новым профессиональным трекам смогут генерировать идеи технологических стартапов и выводить их на рынок. Но для этого необходимо поддержать интерес молодежи и дать ей необходимые компетенции: проводить тренинги и акселераторы, учить подходам к разработке перспективных идей и привлечению инвестиции. Эту поддержку на базе российских университетов призван обеспечить федеральный проект Министерства науки и высшего образования РФ «Платформа университетского технологического предпринимательства» [2]. Однако не все представители вузовского сообщества положительно оценивают данную инициативу. Некоторые эксперты полагают, что обучение предпринимательству в университетах станет отвлекающим фактором, который снизит качество освоения студентами профильных дисциплин. В этой связи вопрос об интеграции технологического предпринимательства в образовательные программы технических вузов приобретает особую актуальность.

В современных реалиях высокотехнологичных отраслей, таких как атомная энергетика, возрастает потребность в инновациях и технологических прорывах. Для обеспечения конкурентоспособности и лидерства на мировом рынке специалисты атомной отрасли должны обладать не только глубокими техническими знаниями, но и развитыми предпринимательскими компетенциями. В этом контексте технологическое предпринимательство выступает в качестве ключевого вектора формирования профессиональных компетенций, необходимых для успешной реализации инновационных проектов.

Традиционно подготовка специалистов для атомной отрасли была сосредоточена на формировании фундаментальных знаний и навыков в области ядерной физики, реакторной техники, радиационной безопасности и других профильных дисциплин. Данный набор компетенций обеспечивал успешное решение текущих производственных задач, связанных с эксплуатацией и ремонтом действующих ядерных установок, а также модернизацией существующих технологий. Однако, в условиях стремительного технологического развития и растущей потребности в инновациях, одних лишь технических компетенций становится недостаточно. Современные инженеры атомной отрасли должны также обладать навыками, связанными с предпринимательской деятельностью, управлением инновационными проектами и коммерциализацией новых технологий [3].

Технологическое предпринимательство подразумевает комплекс компетенций, позволяющих инженерам и ученым успешно коммерциализировать научно-технические разработки и внедрять их в производство. Среди ключевых компетенций данного направления можно выделить:

1. Инновационное мышление (креативность). Способность генерировать идеи, выявлять новые возможности и нестандартно подходить к решению производственных задач.
2. Навыки бизнес-планирования и коммерциализации технологий. Умение анализировать рынок, разрабатывать бизнес-модели, привлекать финансирование для вывода новых продуктов на рынок.
3. Навыки управления междисциплинарными командами, объединяющими специалистов различных функциональных областей (маркетинг, финансы, производство и др.) для реализации комплексных инновационных проектов.
4. Гибкость, адаптивность и готовность к переменам. Способность быстро реагировать на технологические и рыночные изменения, принимать обоснованные решения в условиях высокой неопределенности.

---

<sup>1</sup> Информационно-аналитическая система Фонда Росконгресс [www.roscongress.org](http://www.roscongress.org)

5. Лидерские качества и предпринимательская инициатива. Готовность брать на себя ответственность, выступать с инициативами и вдохновлять коллег на достижение амбициозных целей.

Рассмотрение технологического предпринимательства как вектора формирования профессиональных компетенций у студентов инженерных специальностей включает в себя:

1. Обучение основам технологического предпринимательства, включая бизнес-моделирование, управление инновационными проектами, финансирование стартапов и т.д.

2. Проектную деятельность, ориентированную на решение реальных производственных задач в сотрудничестве с передовыми предприятиями, в том числе атомной отрасли.

3. Стажировки в инновационных компаниях, технологических акселераторах и бизнес-инкубаторах для получения практического опыта.

4. Участие в конкурсах стартап-проектов, хакатонах и других мероприятиях предпринимательской направленности [4].

Такой подход позволяет гармонично сочетать фундаментальные технические знания с практическими навыками коммерциализации инноваций, что значительно повышает конкурентоспособность выпускников на рынке труда и способствует технологическому развитию атомной энергетики.

Формирование у студентов инженерных специальностей в области атомной энергетики компетенций технологического предпринимательства является важным фактором обеспечения технологического лидерства отрасли. Интеграция соответствующих дисциплин и практик в образовательные программы позволяет подготовить специалистов, способных не только разрабатывать инновационные решения, но и успешно внедрять их в производство, создавая конкурентоспособные продукты и услуги. Это, в свою очередь, способствует укреплению позиций отечественной атомной промышленности на мировом рынке высоких технологий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Duening, Thomas & Hisrich, Robert & Lechter, M.A. Technology Entrepreneurship: Taking Innovation to the Marketplace: Third Edition pp 416, 2021. Режим доступа: <https://shop.elsevier.com/books/technology-entrepreneurship/duening/978-0-12-822203-4> (дата обращения: 25.07.2024)
2. Ибрагимова, М.Х. Проблемы развития технологического предпринимательства в Российской Федерации / М. Х. Ибрагимова, Е. Д. Литвинцева // Российский экономический интернет-журнал. – 2020. – № 1. – С. 23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=nauxwi> (дата обращения: 26.07.2024)
3. Барыкин А.Н., Икряников В.О. Белые пятна теории и практики технологического предпринимательства // Менеджмент инноваций. – 2010. – No3. – С.202–213. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=mvixwd> (дата обращения: 27.07.2024)
4. Самохвалов О.В. Проблемы технологического предпринимательства в вузах // Механизация и автоматизация строительства. Сборник статей. Самарский государственный технический университет. - Самара, 2022 С. 184-192 Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xmjwbu&ysclid=lztmpxjakh253197437> (дата обращения: 28.07.2024)

## РАЗВИТИЕ НАДПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ

Попова Т.С.<sup>1</sup>, Попов А.А.<sup>2</sup>, Залиско Т.А.<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия

<sup>2</sup> Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, Россия

<sup>1</sup> tanya930@rambler.ru; <sup>2</sup> popov\_aa@atommash.ru;

<sup>3</sup> zaliskotanya@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время современного образования надпрофессиональные компетенции становятся все более важными для выпускников высших учебных заведений, особенно технических вузов. Эти компетенции выходят за рамки конкретных предметных знаний и охватывают набор навыков, способностей и качеств, которые являются существенными для успеха в дальнейшей деятельности в качестве готовых специалистов и позволяют конкурировать на трудовом рынке.

**Ключевые слова:** надпрофессиональные компетенции, soft-skills.

## DEVELOPMENT OF PROFESSIONAL COMPETENCIES OF TECHNICAL UNIVERSITY STUDENTS

Popova T.S.<sup>1</sup>, Popov A.A.<sup>2</sup>, Zalisko T.A.<sup>3</sup>,

<sup>1,3</sup> Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Volgodonsk, Russia

<sup>2</sup> Atommash branch of AEM-Technologies JSC in Volgodonsk, Russia

<sup>1</sup> tanya930@rambler.ru; <sup>2</sup> popov\_aa@atommash.ru;

<sup>3</sup> zaliskotanya@mail.ru

**Abstract.** At present, in modern education, supra-professional competencies are becoming increasingly important for graduates of higher educational institutions, especially technical universities. These competencies go beyond specific subject knowledge and cover a set of skills, abilities and qualities that are essential for success in further activities as ready-made specialists and allow you to compete in the labor market.

**Keywords:** superprofessional competencies, soft-skills.

Надпрофессиональные компетенции (или soft-skills) включают в себя разные навыки и качества, которые дополняют профессиональные знания и умения. К ним относятся:

1) Коммуникационные навыки. Умение ясно и логично излагать мысли как устно, так и письменно, работать в команде и эффективно взаимодействовать с коллегами и клиентами.

2) Критическое мышление и решение проблем. Способность анализировать ситуации, выявлять основные проблемы и находить эффективные решения.

3) Управление временем. Эффективное планирование и организация рабочего времени для повышения личной продуктивности (производительности труда), а в конечном итоге и коллективной.

4) Адаптивность и гибкость. Умение быстро адаптироваться к изменениям и новым условиям, что особенно важно в условиях быстроразвивающейся технологии.

5) Лидерство и командная работа. Способность вести за собой команду, делегировать задачи и эффективно существовать в команде.

6) Креативность. Умение генерировать новые идеи и подходы к решению задач.

Некоторые авторы дополняют данный классический набор следующими компетенциями: правильное восприятие критики и установление обратной связи; принятие ответственности за результаты работы, проявление настойчивости и инициативы; открытость в общении; осуществление межкультурного взаимодействия с учетом понимания особенностей образа жизни, поведения, норм, ценностей людей разных национальностей и

гражданства; применение знаний психологии (конфликтологии) для повседневной работы с коллегами, клиентами и контрагентами, в том числе в сбойных ситуациях и т.д. [1]

Для развития этих компетенций у студентов можно использовать различные подходы:

1. Проектная деятельность. Участие студентов в реальных проектах, где они могут применять свои знания на практике и развивать коммуникационные и лидерские навыки.

2. Симуляции и ролевые игры. Они помогают студентам развивать навыки взаимодействия и работы в команде.

3. Междисциплинарное обучение. Комбинирование технических дисциплин с курсами по гуманитарным и социальным наукам для развития критического мышления и креативности.

4. Стажировки и практики. Работа в реальных условиях позволяет студентам получать опыт, развивать профессиональные и надпрофессиональные навыки, а также устанавливать контакты.

5. Курсы и тренинги по soft-skills. Специальные программы, направленные на развитие навыков коммуникации, управления временем и других компетенций.

Важным аспектом является сотрудничество вузов с предприятиями отрасли для определения потребностей работодателей в контексте надпрофессиональных навыков и интеграции этих требований в учебные программы. Развитие надпрофессиональных компетенций требует активного вовлечения и самих студентов. Важно создать среду, где они смогут инициировать и принимать участие в учебных активностях, что, в свою очередь, способствует формированию ответственности и самомотивации. Например, создание студенческих клубов и инициативных групп может стать отличной платформой для развития лидерских качеств и командной работы. Кроме того, на развитие soft-skills положительно влияет междисциплинарное сотрудничество, что обогащает их опыт и открывает перспективы для креативного мышления и инновационного подхода к решению задач.

Интеграция методов обратной связи и наставничества также играет важную роль. Регулярное получение конструктивной критики помогает студентам осознавать свои сильные и слабые стороны, а наставничество со стороны опытных профессионалов позволяет лучше ориентироваться в требованиях рынка труда и развивать необходимые практикоориентированные навыки. В конечном итоге, комплексный подход к обучению, который включает как теорию, так и практику, существенно повышает конкурентоспособность выпускников на рынке труда.

Интеграция современных технологий в учебный процесс открывает уникальные возможности для развития надпрофессиональных компетенций. Использование онлайн платформ для совместного обучения и обмена опытом позволяет студентам в реальном времени работать над проектами, получать доступ к актуальной информации и развивать навыки работы в режиме многозадачности. Это также способствует формированию глобального взгляда на проблемы и решения, что является особенно важным в условиях быстро меняющегося мира. [2]

Не менее важным элементом является создание возможностей для участия студентов в реальных проектах, стажировках и волонтерских инициативах. Эти практические опыты позволяют применять на практике теоретические знания, а также учат работать в команде, принимать решения и управлять временем, что критически важно для успешной карьеры. Также следует акцентировать внимание на важности карьерного консультирования и профориентации. Эти услуги помогут студентам лучше понимать свои интересы и потребности рынка труда, что сделает их более уверенными в будущем и позволит принимать осознанные решения относительно дальнейшего развития. В результате, комплексный подход к образовательному процессу, учитывающий разнообразные аспекты, станет залогом формирования высококвалифицированных специалистов.

Таким образом, интеграция дополнительных форматов обучения, таких как семинары, мастер-классы и воркшопы, позволяет углубить практическое понимание предметов. Такие мероприятия могут проводиться как в университете, так и в сотрудничестве с

профессионалами из отрасли, что дает студентам возможность взаимодействовать с экспертами и получать актуальные знания. Развитие критического мышления, креативности и адаптивности играет важную роль в подготовке студентов к вызовам рынка труда. Это можно реализовать через групповые дискуссии, проектную деятельность и игровые симуляции, что способствует формированию навыков, которые ценятся работодателями.

Важно создать поддержку для студентов в процессе карьерного роста. Научные курсы и профориентационные мероприятия, организуемые университетами, могут дать студентам представление о требованиях рынка труда и предоставить инструменты для успешного трудоустройства. Взаимодействие с работодателями, стажировки и программы менторства повысят шансы студентов на успешную карьеру. С учетом глобализации образовательного процесса, вузы должны открывать новые горизонты, предлагая студентам возможность обмена опытом с зарубежными учебными заведениями. Это позволит расширить их культурный кругозор, углубить профессиональные компетенции в международной среде, подготовив молодых специалистов, готовых к вызовам глобального рынка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнцев, М. А. Твердые и мягкие компетенции сотрудников сервисных компаний при работе с клиентами / М. А. Солнцев // Практический маркетинг. – 2021. – № 11(297). – С. 42-48. – DOI 10.24412/2071-3762-2021-11297-42-48. – EDN CSFNMO.
2. Ибрагимова Л.А. Диагностический инструментарий оценки развития надпрофессиональных компетенций студентов вуза : методические рекомендации / Ибрагимова Л.А., Михайлова С.В.. — Нижневартовск : Нижневартовский государственный университет, 2021. — 45 с. — ISBN 978-5-00047-613-0. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/119004.html> (дата обращения: 16.03.2024). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей

УДК:37

## ВОЗМОЖНОСТИ ГЕЙМИФИКАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ БЕЗОПАСНОГО ПОВЕДЕНИЯ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

Руденко В.А.<sup>1</sup>, Евдошкина Ю.А.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>*VARudenko@mephi.ru*

<sup>2</sup>*YAEvdoshkina@mephi.ru*

**Аннотация.** Концепция геймификации как новый подход к повышению эффективности обучения, активизации учебно-познавательной деятельности, повышения мотивации студентов посредством использования дизайна и игровых элементов в образовательной среде является одним из актуальных направлений использования образовательных технологий в учебном процессе.

**Ключевые слова:** геймификация, культура безопасности, безопасное поведение, обучающие игры, комиксы.

## THE POSSIBILITIES OF GAMIFICATION IN THE FORMATION OF SAFE BEHAVIOR IN THE WORKPLACE

Rudenko V.A.<sup>1</sup>, Evdoshkina Yu.A.<sup>2</sup>

*Volgodonsk Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI", Volgodonsk, Russia*

<sup>1</sup>*VARudenko@mephi.ru*

<sup>2</sup>*YAEvdoshkina@mephi.ru*

**Abstract.** The concept of gamification as a new approach to improving the effectiveness of learning, enhancing educational and cognitive activity, increasing student motivation through the use of design and game elements in the

educational environment is one of the most relevant areas of the use of educational technologies in the educational process.

**Keywords:** gamification, safety culture, safe behavior, educational games, comics.

Геймификация – это использование игровых элементов в неигровом контексте, то есть процесс, когда элементы игры используют для достижения реальных целей. Впервые термин «геймификация» был использован в маркетинговой среде. Его применение как одного из инструментов системы образования можно считать достаточно новым. Большинство исследователей склонны полагать, что широкое распространение в мировой практике термин «геймификация» приобрел лишь в 2010 г. и до сих пор не имеет единого толкования. Существуют различные определения термина «геймификация»: «метод обучения и воспитания» [1], «методика повышения мотивации и вовлеченности обучающихся», «принцип применения игровых сценариев для достижения реальных целей» [2], «технология, использующая принципы компьютерных игр в образовательном процессе», [3] «парадигма разработки продуктов и подачи материала, обращающаяся к базовым психологическим потребностям человека через игровые механики» [4]. Однако наиболее точное определение термина «геймификация» в образовании, по мнению авторов, заключается в следующем тезисе: «геймификация – это подход, предусматривающий применение в учебном процессе принципов компьютерных игр, игровых сценариев и динамик в неигровых ситуациях с целью повышения мотивации (внешней и внутренней), вовлеченности в процесс решения учебных задач и достижения учебных целей» [3].

На сегодняшний день геймификация в образовании имеет две разновидности: первая из них основана на разработке некоторых обучающих игр, используемых в стенах конкретной образовательной организации и не получающих дальнейшего распространения в связи со своей узкой спецификой. Другая разновидность – это те игры, которые разработаны сторонними коммерческими компаниями. Они часто не учитывают ряда требований образовательной системы, специфики конкретной образовательной программы, а также нуждаются в решении целого перечня финансовых и юридических вопросов, связанных с их распространением, в связи с чем, применение таких игр в образовательной организации становится затруднительным.

Одним из вариантов решения этой проблемы может стать разработка в образовательной организации обучающих игр по конкретным дисциплинам с качественным контентом, обеспечивающим решение практикоориентированных задач данного курса.

В Волгодонском инженерно-техническом институте - филиале федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ" имеется определенный практический опыт по разработке и внедрению элементов геймификации в процесс обучения. Применение технологий геймификации для формирования игровой среды, способствующей обучению культуре безопасности, позволяет интегрировать различные современные технологии в образовательный процесс, способствует повышению качества, эффективности образовательного процесса в части формирования у студентов безопасного поведения.

Основными направлениями деятельности по формированию культуры безопасности являются: выработка мотивации у человека к культуре безопасности; ориентация на овладение умениями и навыками безопасного поведения на будущем рабочем месте; воспитание личностных качеств, необходимых в работе по предупреждению и преодолению опасных ситуаций; психологическая подготовка к безопасному поведению [7].

Поэтому при реализации курса «Культура безопасности» наряду с академическими формами обучения используются такие инновационные методики и интерактивные технологии, как: лекции-дискуссии, ролевые и деловые игры, тренинги, занятия с использованием ситуационных задач и проективного тестирования, различные творческие задания, мастер-классы с приглашением ведущих специалистов в области культуры безопасности Ростовской атомной станции. Практикой аудиторных занятий апробирована

такая система организации работы студентов, как обучающие игры по актуальным вопросам безопасности («Своя игра», «Риск-игра», «Охота на риски», «Вокруг света» и др.) и разбор несчастных случаев с использованием комиксов от ГК «Росатом».

«Охота на риски» - увлекательная игра для сотрудников дивизиона, их семей и студентов ВУЗов. Задания игры помогают научиться выявлять риски и сохранять жизнь и здоровье себе и коллегам.

«Риск-игра» - очень интересный концепт конструктора из различных игр в одну с элементами случайности, с разным уровнем сложности. Игра основана на вопросах безопасности, вызывает живой интерес у студентов, вовлекает в процесс.

Деловая игра «Вокруг Света», представляет собой энциклопедическую соревновательную игру по развитию компетенций по межкультурным взаимодействиям, в которой участникам необходимо продемонстрировать знания в предметной области с использованием азарта конкурентной борьбы. Развитие международного бизнеса — одна из основных стратегических задач в атомной отрасли. Уже сейчас более половины всей выручки Госкорпорации «Росатом» приходится на зарубежные заказы, Росатом присутствует в полусотне государств на всех континентах. Знать и уважать культурные особенности, традиции, уклад, деловой этикет каждой страны, каждого партнера, с которым реализуются проекты, — это не дань любопытству, это важнейшая бизнес-задача и обязательное условие успеха на международных рынках. Данная увлекательная настольная игра поможет разобраться в тонкостях бизнес-общения и станет очень полезной для каждого, кто планирует работу в международном бизнесе.

Росатом запустил серию комиксов о ключевых факторах риска в отрасли. В основе сюжетов — реальные производственные истории, призванные уберечь работников от повторения подобных ошибок. Психологически студенты с интересом вникают в развитие предложенного сюжета картинок. Это связано с тем, что, по мнению психологов, у большинства современных студентов развито клиповость мышления. Поэтому учебный материал, представленный в комиксах, имеет хорошую степень усвоения.

Основной принцип применения игр по курсу «Культура безопасности» – непрерывная обратная связь с обучающимися, подкрепляющая их мотивацию и заинтересованность в обучении, поэтапное погружение в игровую тему без потери внимания и увлечённости. Формирование культуры безопасного поведения подразумевает готовность предупреждать и преодолевать опасные ситуации, сочетание личной безопасности с безопасностью окружающих. Результаты проведенного анализа показали, что использование технологии геймификации при обучении основам культуры безопасности — эффективный инструмент ориентации студентов на выявление и снижение профессиональных рисков, формирования безопасного поведения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варенина Л. П. Геймификация в образовании // Историческое и народное образование. – 2014. – № 6–2. – С. 314–317. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22981456> (дата обращения: 20.07.2024)
2. Полякова В. А., Козлов О. А. Воздействие геймификации на информационно-образовательную среду школы // Современные проблемы науки и образования. – 2015 – № 5. – С. 513. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32664400> (дата обращения: 20.07.2024)
3. Афонина М. В., Харламова А. С. Контент-анализ понятия «геймификация» // Вестник Алтайского государственного педагогического университета. – 2017. – № 3. – С. 46–50. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30547297>(дата обращения: 21.07.2024)
4. Есин Р. В., Вайнштейн Ю. В. Геймификация в электронной среде как средство вовлечения студентов в образовательный процесс // Открытое и дистанционное образование. – 2017. – № 2. – С. 26–32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29443397>(дата обращения: 21.07.2024)
5. Руденко, В. А. Ситуативно-личностные факторы организационной и профессиональной приверженности культуре безопасности студентов-атомщиков ВИТИ НИЯУ МИФИ / В. А. Руденко, Н. И. Лобковская, Ю. А. Евдошкина // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 3(28). – С. 87-97. – EDN YMCNTV.
6. Евдошкина, Ю. А. Формирование культуры безопасности личности как новое направление образовательного процесса в техническом вузе [Текст] // Глобальная ядерная безопасность. - 2013. - № 2 (7). - С. 92-94.

7. Василенко, Н.П. Педагогическая модель формирования культуры безопасности выпускников, ориентированных на работу в атомной отрасли [Электронный ресурс] / Н.П. Василенко, Ю.А. Евдошкина // Безопасность ядерной энергетики: тез. докл. XIII Междунар. науч.-практ. конф., 31 мая - 2 июня 2017 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгоград: [Б. и.], 2017. ISBN 978-5-7262-2364-3

УДК 621.039 : 33.108.45

## ЦЕННОСТНЫЕ ОРИЕНТАЦИИ ПРИ ТРУДОУСТРОЙСТВЕ ВЫПУСКНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Руденко В.А.<sup>1</sup>, Локонова Е.Л.<sup>2</sup>, Железнякова А.В.<sup>3</sup>

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

*<sup>1</sup>VARudenko@mephi.ru, <sup>2</sup>ELLokonova@mephi.ru, <sup>3</sup>AVZheleznyakova@mephi.ru*

**Аннотация:** Современными исследователями фиксируются изменения поведенческих установок сотрудников организаций. Эти изменения касаются таких аспектов как формирование профессиональных интересов через межкомпетенностное взаимодействие, маневренность способов построения образовательной и профессионально-карьерной траектории, а также ухода от стабильной приверженности выбору профессии. В статье представлены исследования проблемы ценностных ориентаций при трудоустройстве студентов 4-5 курсов ВИТИ НИЯУ МИФИ. Данное исследование предполагает сбор данных от студентов 4-5 курсов в форме опроса (вопрос с множественным выбором ответов). В результате социологического опроса отмечается динамика в вопросах, касающихся отношения к труду, а именно студентами отмечается важность фактора стабильности функционирования компании, в частности, принадлежность компании к определенной отрасли, а также возможность организации удаленных режимов работы.

**Ключевые слова:** трудоустройство выпускников, ценностные ориентации, кадровое обеспечение.

## VALUE ORIENTATIONS IN THE EMPLOYMENT OF GRADUATES AT NUCLEAR ENERGY ENTERPRISES

Rudenko V.A.<sup>1</sup>, Lokonova E.L.<sup>2</sup>, Zheleznyakova A.V.<sup>3</sup>

*Volgodonsk Institute of Engineering and Technology – branch of the National Research Nuclear University "MEPhI",  
Volgodonsk, Russia*

*<sup>1</sup>VARudenko@mephi.ru, <sup>2</sup>ELLokonova@mephi.ru, <sup>3</sup>AVZheleznyakova@mephi.ru*

**Abstract:** Modern researchers record changes in the behavioral attitudes of employees of organizations. These changes relate to such aspects as the formation of professional interests through intercompetitive interaction, the maneuverability of ways to build an educational and professional career trajectory, as well as avoiding a stable commitment to choosing a profession. The article presents research on the problem of value orientations in the employment of students of the 4th-5th courses of VITI NIYAU MEPhI. This study involves collecting data from students of 4-5 courses in the form of a survey (a question with multiple choice answers). As a result of the sociological survey, there is a dynamic in issues related to the attitude to work, namely, students note the importance of the stability factor of the company's functioning, in particular, the company's affiliation to a certain industry, as well as the possibility of organizing remote work modes.

**Keywords:** employment of graduates, value orientations, staffing.

В настоящих условиях современного рынка труда у выпускников вуза отмечается большая свобода личностной и профессиональной реализации, которую можно охарактеризовать как смену определенного фокуса ценностных ориентаций в вопросах построения своего будущего на предприятиях определенной отрасли промышленности. Смена фокуса ценностных ориентаций к трудоустройству обуславливает необходимость изучения причин данной трансформации, ее направленности, а также оценки успешности внедрения изменений в условиях трудовой деятельности непосредственно отраслевого предприятия. Решение вопросов по урегулированию дисбаланса запросов студентов-выпускников вуза и непосредственно самого предприятия через организацию условий труда

является актуальными, так как игнорирование данных запросов часто обуславливает подвижность рабочей силы на рынке труда, включая текучесть и миграцию персонала [1].

Существующая в нашей стране политическая и экономическая ситуация чревата болезненными социальными последствиями. В силу ошибочных представлений о запросах и приоритетах рынка труда часть выпускников остается за пределами сферы занятости, а руководители компаний не получают нужных им специалистов с требуемыми личностными и профессиональными компетенциями [2].

В набор общепринятых ценностных ориентаций, предъявляемых студентами к будущему месту трудоустройства, относят следующие: заработная плата, общие характеристики компании, ее месторасположение и условия работы, а также возможность «наладить» новые связи и тем самым «выстроить» свой карьерный рост [3]. Большинство студентов отмечают важность стабильности функционирования своего будущего места трудоустройства через потребность работы в определенной отрасли. Поэтому, по мнению студентов 4-5 курсов, возможность работы в атомной отрасли – это стабильность развития своего будущего. В проведенном исследовании, представленном в таблице 1, можно увидеть, что в течение двух лет происходят изменения в отношении фактора условия деятельности предприятия. Студенты 4-5 курсов отмечают важность предоставления гибких условий организации труда, которые могут дать возможность выпускнику работать удаленно и тем самым подчеркнут фактор не важности территориальной доступности компании. Ситуация актуального запроса со стороны студентов о возможности работать по гибким схемам организации труда обуславливает проблему кадровой безопасности. Ведь специфика самой атомной отрасли, ее принципов безопасности по большому счету не подразумевает полностью удаленных форматов работы. Поэтому, на современном этапе по данной ценностной ориентации студентам 4-5 курсов можно только дискутировать.

Таблица 1 - Ценностные ориентации (запросы на труд) студентов 4-5 курсов по годам, % от числа опрошенных (вопрос с множественным выбором ответов)

Ценности (характеристика запроса)	2020-2021	2023-2024
<b><i>Заработная плата</i></b>		
Размер заработной платы	67	71
Возможность влиять на величину заработной платы	65	56
<b><i>Характеристика компании /предприятия</i></b>		
Размер компании	43	37
Период работы на рынке	56	69
Принадлежность определенной отрасли промышленности	45	86
<b><i>Условия работы</i></b>		
Территориальная доступность	29	27
Гибкий график работы	57	84
Дополнительные программы социальной защиты	32	61
Положительная репутация. HR-бренд	33	65
Возможность дистанционного формата	76	23
<b><i>Взаимоотношения</i></b>		
Взаимоотношения с коллегами	36	35
Взаимоотношения с руководством	27	23
Новые знакомства и связи	32	43
<b><i>Развитие</i></b>		
Личностный (профессиональный) рост: освоение нового функционала	53	47
Вертикальный рост	47	46
Наличие программ обучения и инвестиций в сотрудников	35	49

Результаты исследования отмечают, что менее значимыми факторами становятся факторы «взаимоотношения с коллегами и руководством». Только каждому третьему студенту 4-5 курсов важно взаимодействовать с ближайшим окружением при выполнении трудовых задач. Студенты отмечают, что в основе снижения значимости социального взаимодействия в общепринятом виде является их способность свободно коммуницировать и выстраивать продуктивные взаимоотношения с людьми. Именно этот навык является для студентов базовым, сформированным, которым они прекрасно владеют. Можем предположить, что такая установка получила свою трансформацию в период социально-профессиональной адаптации за пределами института. Для студентов 4-5 курсов гарантирование профессиональной занятости и стабильности их будущего обусловлено представлением их места трудоустройства как непосредственного источника с целью формирования деловых связей и знакомств. Каждый второй студент старших курсов ориентируется на расширение партнерских взаимоотношений, выбирая предприятие для своего трудоустройства (см. табл. 1).

Таким образом, согласно проведенному исследованию, ценностным ориентиром при кадровом отборе работников на предприятии, работодатель называет фактор, обуславливающий выполнение сотрудниками трудовых задач в привычных, комфортных для работников условиях труда. Именно этот фактор является представлением стабильности для работников со стороны работодателя. Студенты же отмечают другие важные для них ценностные ориентиры, которые, по их мнению, определяют фактор успешного трудоустройства, а именно: работа в компании с длительной историей, имеющей сильный и известный HR-бренд, реализующей социально направленную поддержку сотрудников [4].

Следует отметить, что студенты, участвующие в опросе, рассматривают трудоустройство в атомную отрасль после окончания вуза как обязательный старт своего профессионального роста с целью формирования новых практических компетенций в определении партнерских взаимоотношений с профессионалами-наставниками от предприятия. Но тем не менее отмечают необходимость для них фактора возможности иметь гибкий график занятости и возможность выполнения трудовой деятельности в дистанционном формате. Но, такие ценностные ориентации в отношении выполнения трудовых задач со стороны студентов-выпускников затрудняют длительность взаимоотношений между молодым специалистом и работодателем, так как специфика самого предприятия атомной отрасли подразумевает совершенно другие факторы, направленные, прежде всего, на выполнение фактора безопасности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мягков, А. Ю. Студенты технического вуза: профессиональные компетенции и ожидания на рынке труда // Социологические исследования. 2016. № 6. С. 102-109.
2. Кузнецова, В.В., Машкина, О.А. Трудоустройство выпускников вузов в современном Китае: ожидания и реальность // Сравнительная политика. – 2021. – № 3. – с. 165–185. – doi: 10.24411/2221–3279–2021–10034 .
3. Борисова, А.А., Белоногов, А.А., Глушкова, Ю.В. Трудоустройство выпускников вузов: смена приоритетов поиска профессиональной реализации // Экономика труда. – 2022. – Том 9. – № 3. – С. 675–688.
4. Пуляева, В.Н. Ценностное предложение работодателя для нового поколения работников // Проблемы теории и практики управления. – 2021. – № 7. – с. 155–166.

## РАЗВИТИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ВИТИ НИЯУ МИФИ В СИНХРОНИЗАЦИИ С ПОТРЕБНОСТЯМИ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Руденко В.А.<sup>1</sup>, Томилин С.А.<sup>2</sup>, Головко М.В.<sup>3</sup>,  
Анцибор А.В.<sup>4</sup>, Волгина С.В.<sup>5</sup>, Цуверкалова О.Ф.<sup>6</sup>

<sup>1,2,4,5,6</sup> Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия

<sup>3</sup> Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

<sup>1</sup>VARudenko@mephi.ru; <sup>2</sup>SATomilin@mephi.ru; <sup>3</sup>golovko178@mail.ru;

<sup>4</sup>AVAntsibor@mephi.ru; <sup>5</sup>SVVolgina@mephi.ru; <sup>6</sup>OFTsuverkalova@mephi.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрен пример развития эффективной образовательной экосистемы на примере одного из опорных вузов ГК «Росатом». Показана синхронизация задач ВИТИ НИЯУ МИФИ с потребностями атомной отрасли и функционирование подсистем, обеспечивающих высококвалифицированными кадрами с уникальными компетенциями все этапы жизненного цикла объектов атомной энергетики: от строительства и производства оборудования до эксплуатации и вывода из эксплуатации.

**Ключевые слова:** образовательная экосистема, стратегические цели и задачи, человеческий потенциал, компетенции, атомная отрасль.

## THE DEVELOPMENT OF THE EDUCATIONAL ECOSYSTEM OF VITI NIYAU MEFHI IN SYNC WITH THE NEEDS OF THE NUCLEAR INDUSTRY

Rudenko V.A.<sup>1</sup>, Tomilin S.A.<sup>2</sup>, Golovko M.V.<sup>3</sup>,  
Antsibor A.V.<sup>4</sup>, Volgina S.V.<sup>5</sup>, Tsuverkalova O.F.<sup>6</sup>

<sup>1,2,4,5,6</sup> Volgodonsk Institute of Engineering and Technology – branch of the National Research Nuclear University  
"MEPhI", Volgodonsk, Russia

<sup>3</sup> KUBAN State Agrarian University, Krasnodar, Russia

<sup>1</sup>VARudenko@mephi.ru; <sup>2</sup>SATomilin@mephi.ru; <sup>3</sup>golovko178@mail.ru;

<sup>4</sup>AVAntsibor@mephi.ru; <sup>5</sup>SVVolgina@mephi.ru; <sup>6</sup>OFTsuverkalova@mephi.ru

**Abstract.** The article considers an example of the development of an effective educational ecosystem on the example of one of the main universities of Rosatom State Corporation. The synchronization of the tasks of the MEFHI Research Institute with the needs of the nuclear industry and the functioning of subsystems providing highly qualified personnel with unique competencies at all stages of the life cycle of nuclear power facilities: from construction and production of equipment to operation and decommissioning is shown.

**Keywords:** educational ecosystem, strategic goals and objectives, human potential, competencies, nuclear industry.

Формирование кадрового ресурса было и остается одним из важнейших условий эффективного развития предприятий такой высокотехнологичной отрасли, как атомная. Разработка новых технологий, диверсификация производства, выход на новые рынки невозможен без высококвалифицированных, молодых и креативных специалистов, готовых решать производственные задачи в условиях жестких экономических и политических ограничений. Отсутствие стратегического подхода к управлению развитием человеческих ресурсов на предприятиях может привести к потере их инновационности и конкурентоспособности. Именно поэтому ГК «Росатом» и всеми предприятиями, входящими в ее контур, особое внимание уделяется укреплению и развитию кадрового потенциала.

Решение обозначенной проблемы найдено в комплексном подходе к формированию компетенций и поддержании профессионализма кадров в актуальном состоянии с участием всех стейкхолдеров: опорных вузов атомной отрасли, предприятий-работодателей и самих сотрудников.

Алгоритмы партнерского взаимодействия в данной области уже сформировались и продолжают развиваться с целью повышения эффективности функционирования и повышения качества подготовки молодых специалистов, формирования у них не только профессиональных компетенций, но и стремления к саморазвитию, коммуникативных навыков, приверженности корпоративным ценностям и внутренней потребности к личностному росту. Хорошие результаты в этом направлении дают открывающиеся в опорных вузах и на отраслевых предприятиях центры компетенций. Их ориентиры направлены на профессиональное развитие не столько сотрудников Росатома, сколько преподавателей и студентов опорных вузов, путем разработки и реализации интенсивов по наиболее востребованным навыкам.

Вместе с этим, динамика внешней среды и актуализация стратегических задач приводят к необходимости постоянного пересмотра и корректировки кадровых стратегий, а отраслевая и региональная специфика диктуют особые требования к компетенциям и способам их формирования. В результате поиска оптимальных и гибких путей формирования кадрового ресурса была выстроена экосистема развития кадрового потенциала (рисунок 1), которая включает различные уровни образования, начиная со школьного. Раннее выявление инженерных способностей, начиная со средней школы, обладает высокой профориентационной ценностью, облегчает профессиональное самоопределение школьников, а также позволяет обеспечить системную качественную подготовку специалистов для различных подразделений.

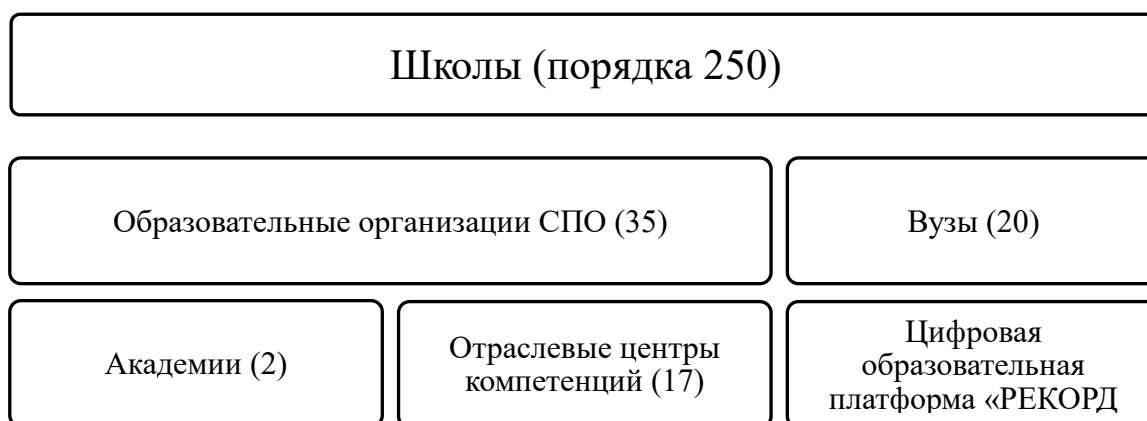


Рисунок 1– Структура экосистемы развития кадрового потенциала Росатома <sup>2</sup>

Весьма сложной и в то же время необходимой задачей для всех опорных вузов ГК «Росатом», главной стратегической целью которых выступает подготовка высококвалифицированных кадров, востребованных атомной отраслью, является выстраивание и эффективное функционирование аналогичной образовательной экосистемы, но, разумеется, в меньших масштабах. Рассмотрим в качестве примера опыт создания такой экосистемы в одном из базовых вузов для предприятий электроэнергетического и машиностроительного дивизионов – Волгодонском инженерно-техническом институте НИЯУ МИФИ (ВИТИ НИЯУ МИФИ).

Ежегодно ВИТИ НИЯУ МИФИ выпускает более 200 студентов, которые работают на отраслевых предприятиях, в т.ч. более 100 из них – молодые специалисты, трудоустраиваемые на завершающем этапе обучения или сразу после окончания вуза. Этот показатель – самый высокий среди всех филиалов НИЯУ МИФИ и один из самых значимых среди опорных вузов в целом.

<sup>2</sup> Составлено по: Ужакина Ю. Обучение в течение всей жизни – это новая реальность // Вестник Атомпрома. – №1. – 2024. – С. 6-10.

Главной особенностью ВИТИ НИЯУ МИФИ является высокая степень синхронизации вектора своего стратегического развития со стратегическими задачами заинтересованных в нем предприятий дивизионов ГК «Росатом» [1]. Развитие ВИТИ НИЯУ МИФИ в горизонте 2030 года определено как формирование научно-образовательного центра, обеспечивающего подготовку высококвалифицированных специалистов, рост качества практикоориентированной подготовки, конкурентоспособность инженерных кадров и научно-исследовательской деятельности в интересах технологического развития предприятий атомной отрасли, других высокотехнологичных отраслей экономики; высокую степень интеграции с предприятиями ГК «Росатом», с российской и глобальной образовательной экосистемой.

На всех этапах формирования молодых специалистов ВИТИ НИЯУ МИФИ использует инновационные подходы и реализует современные тренды, которые объединены в единую образовательную экосистему подготовки высококвалифицированного специалиста. Основными подсистемами рассматриваемой экосистемы являются следующие.

#### *1. Поиск и развитие талантов, создание абитуриентской базы*

ВИТИ НИЯУ МИФИ на протяжении многих лет разрабатывает и реализует эффективные профориентационные проекты [2–4], которые позволяют ежегодно наращивать показатели по приему обучающихся: количество студентов по программам ВО и СПО, средний балл ЕГЭ и средний балл аттестата (для программ СПО). В их числе:

– авторские профориентационные проекты («AtomCamp» – проектные и инженерные образовательные интенсивы для школьников; проект «Стань студентом на один день»; Летняя научно-техническая детская школа «Юные атомщики»; ежегодный физический марафон для школьников города и др.);

– интеграция новых регионов в образовательную среду («Каникулы в Атомграде» для школьников и студентов СПО в рамках проекта «Университетские смены»; дни открытых дверей, профориентационные туры и подготовительные школы для абитуриентов из новых регионов России);

– лучшие практики предвузовской подготовки (развитие Инженерно-технологической гимназии «Юнона» при ВИТИ НИЯУ МИФИ; обучение школьников по программам Центра довузовской подготовки; профориентационные пробы, тестирования, тренинги и мастер-классы).

#### *2. Практико-ориентированная подготовка обучающихся, обеспечивающая бесшовную адаптацию на производстве*

ВИТИ НИЯУ МИФИ в рамках непрерывной подготовки специалистов реализует программы высшего и среднего профессионального образования по востребованным на предприятиях атомной отрасли направлениям подготовки и специальностям. Вуз готовит кадры с уникальными компетенциями для реализации полного жизненного цикла объектов атомной энергетики:

- проектирование и производство оборудования АЭС;
- монтаж, наладка, эксплуатация и вывод из эксплуатации оборудования АЭС;
- ремонт и техническая диагностика оборудования атомных станций;
- цифровые технологии и информационная поддержка производственных процессов;
- строительство объектов атомной отрасли.

Поддержание осведомленности преподавателей и сотрудников ВИТИ НИЯУ МИФИ о стратегических и тактических аспектах развития отраслевых предприятий, регулярное прохождение стажировок и повышение квалификации по востребованным для отрасли вопросам обеспечивают высокую степень актуальности разрабатываемых и реализуемых образовательных программ. Кроме того, все образовательные программы проходят рецензирование и согласование у ведущих специалистов базовых предприятий, модернизируются при любых обновлениях материально-технического оснащения, технологий, появлении перспективных задач по освоению новой продукции или средств производства. Привлечение ведущих специалистов предприятий для проведения занятий,

руководства курсовыми и выпускными квалификационными работами, подготовки к демонстрационным экзаменам, государственной итоговой аттестации обеспечивает еще большую связь ВИТИ НИЯУ МИФИ с реальным производством.

Особое внимание в вузе уделяется практической подготовке. Студенты ВИТИ НИЯУ МИФИ проходят практику на предприятиях ГК «Росатом» ежегодно, начиная с 1 курса.

С учетом особенностей и длительного срока прохождения подготовительных мероприятий для трудоустройства на режимные отраслевые предприятия была разработана и успешно реализуется инновационная модель обучения на рабочем месте.

Модель подготовки специалистов предполагает отбор будущих специалистов из числа студентов выпускного курса для прохождения длительной преддипломной практики продолжительностью в учебный семестр. В этот период ведущими специалистами предприятий – наставниками осуществляется непосредственное обучение на рабочем месте, оказывается помощь в изучении специальных дисциплин, выполнении выпускной квалификационной работы, проходит сдача экзаменов на должность и др. Профессиональное развитие каждого обучающегося, его потенциала реализуется за счет перехода от массового, стандартизированного подхода к человекоцентричному. После завершения обучения в вузе, прохождения итоговой государственной аттестации, молодого специалиста закрепляют на рабочем месте.

В 2021 году ВИТИ НИЯУ МИФИ стал победителем Всероссийского конкурса «Передовые технологии подготовки профессиональных кадров» по номинации «Обучение на рабочем месте специалистов для атомных электрических станций: инновационная модель». Конкурс проводился АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов» на цифровой платформе «Смартека».

Модель постоянно совершенствуется и гибко встраивается в учебный процесс вуза при переходе студентов выпускных курсов на индивидуальный учебный план, позволяет повысить качество подготовки выпускников, сократить период их адаптации на производстве и обеспечить ранее трудоустройство.

Кроме того, в ВИТИ НИЯУ МИФИ эффективно функционирует Ресурсный центр ГК «Росатом» – НИЯУ МИФИ для практико-ориентированного обучения отечественных и иностранных студентов на полномасштабном оборудовании АЭС, привлекаются к реализации образовательных программы отраслевые центры компетенций, расположенные на площадках Филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск и филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция». Вместе с этим в настоящее время создаются новые образовательные пространства с высокотехнологичным оборудованием, направленные на развитие практико-ориентированного обучения студентов. Одним из таких структурных компонентов является, например, фабрика процессов для отработки навыков, направленных на повышение безопасности эксплуатации и качества ремонта оборудования АЭС.

Особое внимание в ВИТИ НИЯУ МИФИ уделяется цифровизации образования. Создана и успешно функционирует электронная образовательная среда, создаются онлайн-курсы, обеспечена доступность для студентов полного пула учебно-методических материалов.

Качество подготовки выпускников подтверждается не только результатами промежуточной и итоговой аттестации, участия в конкурсах профессионального мастерства, сдачи демонстрационных экзаменов [5]. Выпускники ВИТИ НИЯУ МИФИ успешно проходят независимую оценку квалификации на базе Центра оценки квалификаций Совета профессиональных квалификаций в сфере атомной энергии.

### *3. Развитие надпрофессиональных компетенций*

Наряду с формированием профессиональных компетенций в ВИТИ НИЯУ МИФИ уделяется особое внимание развитию деловых и управленческих компетенций студентов, формированию у них осознанного стремления к саморазвитию и личностному росту, следованию корпоративным ценностям и трендам. Для систематизации этой работы в

феврале 2024 года на площадке ВИТИ НИЯУ МИФИ было открыто представительство соответствующего центра деловых и управленческих компетенций НИЯУ МИФИ. Это позволило использовать дополнительные информационно-методические ресурсы, в частности, разработанные и размещенные на президентской платформе «Россия – страна возможностей».

На завершающем этапе обучения студенты проходят комплексную оценку сформированности у них деловых и управленческих компетенций, что подтверждается соответствующим паспортом компетенций. Это дополнительный маркер их готовности к включению в производственную деятельность предприятий атомной отрасли.

#### *4. Послевузовское образование*

ВИТИ НИЯУ МИФИ продолжает оказывать образовательную и методическую поддержку своим выпускникам и после их трудоустройства. Разработан и постоянно обновляется широкий спектр программ дополнительного профессионального образования, позволяющих как молодым, так и уже опытным специалистам развивать свои профессиональные и надпрофессиональные компетенции.

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод о высокой значимости взаимодействия образовательных организаций и отраслевых предприятий в области подготовки кадров с формированием образовательной экосистемы «школа–техникум–вуз–послевузовское образование». Такая экосистема позволяет обеспечить:

- повышение качества профессиональной и надпрофессиональной подготовки специалистов;
- разработку и реализацию новых подходов к гибкому формированию компетенций обучающихся, особенно в условиях диверсификации производства и внедрения новых бизнесов;
- активизацию инновационной деятельности вузов и предприятий;
- формирование многостороннего социального партнёрства образования и бизнеса.

Вместе с тем, для синхронизации задач высшего образования с требованиями предприятий атомной отрасли необходимы постоянная адаптация и актуализация используемых подходов, методик и практик к меняющимся требованиям внешней среды, вовлечение новейших цифровых решений и перспективный подход к выявлению и удовлетворению кадровых потребностей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руденко В.А., Головки М.В., Томилин С.А., Цуверкалова О.Ф. Синхронизация задач отраслевых вузов со стратегией развития ГК "Росатом" как фактор обеспечения безопасности атомной энергетики // Глобальная ядерная безопасность. 2020. № 1(34). С. 98-106.
2. Руденко В.А., Томилин С.А., Железнякова А.В., Лобковская Н.И. Инновационная модель профориентационной кооперации стейкхолдеров атомной отрасли на базе Волгодонского инженерно-технического института – филиала Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ" // Глобальная ядерная безопасность. 2022. № 3(44). С. 73-85.
3. Лобковская Н.И., Томилин С.А., Железнякова А.В. Эффективные практики профориентационного сотрудничества заинтересованных сторон инженерного образования // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании. Сб. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. Балаково, 2023. С. 226-231.
4. Руденко В.А., Томилин С.А., Железнякова А.В., Лобковская Н.И. Профориентационная кооперация стейкхолдеров атомной отрасли // Безопасность ядерной энергетики. Тезисы докладов XVIII Междунар. науч.-практ. конф. Волгодонск, 2022. С. 82-84.
5. Руденко В.А., Томилин С.А., Анцибор А.В., Доблер Г.А., Василенко Н.П. Демонстрационный экзамен в ВИТИ НИЯУ МИФИ: новый подход к итоговой аттестации выпускников // Безопасность ядерной энергетики. Тезисы докладов XIV Междунар. науч.-практ. конф. Волгодонск, 2018. С. 127-130.

## ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АТОМГРАДА В УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ НОВОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Ухалина И.А.<sup>1</sup>, Ефименко Н.А.<sup>2</sup>, Анцибор А.В.<sup>3</sup>

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

*<sup>1</sup>IAUkhalina@mephi.ru, <sup>2</sup>NAEfimenko@mephi.ru, <sup>3</sup>AVAntsibor@mephi.ru*

**Аннотация.** Города присутствия ГК «Росатом», так называемые атомграды, обеспечивают устойчивое развитие не только самих предприятий корпорации, но и прилегающих территорий. Фактически пространственное развитие территорий сопровождается агломерационными процессами. Одним из атомградов, попавшим под эти процессы является город Волгодонск, представленный 4 дивизионами ГК «Росатом». Пространственное развитие территорий требует постоянных инвестиций для создания не только стабильной работы предприятий, но и комфортной городской среды, привлекательной для жизни молодых перспективных специалистов, развитие инфраструктурных связей.

**Ключевые слова.** Атомград, агломерация, пространственное развитие территорий, инвестиции.

## PROBLEMS OF ATOMGRAD DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF THE FORMATION OF A NEW AGGLOMERATION

Ukhalina I.A.<sup>1</sup>, Efimnko N.A.<sup>2</sup>, Antsibor A.V.<sup>3</sup>

*Volgodonsk Institute of Engineering and Technology – branch of the National Research Nuclear University "MEPhI",  
Volgodonsk, Russia*

*<sup>1</sup>IAUkhalina@mephi.ru, <sup>2</sup>NAEfimenko@mephi.ru, <sup>3</sup>AVAntsibor@mephi.ru*

**Abstract.** The cities where Rosatom Group operates, the so-called atomgrades, ensure the sustainable development of not only the corporation's enterprises themselves, but also the surrounding territories. In fact, the spatial development of territories is accompanied by agglomeration processes. One of the atomgrades that fell under these processes is the city of Volgodonsk, represented by 4 divisions of Rosatom State Corporation. Spatial development of territories requires constant investments to create not only stable operation of enterprises, but also a comfortable urban environment, attractive for young promising specialists, and the development of infrastructure links.

**Keywords.** Atomgrad, agglomeration, spatial development of territories, investments.

Город Волгодонск является одним из 29 городов присутствия объектов ГК «Росатом», «Атомградом XXI века», представленный 4 дивизионами ГК «Росатом» [1]. Волгодонск стал локомотивом индустриального развития восточной части Ростовской области, энергетическим центром Юга России, имеет высокий демографический потенциал, геостратегическое положение между двумя городами-миллионниками (Ростов-на-Дону и Волгоград), связан водными путями с пятью морями (Белое, Балтийское, Каспийское, Азовское, Черное), имеет железнодорожные и автотранспортные коридоры.

Уникальность Волгодонска на сегодняшний день заключается в том, что он является единственным городом, на территории которого расположены предприятия четырех дивизионов ГК «Росатом»: от производства оборудования для атомных станций, монтажа и наладки, до непосредственной эксплуатации и поддержания его работоспособности. Кроме того, в июле 2016 года был создан Волгодонский промышленный кластер атомного машиностроения, объединяющий 18 организаций города.

Экономический потенциал Волгодонска заключается в развитой инновационной промышленности: энергетика (филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», Волгодонская ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, Цимлянская ГЭС), машиностроение (филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г.Волгодонск, АО «Атоммашэкспорт», ООО «Полесье», ООО «МТМ»), химическая промышленность (ОАО ВХЗ «Кристалл», ООО НПО «НИИПАВ»), деревообрабатывающая промышленность (ООО «Алмаз», ОАО «ВКДП»),

пищевая и перерабатывающая промышленность (ООО «Донские биотехнологии», ООО «Ванта», ООО «Волга-Дон рыба» и др., более 20 предприятий).

Город Волгодонск вносит свой вклад в развитие Ростовской области во многих сферах жизнедеятельности. В 2023 г. за счет Волгодонска объем производства электроэнергии составил более 60%, объем отгруженной продукции 162,2 млрд. руб., введено в действие жилых домов общей площадью 42,3 тыс. кв. м, инвестиции в основной капитал по крупным и средним предприятиям, 11 млрд. руб., оборот розничной торговли по всем каналам реализации составил 60,4 млрд. руб.

Фактически г. Волгодонск выполняет функции агломерационного ядра, выступая центром крупной агломерации на востоке Ростовской области, но официально такого статуса территория не имеет. Ресурсами и возможностями социально-культурных, медицинских, образовательных и других инфраструктурных объектов города фактически пользуются жители не только города Волгодонска, но и население 11 соседних районов области. Численность населения г. Волгодонска и 11 районов (Волгодонской, Дубовский, Зимовниковский, Константиновский, Мартыновский, Ремонтненский, Семикаракорский, Цимлянский, Заветинский, Орловский, Пролетарский) составляет 496,7 тыс. чел., это 11,9% от численности населения Ростовской области. Общая площадь 12 муниципальных образований – 33267,74 кв. км, что занимает 33% от площади Ростовской области.

Экономическая значимость агломераций состоит в пространственном развитии территорий, концентрации их ресурсного потенциала, создающей условия опережающего развития в регионе и, как следствие, приток инвестиций.

Волгодонск входит в число 149 городов обладающих повышенной концентрацией научно-технологических производств, играющих особую роль в экономическом развитии страны. Эти города обладают высоким потенциалом для развития и населением, предъявляющим спрос на повышение качества городской среды [2,3].

С целью поддержания городов присутствия ГК «Росатом» в 2015г. было заключено «Соглашение о сотрудничестве Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» и Правительства Ростовской области». Средства от дополнительных налогов корпорации, направляемые в регион, распределяются между муниципалитетами области. Несмотря на то, что именно г. Волгодонск является непосредственно территорией расположения Ростовской АЭС, предприятий атомного машиностроения (Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск), предприятий ветроэнергетики (АО «НоваВинд»), обеспечивает предприятия корпорации кадрами (ВИТИ НИЯУ МИФИ), городу направляется незначительная часть от отчислений ГК «Росатом» в регион.

Основной проблемой для Волгодонска является недостаток финансовых средств, что снижает возможности развития города. Дополнительные налоги, направленные ГК «Росатом» в Ростовскую область в 2023 году составили более 9 млрд. руб. Из этих средств дополнительные налоги, направленные регионом в муниципальное образование город Волгодонск, составили 420 млн. руб. или 4,6%. В рамках Соглашения между Росатомом и Ростовской областью в 2024 году г. Волгодонску будут выделены средства на общую сумму 307 млн. руб., что почти на 27% меньше, по сравнению с 2023г. При неуклонном росте отчислений в региональный бюджет г. Волгодонск получает недостаточно средств для устойчивого развития и формирования комфортной городской среды и притока квалифицированных кадров в атомград.

Инвестиции в объекты промышленной, инженерной, энергетической, коммунальной, транспортной, социальной инфраструктуры будут содействовать формированию благоприятной среды для бизнеса. Развитие и внедрение в производство высоких технологий, расширение образовательного и высокотехнологических рынков, обеспечит привлекательность города для молодых перспективных исследователей, развитие инфраструктурных связей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомин М. Атомграды: каркас развития страны. Новый атомный эксперт. Вгляд / август #5\_2023. Режим доступа: [https://atomicexpertnew.ru/nuclear\\_cities\\_the\\_framework\\_for\\_the\\_development\\_of\\_the\\_country](https://atomicexpertnew.ru/nuclear_cities_the_framework_for_the_development_of_the_country) (дата обращения: 11.08.2024).
2. Ковалевская Н.Ю. Агломерация как форма привлечения инвестиций в проекты развития территорий. Научный журнал Байкальского государственного университета. 2022; Т. 13. 3. Режим доступа: <http://brj-bguer.ru/reader/article.aspx?id=25373> (дата обращения: 15.05.2024).
3. Одинцова А. В. Проблемы развития агломераций в России. Федерализм. 2021; 2: 139-149 Режим доступа: <https://federalizm.rea.ru/jour/article/view/225?locale=ru> (дата обращения: 07.05.2024).

УДК 621.039.74

## ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИВЕРЖЕННОСТИ КУЛЬТУРЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ИНДИВИДУАЛЬНОМ УРОВНЕ

Бурланкова Е.А.<sup>1</sup>, Фетисова Ю.А.<sup>2</sup>

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», Волгодонск, Россия  
<sup>1</sup> [burlankova-ea@vdpnp.rosenergoatom.ru](mailto:burlankova-ea@vdpnp.rosenergoatom.ru); <sup>2</sup> [fetisova-ya@vdpnp.rosenergoatom.ru](mailto:fetisova-ya@vdpnp.rosenergoatom.ru)

**Аннотация.** В работе рассматриваются роли руководителей подразделений и персонала в формировании и развитии культуры безопасности, рассмотрены основные положения культуры безопасности, три уровня развития культуры безопасности и основные аспекты приверженности культуре безопасности на индивидуальном уровне. Руководители определяют и задают культуру безопасности всего коллектива. Именно руководители ответственны за создание такой психологической атмосферы, которая обеспечивает свободный обмен мнениями и передачу информации о нарушениях в работе и безопасности. Задача руководителя на примере своего отношения к делу обеспечить, чтобы персонал воспринимал созданную рабочую обстановку и извлек из нее пользу. Культура безопасности имеет большое значение в определении профессиональной надежности работников АЭС.

**Ключевые слова:** культура безопасности, МАГАТЭ, коммуникативность, критическая позиция, взвешенный подход, приверженность, открытость, индивидуальный уровень, предотвращение ошибок, глубокоэшелонированная защита.

## KEY ASPECTS OF COMMITMENT TO A SAFETY CULTURE AT THE INDIVIDUAL LEVEL

Burlankova E.A.<sup>1</sup>, Fetisova Yu.A.<sup>2</sup>

Branch of Rosenergoatom Concern JSC Rostov Nuclear Power Plant, Volgodonsk, Russia  
<sup>1</sup> [burlankova-ea@vdpnp.rosenergoatom.ru](mailto:burlankova-ea@vdpnp.rosenergoatom.ru); <sup>2</sup> [fetisova-ya@vdpnp.rosenergoatom.ru](mailto:fetisova-ya@vdpnp.rosenergoatom.ru)

**Abstract.** The paper examines the roles of heads of departments and staff in the formation and development of a safety culture, examines the main provisions of a safety culture, three levels of development of a safety culture and the main aspects of commitment to a safety culture at the individual level. Managers define and define the safety culture of the entire team. It is the managers who are responsible for creating such a psychological atmosphere that ensures a free exchange of opinions and the transfer of information about work and safety violations. The task of the head, using the example of his attitude to the case, is to ensure that the staff perceives the created working environment and benefits from it. Safety culture is of great importance in determining the professional reliability of NPP workers.

**Keywords:** safety culture, IAEA, communication, critical position, balanced approach, commitment, openness, individual level, error prevention, deep-layered protection.

Исследование масштабных инцидентов в атомной энергетике и других секторах показало, что основная причина большинства аварий заключается в недостатках управления и организации, что свидетельствует о недостаточной культуре безопасности.

Концепция культуры безопасности была впервые предложена Международной Консультативной Группой по Ядерной Безопасности (INSAG) в 1986 году в результате изучения причин Чернобыльской катастрофы. В дальнейшем ее развили в отчетах INSAG-3 и

INSAG-4. Другие документы МАГАТЭ также подчеркивают принципы культуры безопасности и выдвигают требования к организациям, обладающим ядерными установками.

В современности культура безопасности рассматривается как ключевой управленческий принцип в атомной отрасли, и ей уделяется первостепенное внимание в опасных производствах. Этот процесс является динамичным и не поддается строгой формализации, хотя можно выделить общие характеристики и действия, способствующие прогрессу. Культура безопасности требует от сотрудников осознания ее значимости, а также понимания причин соблюдения стандартов.

Среди общих принципов управления, реализованных в атомной энергетике и промышленности, можно выделить несколько аспектов, имеющих непосредственное отношение к обеспечению безопасности. Это, в первую очередь:

- установление культуры безопасности;
- ответственность эксплуатирующей организации;
- нормативное регулирование и независимый контроль.

Культура безопасности имеет особенности, выделяющие ее из ряда иных принципов. В отличие от других принципов обеспечения безопасности, направленных на решение научных, инженерных, технических, медико-биологических и других проблем, обеспечивающих безопасность объектов, культура безопасности адресована непосредственно человеку, личности. В то же время культурой безопасности должна быть пронизана деятельность всех подразделений, независимо от вида деятельности. Большое значение здесь приобретает необходимое внимание вопросам безопасности со стороны руководства. Именно оно создает атмосферу открытости, обеспечивающую свободную передачу информации, относящейся к безопасности.

Руководители определяют и задают культуру безопасности всего коллектива. Именно руководители ответственны за создание такой психологической атмосферы, которая обеспечивает свободный обмен мнениями и передачу информации о нарушениях в работе и безопасности. Важно создание атмосферы, когда исключается необходимость сокрытия исполнителем работ каких-либо ошибок или неправильных действий.

Культура безопасности включает в себя ценности, нормы и правила поведения, которые помогают поддерживать безопасность. Она требует активного участия всех работников и руководства, создающего условия для открытого обмена информацией о безопасности и нарушениях.

Элементы культуры безопасности:

Политическая приверженность:

1. официальное заявление или политика в сфере безопасности;
2. организационные структуры управления;
3. обеспечение необходимыми ресурсами;
4. анализ опыта эксплуатации с целью улучшения мер по обеспечению безопасности.

Приверженность руководителей:

1. четкое распределение полномочий и обязанностей;
2. мониторинг и контроль выполнения задач;
3. обучение и повышение квалификации;
4. система вознаграждений и санкций;
5. оптимизация мероприятий и процессов, направленных на улучшение культуры безопасности.

Индивидуальная приверженность:

1. критический подход к вопросам безопасности;
2. строго регламентированный и взвешенный подход к коммуникации.

Создание культуры безопасности подразумевает развитие у каждого человека, связанного с атомной энергетикой и отраслью в целом, критического отношения, упорядоченного и обоснованного подхода, а также способности к коммуникации. Это

состояние подразумевает, что в процессе выполнения служебных обязанностей работник не сможет совершить даже незначительное действие, которое могло бы угрожать безопасности.

Первый принцип соблюдения культуры безопасности на уровне индивидуума — это критическое отношение. Оно проявляется в том, что перед началом выполнения задания сотрудник тщательно обдумывает его, определяет свои задачи и ответственность, выделяет наиболее сложные элементы работы, а также продумывает меры предосторожности на случай ошибок или нарушений.

На атомной электростанции необходимость уделения значительных временных и ресурсных затрат на подготовительный этап работы подчеркивает важность индивидуального осознания работником своей роли и поставленных перед ним задач перед началом выполнения работы.

Принцип приверженности культуре безопасности основан на четко установленном и обдуманном подходе. Главным аспектом эксплуатации атомных станций является регламентированность процессов. Это подразумевает, что сотрудники, работающие с оборудованием, должны выполнять только предписанные действия: обходы по заданным маршрутам, ремонт, техническое обслуживание и тестирование по заранее утвержденным графикам, допуск ремонтной бригады, переходы на резервные аппараты, запуск и остановка оборудования и прочее.

На индивидуальном уровне этот четко структурированный и обдуманный подход начинается с внутренней сосредоточенности на выполнении задач, осознания и понимания сути процессов (программ, форм, разделов инструкций) и предполагает строгое соблюдение назначенных процедур, отвергая искушение упростить и рационализировать рабочий процесс на ходу (что является мотивационной ошибкой). Так формируются приоритеты безопасности, качества и дисциплины, которые ставятся выше производительности, удобства и сроков выполнения задач.

Третий принцип приверженности культуре безопасности на индивидуальном уровне: коммуникативность.

Информированность или открытость для обмена мнениями и данными играет ключевую роль в эффективности взаимодействия сотрудников атомной станции всех уровней и является критически важной на всех этапах производства в атомной энергетике.

Передача информации должна происходить своевременно и включать все необходимые детали, что также предполагает получение обратной связи. Если руководитель и сотрудники не располагают достаточной информацией, принятые решения могут оказаться неэффективными и небезопасными.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова В.Н. «Организационная психология, организационная культура и культура безопасности в атомной энергетике» Часть 1 ФГУП «Концерн «Росэнергоатом»» ОНИЦ «Прогноз», 2011. - 316 с.
2. Труды психологической службы в атомной энергетике и промышленности Том 2 ФГУП «Концерн «Росэнергоатом»» ОНИЦ «Прогноз», 2007.
3. НП-001-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии "Общие положения обеспечения безопасности атомных станций". – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420329007> (дата обращения: 11.08.2024)
4. Руководство ВАО «Принципы сильной культуры ядерной безопасности» WANO GL 2006-02.
5. Третьяков В.П. Психология безопасности эксплуатации АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1993. — 176 с.

## СПЕЦИФИКА СТРАТЕГИЧЕСКОГО МАРКЕТИНГОВОГО УПРАВЛЕНИЯ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

**Хухлаев Д. Г.**

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия  
omega356@yandex.ru*

**Аннотация.** В статье рассмотрены специфические особенности маркетинговой среды стратегического управления предприятиями высокотехнологичных отраслей, при этом акцент сделан на атомной отрасли. Предложена гипотеза о необходимых задачах, стоящих перед стратегическим менеджментом предприятий высокотехнологичных отраслей, в частности – атомной.

**Ключевые слова:** стратегический маркетинг, высокотехнологичные отрасли, стратегический потенциал предприятия

## THE SPECIFICS OF STRATEGIC MARKETING MANAGEMENT IN THE NUCLEAR INDUSTRY

**Khukhlaev D. G.**

*Volgodonsk Institute of Engineering and Technology – branch of the National Research Nuclear University "MEPhI",  
Volgodonsk, Russia  
omega356@yandex.ru*

**Abstract.** The article examines the specific features of the marketing environment of strategic management of enterprises in high-tech industries, with an emphasis on the nuclear industry. A hypothesis is proposed about the necessary tasks facing the strategic management of enterprises in high-tech industries, in particular, nuclear energy.

**Keywords:** strategic marketing, high-tech industries, strategic potential of the enterprise

Стратегическое управление хозяйствующими субъектами и высокотехнологичными отраслями, к которым они относятся имеет ряд особенностей, требующих консолидирования и учета разнообразных рыночных факторов. Это в свою очередь определяет стратегическое управление как маркетинговое. Функции стратегического маркетинга включают в себя «долгосрочное прогнозирование, анализ рынка сбыта и конкурентов, портфельный анализ, разработку маркетинговых стратегий и программ действий, а также участие в формировании идеологии компании» [1].

Необходимо выделить специфику функционирования высокотехнологичных отраслей, к которым относится атомная отрасль. При этом, мы структурируем факторы, по критерию их влияние на стратегическое управление.

1. Ресурсоемкость. создание конкурентоспособной продукции требует от предприятий отрасли. Предприятию необходимо обладать всей номенклатурой ресурсных и функциональных потенциалов (техническим, финансовым, ресурсным и др.) [2].

2. Инновационная среда.

А) Атрибутивность инновационности продукта.

Б) Длительность инновационного процесса.

В) Различный характер развития продукта. В атомном машиностроении он носит эволюционный характер (например, реакторы семейства ВВЭР)

3. Специфика конкуренции. С одной стороны продукция высокотехнологичных отраслей имеет ярко выраженный стратегический характер. Соответственно, среди факторов макросреды

4. Специфика принятия решения о заключении контракта (приобретения продукции). Главной особенностью является невозможность приобретения продукции без санкции

государства либо его непосредственного участия. Причем это правомерно как для производителя, так и для покупателя

5. Высокие требования к компетентности эксплуатанта.

6. Технологическая сложность продукции, большая часть

7. Острая необходимость в технологической и научной кооперации, которая может носить как внутригосударственный характер, так и международный [3].

8. Возросшая роль «слабых» сигналов в стратегическом маркетинговом управлении [4].

Таблица 1 – Особенности функционирования атомной отрасли как маркетинговой экосистемы.

Группа факторов	Атомная отрасль
Ресурсоемкость	Наукоемкость определена разноплановым характером элементов атомной энергетики. Специфические требования к обладанию сырьевым потенциалом (ядерное сырье)
Инновационная среда	Требование к получению референсной информации о результатах инновации
Специфика конкуренции	Прямое влияние стран-конкурентов, максимизация влияния политических факторов
Специфика принятия решения о заключении контракта	Принимается только на основе государственных соглашений. Непосредственным контрагентом выступает корпорация.
Высокие требования к компетентности эксплуатанта	Длительный срок овладения компетенциями, как исполнителями, так и компанией-эксплуатантом. Оборудование АЭС требует комплексного овладения пулом компетенций.
Технологическая сложность продукции	Высокий потенциальный уровень опасности в ходе эксплуатации
Технологическая и научная кооперация	Необходимость участия большого количества контрагентов вследствие разнородности функциональных элементов, обеспечивающих функционирование атомной энергетики
Роль «слабых» сигналов в принятии стратегических решений.	Роль «слабых» сигналов в атомной отрасли значительно снижена вследствие инертности потребительских требований и предпочтений.

Предложенные особенности атомной отрасли вполне соотносятся с принципами интеграции промышленных предприятий предложенных М.А. Пашоликовым [5].

Выводы.

Высокотехнологичные сферы, к которым относится атомная отрасль отражают общие тенденции в инноватике и экономике гораздо более выраженными. При этом, многие аспекты становятся атрибутами деятельности, то есть, неотъемлемыми. Например, увеличение длительности процесса.

Маркетинговый характер стратегического управления определен учета большого количества рыночных факторов и интересов участников экономических (маркетинговых) отношений.

Уровень взаимодействия между участниками рынка становится предельным, поскольку охватывает не только производственную и маркетинговую кооперации, но затрагивает вопросы научного поиска, подготовки кадров (как для сектора создания продукта, так и для покупателя-эксплуатанта)

Производитель, чья деятельность относится к высотехнологичной сферы встает перед необходимостью трансформации рыночных отношений, и различных групп контрагентов в единую маркетинговую экосреду. Эту задачу можно выделить как одну из основных, которую необходимо решить стратегическому менеджменту предприятия, отрасли и госконцерну.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наумов, В. Н. Стратегический маркетинг / В.Н. Наумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: ИНФРА-М.– 2022. – 356 с.

2. Красюк, И. А. Модель стратегического потенциала предприятия как объекта стратегического маркетинга / И.А. Красюк, Д.Г. Хухлаев // Экономический анализ. – 2023. – Т.22, №11. – С. 1996-2019.
3. Наумов, В. Н. Стратегическое взаимодействие рыночных субъектов в маркетинговых системах / В. Н. Наумов, В. Г. Шубаева. – Москва: ИНФРА-М, 2015. – 270 с.
4. Красюк, И. А. Маркетинговое сопровождение высокотехнологичной продукции / И. А. Красюк, А. Ю. Брагин // Наука и инновации: исследование и достижения : сборник статей V Международной научно-практической конференции. Пенза: Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний», 2022. – С. 155-159.
5. Пашоликов, М. А. Системно-динамическое моделирование совместной деятельности промышленных предприятий / М. А. Пашоликов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2016. – № 3(245). – С. 101-110. – DOI 10.5862/IE.

---

---

## СЕКЦИЯ

---

---

# ИЗГОТОВЛЕНИЕ И РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

УДК 681.142.37

## ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ФОРМЫ ОБЕЧАЕК ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ

**Шилин А. Н.<sup>1</sup>, Атаманюк Р.Г.<sup>2</sup>, Шилин А. А.<sup>3</sup>**

*Волгоградский Государственный Технический Университет, Волгоград, Россия*  
*<sup>1</sup>atamanuk17@gmail.com; <sup>2</sup>shanvstu@gmail.com*

**Аннотация.** Был проведен анализ оптической системы для контроля отклонений поверхности крупногабаритных оболочек, таких как обечайки, от их цилиндрической формы в процессе формообразования на листогибочных станках. Для проверки размеров обечайки в процессе производства была спроектирована опτικο-электронная система измерения. Главной проблемой контроля формы поперечного сечения обечайки с использованием данного прибора является изменчивое положение центра сечения при вращении обечайки на валках станка. Поэтому необходимо сформировать математическую модель процесса измерения для такого прибора.

**Ключевые слова:** Контроль крупногабаритных деталей, оптические схемы измерения, оптические и опτικο-электронные приборы, бесцентровые методы контроля цилиндрических деталей.

## OPTICAL-ELECTRONIC SYSTEM FOR CONTROL OF SHELL SHAPE DURING SHAPE FORMATION

**Shilin A. N.<sup>1</sup>, Atamanyuk R. G.<sup>2</sup>, Shilin A. A.<sup>3</sup>**

*Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia*  
*<sup>1</sup>atamanuk17@gmail.com; <sup>2</sup>shanvstu@gmail.com*

**Abstract.** The paper presents an analysis of an optical system for monitoring deviations of the surface of large-sized shells, namely shells, from a cylindrical shape during their shaping on roller bending machines. To control the dimensions of the shell during its manufacture, an optical-electronic measuring device was developed. The main problem of monitoring the cross-sectional shape of the shell using this device is the variability of the position of the center of the section when the shell rotates in the machine rolls. Therefore, the goal of the work was to form a mathematical model of the measurement process for such a device, as well as error analysis.

**Keywords:** Inspection of large-sized parts, optical measurement circuits, optical and optoelectronic devices, centerless methods for inspection of cylindrical parts.

Обечайка представляет собой основной элемент конструкций в различных отраслях промышленности, таких как аэрокосмическая, нефтехимическая и атомная. В процессе формирования цилиндрической поверхности обечайки на листогибочной машине существенную роль играет технологическая точность. Эта точность напрямую влияет на эффективность сборочных и монтажных операций, а также на эксплуатационные характеристики конечного изделия. На начальном этапе проектирования опτικο-электронных приборов осуществляется выбор оптической схемы измерения по условию минимальной методической погрешности. Затем по оптической схеме измерения разрабатывается необходимая измерительная система (рис. 1)

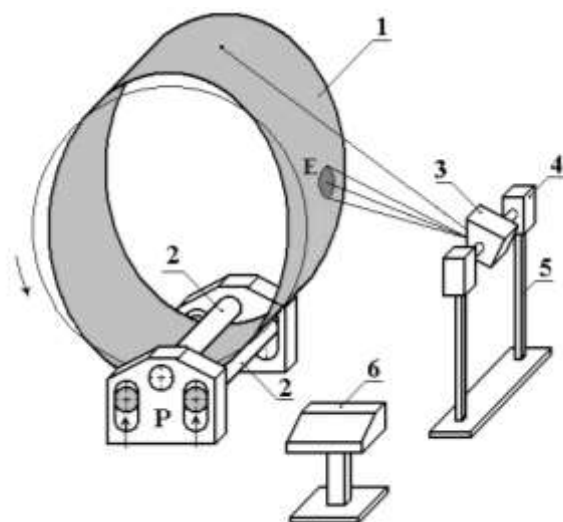


Рисунок 1 – Конструкция оптико-электронной измерительной системы контроля обечаяк

Информация о требуемой геометрической форме детали представляет собой основу для выбора технологического процесса её формирования. Однако, в связи с бесцентровым характером вращения детали, обеспечить регистрацию её формы в поперечном сечении (профилограммы) затруднительно.

Для исследования метода бесконтактного измерения применяется теория функций комплексного переменного, с помощью которой мы определяем функцию преобразования реального профиля детали на комплексной плоскости в профилограмму (рис. 2).

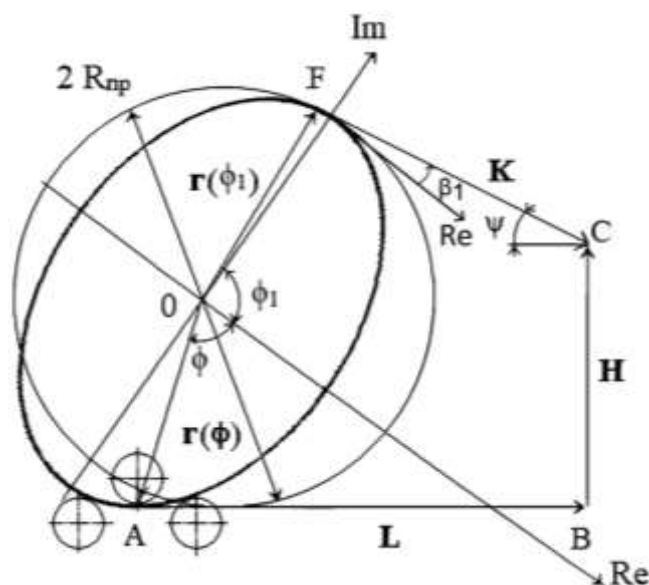


Рисунок 2 – Схема измерения овальности обечайки

Профиль детали представим в виде комплексного радиуса-вектора, представленного в виде:

$$r(\phi) = r_0 + r_m * \sin(2\phi), \quad (1)$$

где  $r_0$  – средний радиус профиля детали;  $r_m$  – амплитуда гармонической составляющей профиля детали.

Для определения координаты точки касания  $\phi_1$  оптической оси оптико-электронного измерительного преобразователя к контуру детали составим равенство из правых частей уравнений:

$$e^{(j\phi)} \cdot r(\phi) + L \cdot e^{(j\beta)} + H \cdot e^{j(\beta+\frac{\pi}{2})} = r(\phi_1)e^{(j\phi_1)} + K \cdot e^{j\beta_1}, \quad (2)$$

где  $\beta$  - угол наклона касательной в точке А,  $\beta_1$  - наклон касательной в точке F через производную к контуру с неизвестной координатой  $\phi_1$ , H - высота установки измерительного преобразователя; L – расстояние от центрального валка до места установки измерительного преобразователя; где K - расстояние от измерительного преобразователя до точки касания оптического луча с поверхностью контролируемой детали.

Затем вычисляются значения угла  $\psi = \beta + \pi - \beta_1$ , далее определяется приведенный радиус детали  $R_{пр}$  с помощью следующей формулы:

$$R_{пр} = \frac{L \sin \psi + H \cos \psi}{1 + \cos \psi}. \quad (3)$$

Поскольку с помощью этой схемы измерения невозможно измерить текущий радиус профиллограммы, то для контроля величины овальности -  $2r_m$  используется приведенный радиус детали, т.е. радиус цилиндрической детали, который соответствует координате точки касания оптической оси преобразователя.

Ошибку измерения эллиптичности определяется следующим образом:

$$\varepsilon = (R|_{\text{прив}} - r_0)_{\max} - (R|_{\text{прив}} - r_0)_{\min}$$

Было определено, что эта ошибка достигает минимального значения при установке измерительного преобразователя H на высоту среднего диаметра профиля детали  $2r_0$

Таким образом, в ходе работы была создана математическая модель процесса измерения, а также разработан бесцентровая оптико-электронная система контроля обечаек. Полученные результаты контроля могут быть использованы для управления технологическим процессом формирования, а именно заданием радиуса гибки по контуру.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2181190, МПК G01B 21/10, 10.04.2002.
2. Шилин А.Н. Исследование методических погрешностей оптико-электронных информационно-измерительных систем управления производством обечаек // Измерительная техника. - 1989. - № 10. - С. 8-10.
3. Гебель И.Д. Инвариантные свойства отклонения профиля от круглой формы // Измерительная техника. - 1978. №11. -С.16-19.
4. Соломенцев Е.Д. Функции комплексного переменного и их применения. - Москва.: Высшая школа, 1988. - 167 с.

УДК 621.18:621.311.25

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АЭС

**Бакуменко З.С.<sup>1</sup>, Клейменов Ю.А.**

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

*<sup>1</sup>zahar.bakumenko@yandex.ru; <sup>2</sup>yurykleymenov2018@mail.ru*

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема повреждения металла коллектора в зоне сварного шва № 111 парогенераторов атомных электрических станций. Представлены результаты исследования причин возникновения дефектов.

**Ключевые слова:** парогенератор, атомная электростанция, сварное соединение № 111, статистика, повреждение.

# IMPROVING THE RELIABILITY OF STEAM GENERATORS OF DOMESTIC NUCLEAR POWER PLANTS

**Bakumenko Z.S.<sup>1</sup>, Kleymenov Y.A.<sup>2</sup>**

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

*<sup>1</sup>zahar.bakumenko@yandex.ru, yurykleymenov2018@mail.ru*

**Abstract.** The paper considers the problem of metal damage to welded joints № 111 of steam generators of nuclear power plants. Special attention is paid to the distribution of metal's temperature in the area of weld № 111 when the PG is operating at nominal parameters.

**Keywords:** steam generator, nuclear power plant, welded joint № 111, statistics, damage.

В отечественной атомной энергетике существует проблема повреждения металла сварных соединений № 111 приварки коллектора теплоносителя к корпусу парогенераторов АЭС. В зоне термического влияния и на самом шве образовывались трещины, представляющие значительную угрозу для безопасности.

В исследовании были проведены научно-технические работы для выявления факторов, приводящих к появлению дефектов в деталях ПГ. Количество поврежденных ПГ в зависимости от года обнаружения показано на рисунке 1.

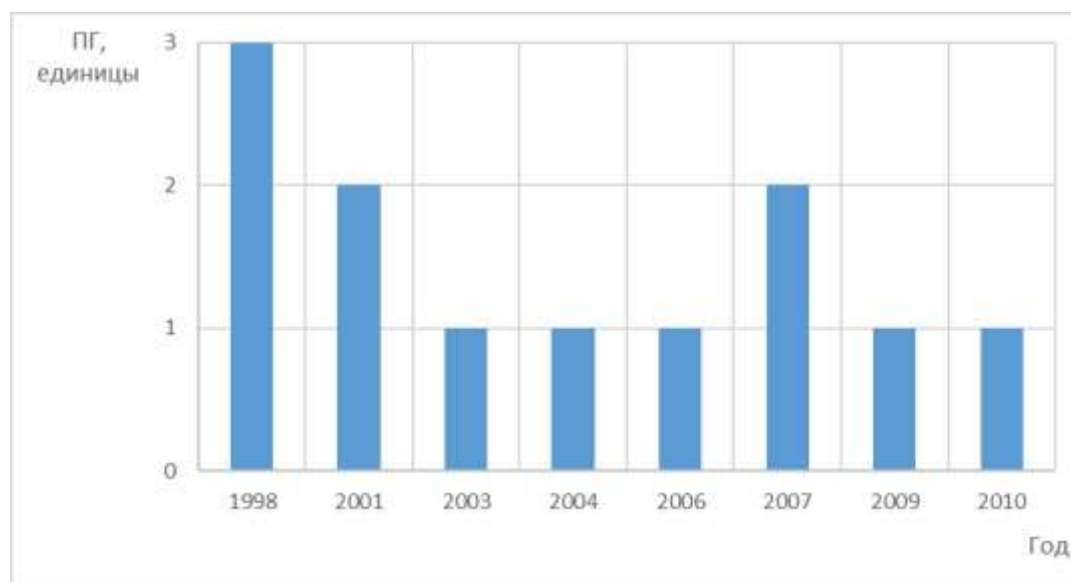


Рисунок 1 – Количество поврежденных парогенераторов в период с 1998-2012гг

Парогенераторы ПГВ-1000М за весь период эксплуатации обеспечивают параметры и характеристики, предусмотренные проектом [1].

В 1997 году наблюдались повреждения ТОТ [2], а затем октябре 1998 года на 5 блоке Нововоронежской АЭС впервые произошло растрескивание металла в районе соединения коллектора с корпусом ПГ, следующим был 1 блок Южно-Украинской АЭС и в дальнейшем обнаружены однотипные повреждения ещё на нескольких ПГ [3]. Это означает, что проблема системна и имеет общие причины.

Повреждения были зафиксированы на узле приварки коллектора к патрубку ДУ1200 парогенераторов ПГ-1 блока № 5 НВ АЭС, ПГ-1 и ПГ-2 блока № 1 ЮУ АЭС, а именно:

- на РУ серии В-302 (оснащённых ГЗЗ);
- на «горячих» коллекторах ПГ;
- на разневоленных коллекторах ПГ;
- на ПГ, заменяющих дефектные;
- на ПГ, изготовленных на заводах Атоммаш;
- на ПГ с несимметричной разделкой кромок сварного шва номер 111;

- на ПГ со сварным швом, выполненным автоматической сваркой;
- на пересечении оси сварного шва и центральной линии растянутой части трубопровода ГЦК Ду-850.

Разрушение началось в зоне перехода от галтели (R20 мм) к цилиндрической поверхности кармана. Здесь обычно находится технологическая риска, образованная при механической обработке заготовки коллектора, в основном металле с переходом в металл шва;

Дефекты на коллекторах парогенераторов ЮУ АЭС и НВ АЭС возникли в одних и тех же местах. Это значит, что причины, вызвавшие это повреждение, общие для обеих станций.

Используя методы фрактографического, металлографического, химического, рентгеноструктурного анализов, констатировали факты:

1. Основной металл коллекторов вместе с металлом сварных швов, а также структура основного металла соответствуют по химическому составу требованиям НТД на сталь и сварочные материалы; микротвердость металла в зоне термического влияния сварки не повысилась;

2. Магистральная раскрытая трещина обнаружена в темплете основного металла коллектора 1ПГ-2, коллектора 1ПГ-1 - множественные трещины, ориентированные в кольцевом направлении вглубь темплета;

3. Трещины имеют множество очагов зарождения. Этот вывод сделан с помощью анализа состояния раскрытой трещины и трещин в темплете из коллектора 1ПГ-1; трещины во времени развиваются стадийно и они окислены;

4. Коррозионные язвы (каверны), сопровождаемые отходящими трещинами, обнаружены на кромке перехода от стенки коллектора к раскрытой трещине;

5. Магистральная кольцевая трещина и раскрытые трещины в коллекторах 1ПГ-2 и 1ПГ-1 соответственно имеют множественные трещины-сателлиты, которые идут в различных направлениях относительно к внутренней стенке коллектора; некоторые трещины зародились на внутренней поверхности коллектора 1ПГ-2 вблизи раскрытой трещины;

6. Трещины развиваются ветвисто, охватывая значительные объемы металла, распространяясь по телу зерна и по его границам; окончания трещин-волосовидные; более широкие трещины, как правило, окислены;

7. Неравномерная толщина оксидного слоя на поверхности кармана темплетов из коллекторов 1ПГ-1 и 1 ПГ-2 лежит в диапазоне от 0,5 до 0,8 мм; толщина окисных отложений на поверхности раскрытой трещины в основном металле коллектора 1 ПГ-2 вблизи кармана равна 0,2-0,5 мм, а вплоть до 1 мм вглубь трещины - 0,08-0,1 мм;

8. Найдены более тонкие, тоже ветвистые трещины в сварных соединениях. Они ориентированы как в кольцевом направлении, так и вдоль образующей поверхности цилиндра кармана стенки коллектора;

9. В изломе обнаружены участки хрупкого разрушения, характерные для процесса коррозионного растрескивания под напряжением и бороздки, подобные бороздкам усталости.

Для выявления факторов, приводящие к растрескиванию, были проведены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы:

- детальные расчетные исследования напряжённого состояния от эксплуатационных факторов;

- анализ технологии изготовления и свойств металла;

- оценки остаточных напряжений от технологии изготовления;

- экспериментальные исследования напряжённого состояния узла на моделях и на АЭС;

- замеры и анализ перемещений оборудования РУ при тепловом расширении;

- определение критического размера трещин.

Коллекторы были повреждены по причине образования трещин разных размеров и глубины. При воздействии напряжений на уровне предела текучести и коррозионно-активной среды сталь 10ГН2МФА проявляет склонность к замедленному деформационному

коррозионному растрескиванию (ЗДРК) [4]. Этот процесс происходит при выполнении следующих условий:

- 1) Наличие коррозионных отложений (особенно с содержанием меди);
- 2) Температура металла находится в пределах 260-290°С;
- 3) Наличие высоких растягивающих напряжений (выше предела текучести металла);
- 4) Замедленного деформирования металла по времени.

При отсутствии даже одного из факторов механизм разрушения развиваться не будет.

Проведенный анализ [5] позволил исключить влияния технологии изготовления и остаточных напряжений от нее, свойств металла и способа выплавки материалов коллектора, а также количество и тип применяемых зарядов.

Изменения напряженно-деформированного состояния, в том числе нерасчетные, в области разрушения при работе ПГ способствуют появлению, росту трещин и изменению их направлений. Определенную роль в этом играет наличие остаточных сварочных напряжений, не полностью снимаемых термообработкой.

Процесс коррозионного растрескивания металла коллектора в значительной степени зависит от состояния ВХР и режимов продувки. Так на ЮУ АЭС был нарушен регламент ВХР, что привело к изменению состава теплоносителя в кармане коллектора и способствовало протеканию процесса коррозионного растрескивания.

Кроме напряжённого состояния узла на появление дефектов влияют условия эксплуатации каждого конкретного коллектора [6].

Локализацию напряжений и деформаций (как эксплуатационных, так и технологических) могут вызвать отсутствие осевой симметрии, различие жёсткости по периметру изделия тем более, что места возникновения трещин находились около гальтельного перехода кармана коллектора.

Для предотвращения трещин галтели конструкционно выполнили радиусной формы (была квадратной) и ввели штуцера продувки карманов Ду25. Выполнили разневоливание коллектора 1 контура и вместо развальцовки трубок взрывным методом стали применять гидрораздачу.

Таким образом, развитие коррозионных повреждений ПГ большинства энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 в основном происходит из-за деформационно-коррозийного растрескивания, возникающего при эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трунов, Н.Б. Гидродинамические и теплохимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР / Н.Б. Трунов, С.А. Логвинов, Ю.Г. Драгунов. – М: Энергоатомиздат, 2001.-351 с
2. Неклюдов И.М. Исследование причин образования коррозионных дефектов в теплообменных трубах парогенераторов ПГВ-1000. Коррозионные повреждения теплообменных труб парогенераторов Южно-Украинской АЭС / И.М. Неклюдов, Л.С. Ожигов, А.С. Митрофанов, С.В. Гоженко // СБ.науч. тр. СНИЯЭиП.- Вып. 8. – Севастополь: СНИЯЭиП, 2003.- С.50-63.
3. Muscara J. Report of NPC Steam Generator Workshop / J. Muscara // APGonne SG Mock-up NDE Pound, Bethesda, Maryland, 27-28 February, 2001.- P.85-91.
4. Митрофанов А.С. Про причини uszkodження зварних з'єднань №111 парогенераторів ПГВ-1000 / А.С. Митрофанов, Л.С. Ожигов, Е.О. Крайнюк, В.И. Савченко. // Вісник ТДТУ. – Вып. №4. – Тернопіль, 2009.- С.32 5.
5. Ф. Коротая. Снижение напряжений в области сварного соединения № 111 парогенератора ПГВ-1000М механическим способом // Труды 5-й Международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», 29 мая -1 июня 2007 г. Подольск: ФГУП ОКБ «Гидропресс».
6. Бакиров М.Б. Разработка атласа дефектов теплообменных труб парогенераторов АЭС с ВВЭР/ М.Б. Бакиров, СМ. Клещук, С.В. Чубаров // Материалы 7-го Междунар. Семинара по горизонтальным парогенераторам, ФГУП ОКБ «Гидропресс», 3-5 октября 2006 г. – С.54-5.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА АСФ ИЗДЕЛИЙ ЭНЕГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ НА МОДУЛИРОВАННЫХ РЕЖИМАХ

**Винныйчук В.А.<sup>1</sup>, Подрезов Н.Н.<sup>2</sup>, Доронин Ю.В.<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия*

<sup>3</sup>*Аттестационный центр городского хозяйства, г. Москва*

<sup>1,2</sup>*VITkafMPM@mephi.ru*

<sup>3</sup>*ac-mosgaz@yandex.ru acgh@naks.ru*

**Аннотация.** В связи с множеством факторов, влияющих на протекание процесса АСФ, вопрос обеспечения стабильности этого процесса в настоящее время становится трудноразрешимым, а вопрос обеспечения стабильности АСФ на модулированных режимах усложняется еще тем, что, во-первых, там вводятся дополнительные переменные, а во-вторых, этот процесс довольно плохо изучен. В данной работе представлены сравнительные результаты исследований двух этих процессов, проведенных в сварочной лаборатории на базе института ВИТИ НИЯУ МИФИ. Исследования проводились на отечественном программируемом импульсном источнике питания ИОН 48-900, позволяющем производить как обычный процесс АСФ, так и в импульсном режиме с максимальным током импульса до 1200 А.

**Ключевые слова:** автоматическая сварка под флюсом, импульсная сварка, система питания сварочной дуги, источник питания, нагрузочная характеристика, SAW процесс, Pulse SAW процесс.

## ENSURING THE STABILITY OF THE SAW PROCESS OF POWER ENGINEERING PRODUCTS IN MODULATED MODES

**Vinnichuk V.A.<sup>1</sup>, Podrezov N.N.<sup>2</sup>, Doronin Yu. V.<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear  
University “MEPhI”, Volgodonsk, Russia*

<sup>3</sup>*Certification Moscow Center of municipal services, Moscow, Russia*

**Abstract.** Due to the many factors influencing the course of the AF process, the issue of ensuring the stability of this process is currently becoming intractable, and the issue of ensuring the stability of AF in modulated modes is further complicated by the fact that, firstly, additional variables are introduced there, and secondly, this process is rather poorly understood. This paper presents the comparative results of studies of these two processes conducted in the welding laboratory at the Institute of VITRI of the National Research Institute of MEPhI. The research was carried out on a domestic programmable switching power supply ION 48-900, which allows to produce both a conventional ASF process and in pulsed mode with a maximum pulse current of up to 1200 A.

**Key words:** automatic submerged welding, pulse welding, welding arc power system, power supply, load characteristic, SAW process, Pulse SAW process.

Давно известен тот факт, что качество сварного соединения напрямую зависит от стабильности горения сварочной дуги, но какие именно физические процессы протекают в столбе дуги, и какое влияние они оказывают на формирование структуры металла шва, до сих пор остается малоизученной областью сварки.

В полуавтоматической сварке в среде защитных газов давно используется теория и практика такого понятия как импульсная сварка. При этом способе сварки наложение импульсов высокой частоты на ток сварки дало положительный результат, и за счет этого удалось повысить механические свойства сварного соединения.

Современная аппаратура позволила добиться пульсации сварочной дуги и при АСФ, периодически изменяя значения тока в положительном диапазоне, что открывает новое поле для более глубокого исследования воздействия физических процессов дуги на формирование структуры металла шва. На рисунке 1 представлен отечественный программируемый

импульсный источник питания ИОН 48-900, позволяющий производить как обычный процесс АСФ, так и в импульсном режиме с максимальным током импульса до 1200 А.



Рисунок 8 – Инверторный источник питания ИОН 48-900,  
1 – дистанционный пульт; 2 – силовой блок.

Под технологическими характеристиками ИП понимают обеспечение [2]:

- стабильного переноса присадочного металла и формирование шва;
- стабильного возбуждения дуги и устойчивого горения дуги.

Для определения технологических свойств системы питания сварочной дуги на базе ИП ИОН была произведена АСФ-наплавка валиков на пластину 16 мм толщиной из стали ВСтЗсп на разных режимах сварочной проволокой Св-08А в комбинации с плавленным флюсом ФЦ-17 Наплавки выполняли на сварочном тракторе Weldix, рисунок 2.



Рисунок 2 – Выполнение наплавки на сварочном тракторе Weldix

В первую очередь проверяли принципиальную возможность осуществления АСФ на исследуемом источнике питания ИОН. Для этого сварку выполняли по двум вариантам: на постоянном токе обратной полярности и пульсирующей знакопостоянной дугой также обратной полярности [3].

По результатам экспериментальных сварок определяли:

- сварочные свойства ИП согласно ГОСТ ГОСТ 25616-83 (начальное зажигание дуги, стабильность АСФ, формирование шва, эластичность дуги);
- стабильность процесса по осциллограммам тока и напряжения сварки;
- частоту каплеотрыва при плавлении электрода в установившемся процессе сварки по амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) процесса.

Запись осциллограмм проводили с помощью ИИС на основе модуля NI 9229. Обработку спектральной плотности мощности (PSD) токового сигнала осуществляли в программном пакете «Signal Express-2014».

В целом сварочно-технологические свойства источника ИОН 48-900 находятся на хорошем уровне при АСФ в режиме знакопостоянного тока обратной полярности. Аналогичные результаты были получены при сварке на электродной проволоке Ø 3 и 5 мм. При сварке пульсирующей дугой при заданных параметрах токового импульса происходит синхронная пульсация напряжения на нагрузке, что ведет к выравниванию выделяющейся активной мощности в зоне сварки. Кроме того, отмечены достаточно высокие сварочные свойства ИП согласно ГОСТ ГОСТ 25616-83, а именно: начальное зажигание дуги - хорошее, стабильность АСФ - хорошая, формирование шва – очень хорошее, эластичность дуги – хорошая.

В результате сравнительного исследования стабильности процесса АСФ на постоянном токе и пульсирующей дугой обнаружены области режимов стабильного протекания процесса АСФ на пульсирующем токе. Это говорит о том, что дальнейшие исследования по обеспечению стабильности процесса АСФ на модулированных режимах имеют положительные перспективы. Рекомендуется в качестве дальнейшего направления исследований выбрать АСФ на модулированных режимах в разделку.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. - М.: Машиностроение, 1970.
2. Чернов А.В. Обработка информации в системах контроля и управления сварочным производством: Монография /Новочерк. гос. техн. ун-т. - Новочеркасск: НГТУ, 1995. – 180 с.
3. ГОСТ Р 52002-2003. Электротехника. Термины и определения основных понятий.

УДК 621.039, 371.693

## ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ТРЕНАЖЁР ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ РЕМОНТНОГО ПЕРСОНАЛА АЭС

**Галкин А.С., Калашников М.В., Арженовская Е.В., Пугачева О.Ю.**

*НИИ АЭМ, г. Волгодонск, Россия, Волгодонский инженерно-технический институт –  
филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,*

*Волгодонск, Россия  
nii\_energomash@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема обеспечения качества ремонта оборудования АЭС в части применения инструментов предотвращения ошибок и предлагается её решение за счет разработки и внедрения перспективного тренажёра профессиональной подготовки для повышения уровня культуры безопасности и квалификации персонала.

**Ключевые слова:** техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), инструменты предотвращения ошибок персонала (ИПО); перспективный тренажёр; ремонтный персонал, культура безопасности.

## A PROMISING SIMULATOR FOR THE PROFESSIONAL TRAINING OF NPP REPAIR PERSONNEL

**Galkin A.S., Kalashnikov M.V., Arzhenovskaya E.V., Pugacheva O.Yu.**

*Volgodonsk Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI",  
Volgodonsk, Russia  
nii\_energomash@mail.ru*

**Abstract.** The article considers the problem of ensuring the quality of repair of NPP equipment in terms of the use of error prevention tools and proposes its solution through the development and implementation of a promising training simulator to improve the level of safety culture and personnel qualifications.

**Keywords:** maintenance and repair (MRO), tools for preventing personnel errors; advanced simulator; repair personnel, safety culture.

Профессиональная подготовка ремонтного персонала АЭС и подрядных организаций является одним из условий обеспечения безопасной и эффективной работы АЭС. Для повышения качества ремонта и оптимизации его сроков необходима высокая квалификация персонала, в том числе - в области культуры безопасности. Поэтому имеется потребность в современных тренажёрах профессиональной подготовки ремонтного персонала, позволяющих на практике отрабатывать применение инструментов предотвращения ошибок для повышения уровня культуры безопасности ремонтного персонала в части осознанного применения документации, инструментов, средств и приемов, позволяющих гарантированно предотвращать неправильные действия при выполнении рабочего процесса.

Международным эталоном деятельности атомных станций является руководящий документ Всемирной ассоциации организаций, эксплуатирующих атомные электростанции, (ВАО АЭС или WANO) «Производственные задачи и критерии их выполнения. ПЗКВ 2019-1» (ПЗКВ). Этот документ устанавливает критерии качества выполнения персоналом АЭС и подрядных организаций каждой производственной задачи на основе международного опыта безупречного выполнения персоналом производственных задач. Эффективная деятельность компаний рассматривается по таким направлениям как: лидерство, управление, надзор и мониторинг, независимый надзор, поддержка, управление человеческими ресурсами и развитие лидеров, коммуникация.

На основе данного международного стандарта на предприятиях энергетической отрасли АО «Концерн Росэнергоатом» внедрены, доведены до сведения каждого работника и действуют инструменты предотвращения ошибок персонала (ИПО):

- 1) критический подход;
- 2) приверженность процедурам и инструкциям;
- 3) четкие коммуникации;
- 4) использование опыта эксплуатации;
- 5) инструктаж перед выполнением работ;
- 6) контроль действий персонала, включая самоконтроль;
- 7) анализ выполненной работы.

Техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) – важнейший этап эксплуатации энергоблоков АЭС, определяющий надежность их работы в межремонтный период и повышение коэффициента использования установленной мощности и безопасности АЭС. ТОиР направлен на поддержание работоспособности оборудования, увеличение срока его эксплуатации, уменьшение вероятности отказа, восстановление ресурса и модернизацию оборудования.

Анализ неправильных действий персонала АО «Концерн Росэнергоатом» за период 2017-2022гг. показал следующее соотношение неприменения персоналом инструментов предотвращения ошибок:

- 48 % – критический подход;
- 28 % – приверженность процедурам и инструкциям;
- 15 % – контроль действий, включая самоконтроль;

- 6 % – чёткие коммуникации;
- 3 % – инструктаж перед выполнением работ.

Для сокращения производственных потерь, в основе которых лежит человеческий фактор, необходима разработка качественно нового тренажёра профессиональной подготовки ремонтного персонала АЭС.

Перспективный тренажёр профессиональной подготовки ремонтного персонала АЭС и подрядных организаций должен обеспечить не только подготовку и поддержание квалификации в части выполнения ремонтных работ, но и отработку практических навыков применения ИПО.

Основой для перспективного тренажёра подготовки ремонтного персонала должны стать натурные компоненты на основе оборудования, аналогичного эксплуатируемому на АЭС, с полным комплектом технологической документации на ремонт (КТД). Одна из основных задач разработки перспективного тренажёра подготовки ремонтного персонала заключается в создании интегрированных в натурный тренажёр условий, неполадок и несоответствий, провоцирующих обучаемого на неправильные действия.

Учебно-методические материалы для проведения занятий на перспективном тренажёре подготовки ремонтного персонала могут включать разнообразные сценарии обучения, вариативность которых будет определяться различными сочетаниями условий, неполадок, несоответствий и отвлекающих факторов, приводящих персонал к неправильным действиям.

Сложность тренажёра и вариативность сценариев обучения при этом можно наращивать поэтапно, путём последовательного введения в натурную часть различных типов оборудования (насос – клапан запорный – задвижка клиновая – электропривод) и различных моделей рабочего процесса (текущий ремонт, капитальный ремонт, центровка насоса и т.п.).

Кроме того, сочетание условий, неполадок, несоответствий и отвлекающих факторов позволит сформировать в составе перспективного тренажёра подготовки ремонтного персонала разные уровни сложности обучения и практических занятий в зависимости от квалификации и опыта работника. Выявленные в ходе практических занятий на тренажёре подготовки ремонтного персонала ошибки и недостатки будут обсуждаться и исправляются.

Возможные области реализации сценариев обучения на перспективном тренажёре подготовки ремонтного персонала представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Области реализации сценариев обучения на перспективном тренажёре подготовки ремонтного персонала ТООР

Существуют реальные перспективы дальнейшего повышения качества ТООР за счёт принятия ряда мер организационного характера. Например, анализ результатов диагностики

трубопроводной арматуры всех АЭС РФ указывает в ряде случаев на отсутствие улучшения установленных в нормативно-технической документации параметров технического состояния арматуры после капитального ремонта. К таким параметрам, характеризующим техническое состояние ЭПА, относятся: время открытия/закрытия, пусковой и рабочий ток, плавность хода. Значения именно этих параметров влияют на принятие решения о проведении капитального ремонта ЭПА, но в ряде случаев эти параметры после проведения капитального ремонта не изменились. Одной из причин отсутствия формальных признаков улучшения технического состояния ЭПА является несовпадение периодичности планового ремонта различных компонентов одной системы, или изделия. Например, в случае с планированием ремонтов ЭПА, арматура и установленный на неё привод могут относиться к разным цехам-владельцам (например, турбинному цех и ЦТАИ). Поэтому производимые в разные периоды времени ремонты часто не обеспечивают улучшения параметров работы ЭПА. Если бы мастер, контролирующий капитальный ремонт арматуры, применив критический подход, проведя анализ выполненной работы, обратил бы внимание на отсутствие планов по ремонту, или ревизии соответствующего привода, такой ремонт действительно обеспечил бы улучшение технического состояния ЭПА. Возможно, при разработке перспективного тренажёра подготовки ремонтного персонала отработка инструментов предотвращения ошибок позволит устранить подобные проблемы в дальнейшем.

С учётом мудрости Конфуция: «Скажи мне — и я забуду, покажи мне — и я запомню, Дай мне сделать — и я пойму!», изучение и дальнейшая отработка на практике, «собственными руками» навыков применения инструментов предотвращения ошибок персонала на реальном оборудовании позволит обеспечить полноценное и оптимальное обучение и поддержание квалификации ремонтного персонала на новом уровне.

Перспективным направлением дальнейшего развития тренажёра является разработка модели рабочего процесса (расширяющей его возможности) и модели маршрута перемещения персонала по территории АЭС со сценариями в каждой его точке, содержащими требования правил охраны труда, производственных инструкций и культуры безопасности при выполнении комплекса сопутствующих рабочему процессу подготовительных и организационно-технических мероприятий.

Опыт разработки перспективного тренажёра ремонтного персонала АЭС может быть адаптирован с учётом моделей рабочего процесса и маршрута к другим категориям персонала АЭС, а также к другим типам оборудования в различных отраслях (нефтегазохимии, металлургии, ГРЭС, ТЭЦ, ЖКХ, строительство, объекты военно-морского и гражданского флотов).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ АО «Концерн Росэнергоатом» от 02.04.2020 № 9/01/511-П «О введении в действие Памятки «Инструменты предотвращения ошибок персонала».
2. СТО 1.1.1.01.002.0069-2019 «Организация технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных станций».
3. СТО 1.1.1.01.004.1516-2018 «Оценка организации и проведения профессиональной подготовки работников АО «Концерн Росэнергоатом». Основные требования».
4. СТО 1.1.1.01.004.0680-2006 «Технические средства обучения. АО «Концерн Росэнергоатом». Стандарт организации».
5. СТО 1.1.1.01.004.1661-2019 «Учебно-методические материалы для проведения профессиональной подготовки работников. АО «Концерн Росэнергоатом». Стандарт организации».
6. МУ 1.3.3.99.0026-2010 «Системный подход к обучению персонала атомных станций. Методические указания по применению».

## MULTI-WIRE SUBMERGED-ARC WELDING OF THICK-WALLED LARGE-DIAMETER PIPES

Gook S. E.

*Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin, Germany  
sergej.gook@ipk.fraunhofer.de*

**Abstract.** Ensuring the required mechanical-technological properties of welds is a critical issue in the application of multi-wire submerged arc welding processes in the manufacture of large-diameter pipes made of high-strength fine-grained steels of grade X70 and higher according to API 5L. Excessive heat input of up to 10 kJ/mm is one of the main causes of the formation of microstructural areas in the heat-affected zone with deteriorated mechanical properties, such as impact toughness and tensile strength. In this work, a variant of a five-wire submerged arc welding process is proposed that reduces the weld volume and the heat input, while retaining the high process stability and production speed of multi-wire submerged arc welding. By adapting the welding wire configuration of a five-wire submerged arc welding process and the energetic parameters of the arcs, the high penetration depth of approx. 24 mm and a 10 % reduction in the weld cross-section could be achieved compared to the usual process configuration. This effect was transformed into a higher welding speed, which led to a reduction in the heat input. A concept for process monitoring is proposed in order to maintain constant manufacturing quality in large-diameter pipe production. In addition to the analysis of electrical process signals such as welding current and welding voltage, acoustic process monitoring using vibro-acoustic sensors provides reliable information on the stability of the welding process.

**Keywords:** multi-wire submerged arc welding, heat input, penetration depth, large-diameter pipes, acoustic monitoring

## МНОГОПРОВОЛОЧНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ ТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Гоок С. Э.

*Общество Фраунгофера, Институт производственных систем и технологий конструирования ИПК,  
Берлин, Германия  
sergej.gook@ipk.fraunhofer.de*

**Аннотация.** Обеспечение требуемых механико-технологических свойств сварных швов является критически важным вопросом при применении многопроволочных процессов дуговой сварки под флюсом в производстве труб большого диаметра из высокопрочных мелкозернистых сталей марки X70 и выше по API 5L. Избыточное тепловложение до 10 кДж/мм является одной из основных причин образования микроструктурных областей в зоне термического влияния с ухудшением механических свойств, таких как ударная вязкость и предел прочности при растяжении. В данной работе предлагается вариант пятипроволочного процесса дуговой сварки под флюсом, который позволяет уменьшить объем шва и тепловложение, сохраняя при этом высокую стабильность процесса и скорость производства. Адаптация конфигурации сварочной проволоки для пятипроволочной дуговой сварки под флюсом и энергетических параметров дуги позволила достичь высокой глубины проплавления (около 24 мм) и уменьшить сечение шва на 10 % по сравнению с традиционной конфигурацией процесса. Этот эффект выразился в увеличении скорости сварки, что привело к снижению тепловложения. Предложена концепция мониторинга процесса для поддержания постоянного качества продукции при производстве труб большого диаметра. Помимо анализа электрических сигналов процесса, таких как сварочный ток и сварочное напряжение, акустический мониторинг процесса с помощью виброакустических датчиков позволяет получить достоверную информацию о стабильности процесса сварки.

**Ключевые слова:** многопроволочная автоматическая сварка под флюсом, тепловложение, глубина проплавления, трубы большого диаметра, акустический мониторинг

### 1. Introduction

Submerged arc welding (SAW) with wire electrodes has a wide range of application in the manufacturing of numerous assemblies and components of various branches, such as large-diameter pipe manufacturing, the oil and gas industry, shipbuilding, the petrochemical industry, hydropower plants and offshore wind energy. For components with a thickness up to 10 mm, the single-wire SAW is sufficient. Parts with a larger thickness, require an increased deposition rate, which can be

achieved through the application of multiple wire electrodes [1]. Especially, multi-wire SAW processes with up to five wire electrodes have proven successful [2].

However, the application of such highly efficient SAW process variants on modern high-strength steels (yield strength above 355 MPa) is challenging, because of the excessive heat input due to the large volume of the liquid weld pool [3] and the resulting softening in certain areas of the heat-affected zone (HAZ) [4]. These areas suffer from a decreased toughness as well as decreased strength properties of the welded joint [5,6]. In particular, this problem concerns high-strength thermo-mechanically treated fine-grained steels, whose high mechanical-technological properties are achieved through the specifically adjusted thermo-mechanical rolling process. The fine-grained microstructure of these steels can be irreversibly destroyed in the HAZ, so that the width of the softening zone is essentially dependent on the welding process used and on the line energy [7,8]. For comparison, a single-wire SAW process has a typical deposition rate of about 8 kg/h, while a five-wire SAW process can achieve a deposition rate of 90 kg/h [2,9]. The line energies for both process variants are about 2.5 kJ/mm and 10 kJ/mm, respectively. In DIN EN 10225:2009 [10] a nominal energy per unit length of  $3.5 \pm 0.2$  kJ/mm for SAW of fine-grained structural steels for fixed offshore structures is recommended. However, the maximum allowable line energy may be  $5 \pm 0.2$  kJ/mm if the material requirements are not met at  $3.5 \pm 0.2$  kJ/mm. In the manufacturing of large-diameter pipes for the oil and gas industry, an increase in pipe wall thickness above 21 mm leads to an increase in heat input above 5 kJ/mm during welding, resulting in severe overheating and slow cooling of the metal in the HAZ. The specified heat input for a five-wire SAW process is thus far above the recommended values.

The objective of this work is to investigate process limits of a five-wire submerged arc welding process with respect to maximum welding speed, penetration depth and heat input by means of welding tests on thick-walled pipes. Furthermore, the possibilities to reduce the heat input by adjusting the process configuration should be shown.

## 2. Welding Equipment and Materials

The welding experiments were conducted on a full-scale industrial welding system (SMS group GmbH) for longitudinal five-wire SAW on large-diameter pipes. With a programmable waveform for current and voltage, the welding result can be modeled with respect to various factors (e.g. weld geometry) [11].

In the welding tests, pipe sections made of pipeline steel grade X70 according to API 5L or L485MB according to DIN EN 10208-2 (material no. 1.8977) were used. The used welding consumables were solid wires BA S2Mo according to EN ISO 14171-A (EN 756) and an agglomerated welding powder of the aluminate-based type BF 5.1.

## 3. Experimental Procedure and Results

Welding tests were performed on six meter long pipe sections with an outside diameter of 914.4 mm (36") and a wall thickness of 39 mm using the five-wire submerged arc welding method. A series of welds was performed with a wire configuration conventional for industrial practice, with the first two torches fitted with the 4.8 mm wires and the third, fourth and fifth wires having a diameter of 4 mm. In the second experiment, a 3.2 mm wire electrode was used on the first torch. The subsequent four wires had a diameter of 4 mm. The weld outer appearance, the metallographic cross sections and the welding parameters for both process variants are shown in Figs. 1 and 2.



Parameters:  $V = 1.1$  m/min,  $I_1 = 1480$  A,  $U_1 = 34$  V;  $I_2 = 1200$  A,  $U_2 = 38$  V;  $I_3 = 760$  A,  $U_3 = 38$  V;  $I_4 = 650$  A,  $U_4 = 38$  V;  $I_5 = 650$  A,  $U_5 = 38$  V

Figure 1 – Outer appearance and cross-section of a SAW-weld. Outer layer welded with the following wire configuration:  $d_{1,2} = 4.8$  mm und  $d_{3,4,5} = 4$  mm



Parameters:  $V = 1.2$  m/min,  $I_1 = 1200$  A,  $U_1 = 32$  V;  $I_2 = 1150$  A,  $U_2 = 36$  V;  $I_3 = 780$  A,  $U_3 = 42$  V;  $I_4 = 760$  A,  $U_4 = 44$  V;  $I_5 = 760$  A,  $U_5 = 44$  V

Figure 2 – Outer appearance and cross-section of a SAW-weld. Outer layer welded with the following wire configuration:  $d_1 = 3.2$  mm und  $d_{2,3,4,5} = 4$  mm

The recorded data of the welding process are shown as an example in Fig. 3. The smooth progressions of the welding current and voltage signals for all five wires indicate that the welding process is stable. The actual deposition rate of the welding processes could be determined from the recorded wire feed rates.

The evaluation of the results showed that the welding process in the configuration presented in Fig. 1 could be run at a welding speed of 1.1 m/min. A line energy of 9.5 kJ/mm had to be brought out to achieve a deposition rate of 83 kg/hour. The V-joint was thus completely filled. The seams showed a slight concavity of the top bead of 0.7 mm. With a welding depth of 20.5 mm, a through-welded seam could be produced, so that the seam cross-section was completely closed. However, the welding depth achieved must be considered as borderline, as the inner layer could only just be reached. The process variant with a 3.2 mm leader wire demonstrates a different result (see Fig. 2). Here, a greater weld penetration depth of 24.5 mm was achieved than that for the process configuration with the 4.8 mm leading wire. Due to a larger weld penetration depth, the weld exhibited a slimmer profile, resulting in a reduction of the weld cross-section from 425.8 mm<sup>2</sup> to 379.8 mm<sup>2</sup> (by 10.8%). The welding speed could be increased up to 1.2 m/min, which produced a flat weld with no concavity. The line energy went down to 9.1 kJ/mm (by 4.2%).

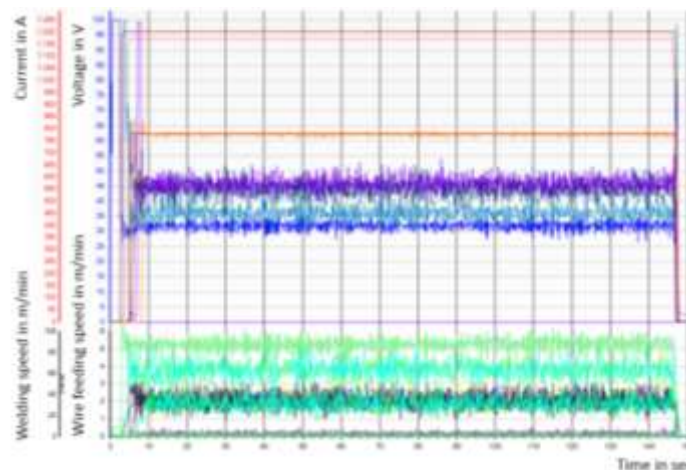


Figure 3 – Recorded process data during five-wire-SAW-welding of a thick-walled pipe.

#### 4. Process monitoring

The use of appropriate measuring and monitoring systems can ensure that the actual parameters of the welding process match the set parameters to a sufficient level. Such systems are used for process monitoring in automated processes such as MIG-brazing, MIG, GMA, TIG as well as high-frequency induction (HFI) welding (e.g. Weldanalyst from HKS Prozesstechnik GmbH). The main parameters to be monitored are usually welding current, voltage, welding speed and filler wire feed rate. As part of this work, a process monitoring method was used for submerged arc welding, in which not only the welding current and voltage curves were documented and evaluated, but also the acoustic signals generated by the welding process.

This acoustic method is based on the assumption that each type of welding has its own noise, and this noise can indicate quality problems. For example, metal transfer during welding is a key element of weld quality, and welders use the "noise" of metal transfer to make fine adjustments to welding parameters. However, in mechanized and automated systems, welding often takes place far from the operator, so this noise cannot be heard. In these situations, a welding microphone, for example, can provide operators with the sound they need to monitor and control arc stability and even predict when welding problems are occurring.

The acoustic signals were recorded using a piezoelectric vibro-acoustic sensor mounted on the welding torch. The sampling rate was 44 kHz. The process monitoring was performed in the acoustically audible frequency range, between 16 Hz and 20 kHz. The diameter of welding wires was 4 mm. The welding speed of 0.5 m/min was applied. The recorded acoustic signals for different welding parameters were converted into frequency spectrum (Fig. 4).

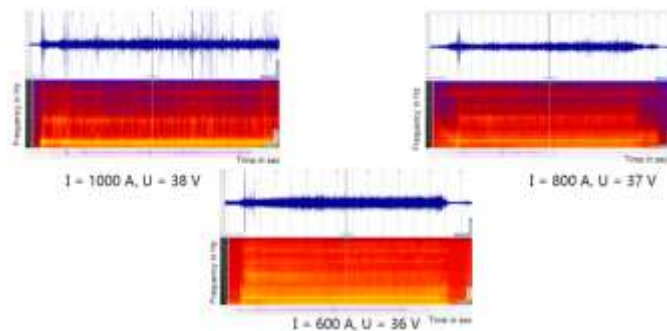


Figure 4 – Spectrograms of acoustic signals during submerged arc welding: representation of the amplitude of different frequencies as a function of time.

It is obvious that the acoustic profile of the welding process clearly depends on the applied welding parameters. Thus, the welding process at 1000 A is shown to be relatively perturbed. An unsteady droplet transition into the molten pool can be recognized on the spectrogram. In contrast, the process behavior at the currents of 800 A and 600 A is much smoother.

## 5. Summary

Current multi-wire SAW techniques, when welding thick-walled pipes made of high-strength fine-grain steels, are characterized by high energy of the process up to 9.5 kJ/mm and thus do not provide a cooling rate in HAZ within the recommended range of 10 °C/s - 60 °C/s. This limits the applicability of multi-wire submerged arc welding in pipe production, especially when processing higher strength grades X70 and higher according to API 5L.

Based on the welding tests with a five-wire SAW process on a pipe with a wall thickness of 39 mm, it was shown that with decreasing diameter of the leading (DC) welding wire, the penetration depth of the arc and thus also the weld penetration depth increases by approx. 20 % compared to a conventional welding wire configuration. The weld becomes slimmer and has a fillet-shaped weld penetration profile.

Based on this effect, a process recommendation is proposed for minimizing the energy of the line and increasing the cooling rate in the area of the HAZ. Reducing the opening angle of the V-joint in combination with lowering of V-groove depth will result in a reduction of the weld cross-section. The required amount of filler material is reduced and line energy of the process decreases. With this process configuration, it is also possible to switch to a four-wire SAW welding process because the use of the fifth wire is no longer necessary due to the reduced deposition rate.

The acoustic signals during the SAW process correlate with the dynamics of the molten pool in the cavity and can provide information about the quality of the weld.

## REFERENCES

1. Brensing, K. H., Sommer, B.: Herstellverfahren für Stahlrohre, Salzgitter Großrohre GmbH, [www.wv-stahlrohre.de/fileadmin/pdf/Stahlrohre\\_Herstellverfahren.pdf](http://www.wv-stahlrohre.de/fileadmin/pdf/Stahlrohre_Herstellverfahren.pdf)
2. DVS Merkblatt 0915 (02/2000) Unterpulver-Mehrdrahtschweißen
3. Moeinifar, S., Kokabi, A. H., & Hosseini, H. M. (2011). Role of tandem submerged arc welding thermal cycles

- on properties of the heat affected zone in X80 microalloyed pipe line steel. Journal of materials processing technology, 211(3), 368-375
4. Hochhauser, D. I. F., & Rauch, M. R. (2012). Influence of the soft zone on the strength of welded modern HSLA steels. *Welding in the World*, 56(5-6), 77-85.
  5. Maurer W., Ernst W., Rauch R., Vallant R., Enzinger N.: Einfluss der Weichen Zone auf die mechanischen Eigenschaften hochfester Schweißverbindungen, *Schweiss- & Prüftechnik* (2013), S. 10-15
  6. Bang, K. S., & Kim, W. Y. (2002). Estimation and prediction of HAZ softening in thermomechanically controlled-rolled and accelerated-cooled steel. *WELDING JOURNAL-NEW YORK*, 81(8), 174-S.
  7. Sirin, K., Sirin, S. Y., & Kaluc, E. (2016). Influence of the interpass temperature on  $t_{8/5}$  and the mechanical properties of submerged arc welded pipe. *Journal of Materials Processing Technology*, 238, 152-159.
  8. Viano, D. M., Ahmed, N. U., & Schumann, G. O. (2000). Influence of heat input and travel speed on microstructure and mechanical properties of double tandem submerged arc high strength low alloy steel weldments. *Science and technology of welding and joining*, 5(1), 26-34.
  9. Aichele, G. (1994). Leistungskennwerte für Schweißen und Schneiden, Fachbuchreihe Schweißtechnik. DVS-Verlag GmbH Düsseldorf.
  10. Norm DIN EN 10225:2009-10. Schweißgeeignete Baustähle für feststehende Offshore-Konstruktionen - Technische Lieferbedingungen; Deutsche Fassung EN 10225:2009
  11. Wietrzniok, H., Lichtenthäler, F.: Moderne Großrohrfertigung – Neue Hochleistungs-. Schweißstromquelle für alle Lichtbogenschweißverfahren, DVS Berichte, Band 306, S. 19-25, DVS-Verlag, Düsseldorf 2014

УДК 621.039

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОМПЛЕКТА УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ КАМЕР

Гришина О.М.<sup>1</sup>, Фетисовой Ю.А.<sup>2</sup>, Кузин С.А.<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Lesia508@mail.ru ; <sup>2</sup>fetisova-ya@vdnpp.rosenergoatom.ru <sup>3</sup>kuzinsergey55@mail.ru.

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема: «Отсутствие установки химической отмывки конденсаторной группы турбоагрегатов К-1000-60/1500-2, К-1100-60/1500-2М, может повлечь за собой недовыработку электроэнергии». Предложена конструкция входной и выходной уплотняющих камер, изготовленной с применением отечественных материалов.

**Ключевые слова:** Hammelmann, уплотняющая камера, запасные части, изготовление.

## MANUFACTURE OF A SET OF SEALING CHAMBERS

Grishina O.M.<sup>1</sup>, Fetisova Yu.A.<sup>2</sup>, Kuzin S.A.<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Lesia508@mail.ru ; <sup>2</sup>fetisova-ya@vdnpp.rosenergoatom.ru <sup>3</sup>kuzinsergey55@mail.ru

**Abstract.** The paper considers the problem: "The lack of a chemical washing unit for the condenser group of turbine units to-1000-60/1500-2, To-1100-60/1500-2M, may lead to under-production of electricity." The design of the inlet sealing chamber made using domestic materials is proposed. The attenuation of gamma rays by a protective reinforced concrete container is simulated. The attenuation coefficients are calculated.

**Keywords:** Hammelmann, sealing chamber, spare parts, manufacturing.

На сегодняшний день в отечественной атомной энергетике существует проблема:

1. Снижение тепловой мощности энергоблока, вызванное уменьшением проходного сечения теплообменных трубок по причине отслоения карбонатных отложений препятствующим циркуляции очищающих шариков. Необходимо проведение очистки теплообменных трубок конденсатора турбины, посредством установки химической промывки производства Hammelmann.

2. Риск: неисполнение договора по поставке импортного оборудования или комплектующих, а также слишком высокая цена на закупку и транспортировку.

Непосредственные причины проведения химической отмычки конденсаторной группы турбоагрегатов К-1000-60/1500-2, К-1100-60/1500-2М:

- Уменьшение проходного сечения теплообменных трубок по причине отслоения карбонатных отложений препятствующим циркуляции очищающих шариков. По классификации непосредственных причин (приложение «Д» к РД ЭО 1.1.2.01.0163-2016;
- Химическое загрязнение (отложения, шлам).

В данной работе рассматривается вариант изготовления собственными силами комплекта уплотнительных камер (комплектующих к установке Hammelmann), в целях исключения риска недопоставки запасных частей.

Модели комплекта уплотнительных камер показаны на рисунках 1,2 .

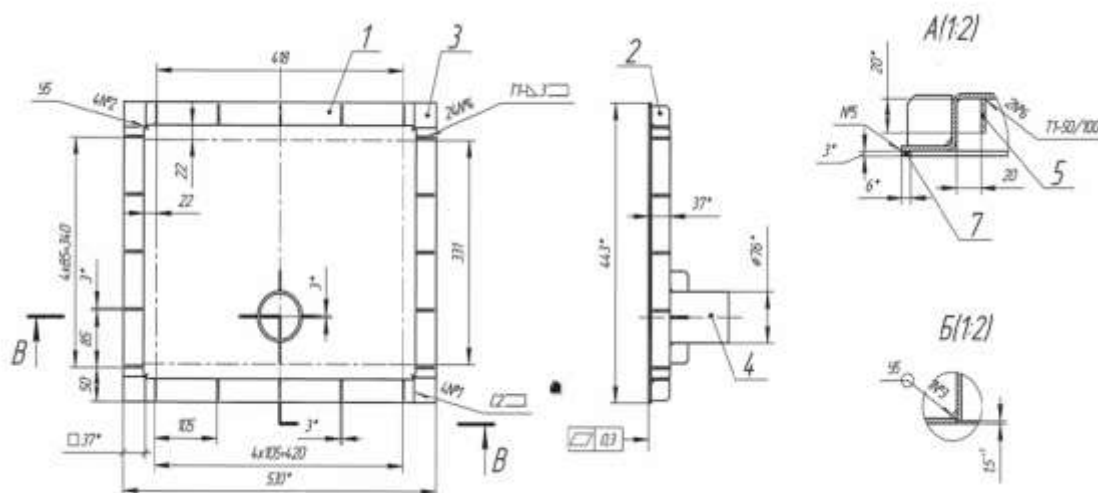


Рисунок 1 – Модель входной уплотняющей камеры

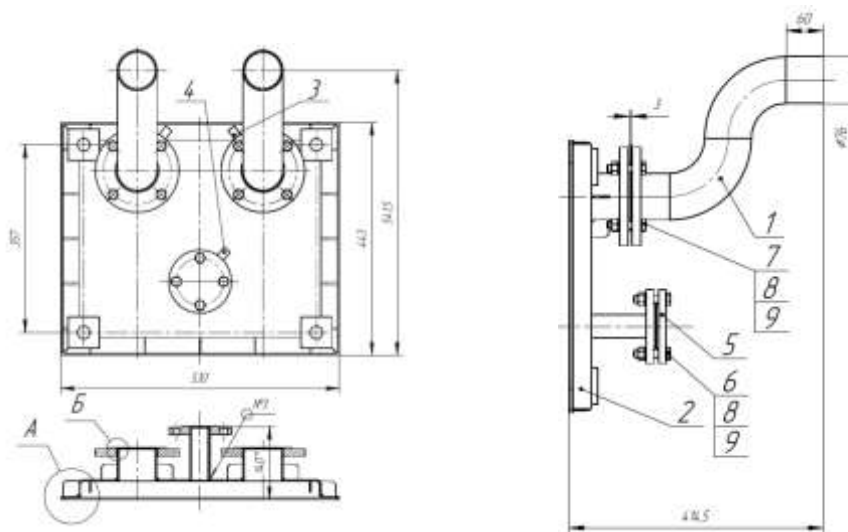


Рисунок 2 – Модель выходной уплотняющей камеры

Номера позиций, количество деталей и применяемые Российские материалы для комплекта уплотнительных камер приведены в таблице 1.

Таблица 1– Номера позиций, количество деталей и применяемые Российские материалы для комплекта уплотнительных камер

Номер позиции	Наименование детали	Материал	Количество деталей
1	Камера	Лист 3 ГОСТ 19903-2015/08X18H10T ГОСТ 5582-75	1
2	Косынка		24
3	Платик		4
4	Штуцер	Трубка 76×4-08X18H10T ГОСТ 9941-81	1

Номер позиции	Наименование детали	Материал	Количество деталей
5	Ребро	Лист 3 ГОСТ 19903-2015/08X18H10T ГОСТ 5582-75	2
6	Пластина	Лист 3 ГОСТ 19903-2015/08X18H10T ГОСТ 5582-75	2
7	Пластина		2

Для изготовления комплектующих комплекта камер потребуются материалы, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Материалы для изготовления комплектующих комплекта камер

№п/п	Номенклатурный номер материала	Наименование оборудования	Единица измерения	Количество
1	2	3	4	5
Токарная и фрезерная обработка комплектующих для камеры уплотняющей черт. М33.1577.10.000, М33.1577.20.100				
1	1011104427	Лист БТ-БШ-БД-ПН-О-3х1000х2000/12Х18Н10Т	кг	145
2	1011104430	Лист Б-ПН-О-18х1500х1500/12Х18Н10Т	кг	338
3	1011095023	Круг В1-IV-НД-30/12Х18Н10Т-2ГП-КМС2	кг	34
4	1011060555	Труба 57х3,5/Б 20	кг	470,78
Сварочные работы (камера уплотняющей черт. М33.1577.10.000, М33.1577.20.100)				
5	1010034067	Проволока 1,6 Св-04Х19Н11М3	кг	30
6	1010635338	Электрод ЭА-395/9-3,0-ВД (Е-620)	кг	15
7	1010941231	Аргон газообразный 99,993% ГОСТ 10157	м3	102
Сборка камеры уплотняющей черт. М33.1577.10.000, М33.1577.20.100				
8	1010712121	Болт М12-6gx55.58.016	кг	3,8
9	1010918392	Гайка М12-6Н.5 (518) ГОСТ 5915-70	кг	0,8
10	1011059516	Пластина 1Н-1-ТМЩ-Т-3 ГОСТ 7338-90	кг	50
11	1011060675	Пластина вакуумная 500х500х8 светлая	кг	28,6
12	1081060561	Шайба С.12.01.016 ГОСТ 10450-78	кг	0,4

Провести контроль качества всех сварных соединений по ГОСТ 23118-2012 – визуальный и измерительный — 100%, трещины и расслоения не допускаются.

На внутренней поверхности камер и штуцерах выполнить гуммирование герметиком марки Лепта 12 ТУ 2513-056-32478306 согласно технологии предприятия-изготовителя (Hammelmann) [2].

Таким образом, можно констатировать, что изготовление запасных частей и комплектующих к установке хим. промывке более экономично и надежно по сравнению с применением импортных. Экономит средства на транспортировку, а также снижает риск непоставки запасных частей для проведения химической промывки в период планово-предупредительного ремонта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ростовская АЭС, характеристики, мощность Режим доступа: <https://ru.ruwiki.ru/wiki/> (дата обращения: 15.07.2024)
2. Hammelmann раньше и сегодня// Режим доступа: <https://hammelmann.com.ru/history> (дата обращения: 9.07.2024)
3. СП 2.6.6.2572-2010 «Обеспечение радиационной безопасности при обращении с промышленными отходами атомных станций, содержащими техногенные радионуклиды». // СПС КонсультантПлюс.
4. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». // СПС КонсультантПлюс.

## АНАЛИЗ ПРИЧИН СНИЖЕНИЯ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 15Х2НМФА, ВЫПОЛНЕННЫХ ПРОВОЛОКОЙ СВ-09ХГНМТАА-ВИ В СОЧЕТАНИИ С ФЛЮСОМ ФЦ-16А

Желецкий Д.И.<sup>1</sup>, Попова А.В.<sup>2</sup>, Шубин О.В.<sup>3</sup>, Котенко О.Н.<sup>4</sup>, Марченко А.А.<sup>5</sup>

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

<sup>1</sup>*zheletskiy\_di@atommash.ru;* <sup>2</sup>*popova\_av@atommash.ru;* <sup>3</sup>*shubin\_ov@atommash.ru;*

<sup>4</sup>*kotenko\_on@atommash.ru*

<sup>5</sup>*a.marchenko@aemtech.ru*

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема снижения ударной вязкости и повышение критической температуры хрупкости сварных соединений из стали 15Х2НМФА, выполненных сочетанием сварочных материалов проволока Св-09ХГНМТАА-ВИ и флюс ФЦ-16А. Опытным путём определены вероятные причины снижения ударной вязкости. Разработаны технологические методы противодействия снижению ударной вязкости.

**Ключевые слова:** критическая температура хрупкости, ударная вязкость, металл шва, кремний, кислород.

## ANALYSIS OF THE REASONS FOR THE REDUCTION OF IMPACT TOUGHNESS OF WELDED JOINTS FROM STEEL 15CR2NIMOVA MADE WITH SV-09CRMNNIMOTIAA-VI WIRE IN COMBINATION WITH FC-16A FLUX

Zheletskiy D.I.<sup>1</sup>, Popova A.V.<sup>2</sup>, Shubin O.V.<sup>3</sup>, Kotenko O.N.<sup>4</sup> Marchenko A.A.<sup>5</sup>

*Branch of JSC "AEM Technologies" "Atommash" in Volgodonk*

<sup>1</sup>*zheletskiy\_di@atommash.ru;* <sup>2</sup>*popova\_av@atommash.ru;* <sup>3</sup>*shubin\_ov@atommash.ru;* <sup>4</sup>*kotenko\_on@atommash.ru*

<sup>5</sup>*a.marchenko@aemtech.ru*

**Abstract.** The paper examines the problem of reducing impact toughness and increasing the critical brittleness temperature of welded joints made of 15Cr2NiMoVA steel, made with a combination of welding materials Sv-09CrMnNiMoTiAA-VI wire and FC-16A flux. The probable reasons for the decrease in impact strength were determined empirically. Technological methods have been developed to counteract the decrease in impact strength.

**Keywords:** critical brittleness temperature, impact strength, weld metal, silicon, oxygen.

На сегодняшний день в отечественной атомной энергетике актуальной темой является сооружение АЭС больших мощностей и одновременно с длительным сроком эксплуатации и повышенной безопасностью. В нашем исследовании показаны проблемы, возникшие при изготовлении оборудования АЭС в части выполнения механических испытаний производственных контрольных сварных соединений (ПКСС) и контрольных сварных швов (КСШ), выполненных штатным сочетанием сварочных материалов (проволока Св-09ХГНМТАА-ВИ в сочетании с флюсом ФЦ-16А).

Из металла КСШ и ПКСС изготавливают образцы для определения механических свойств металла шва и сварного соединения, в частности, характеристики сопротивления хрупкому разрушению – исходную критическую температуру хрупкости  $T_{K0}$ . Величину  $T_{K0}$  определяют по методике путем испытания серии образцов Шарпи на ударный изгиб при различных температурах [1]. Критерияльным является значение ударной вязкости, в данном случае – не менее 59 Дж/см<sup>2</sup> при температуре  $T_{K0}$  и одновременно доле вязкой составляющей в изломе – не менее 50 % при температуре  $T_{K0}+30$  °С.

На сегодняшний согласно нормативной документации критическая температура хрупкости основного металла должна быть не выше минус 45 градусов, а металла шва не выше минус 15 градусов.

Современный уровень развития металлургии позволяет обеспечить критическую температуру хрупкости заготовок основного металла вплоть до -100°С в зависимости от их

толщины. Применяемые на данный момент штатные сварочные материалы - проволока Св-09ХГНМТАА-ВИ в сочетании с плавным флюсом ФЦ-16А для кольцевых швов корпуса не обеспечивают Тк0 не только на уровне основного металла, но и не всегда на уровне нормативных значений, составляющих  $-15^{\circ}\text{C}$  [2].

Таким образом, сварные соединения корпуса реактора объективно уступают по критической температуре хрупкости основному металлу и фактически лимитируют срок его службы.

Проведён анализ результатов испытаний КСШ и ПКСС, выполняемых филиалом «Атоммаш». Выполнены собственные исследования путём изготовления сварных проб, а также проанализирована технология изготовления.

Были выяснены причины снижения ударной вязкости металла шва при применении штатных сварочных материалов:

- 1) выделение структурно-свободного феррита по границам зерен (рис.1)



Рисунок 1 – Структура металла шва в зоне разрушения образца

- 2) повышенное содержание кислорода в металле шва в виде неметаллических включений (рис.2)

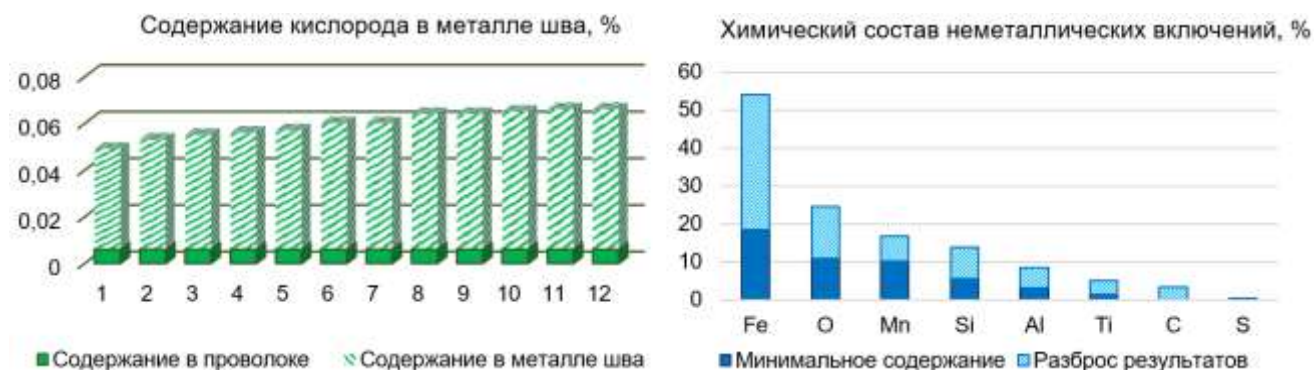


Рисунок 2 – Содержание кислорода и состав неметаллических включений

- 3) повышение содержания кремния, а также суммарного содержания кремния и марганца в металле шва в виде неметаллических включений до значений, при которых наблюдается снижение ударной вязкости (рис. 3)

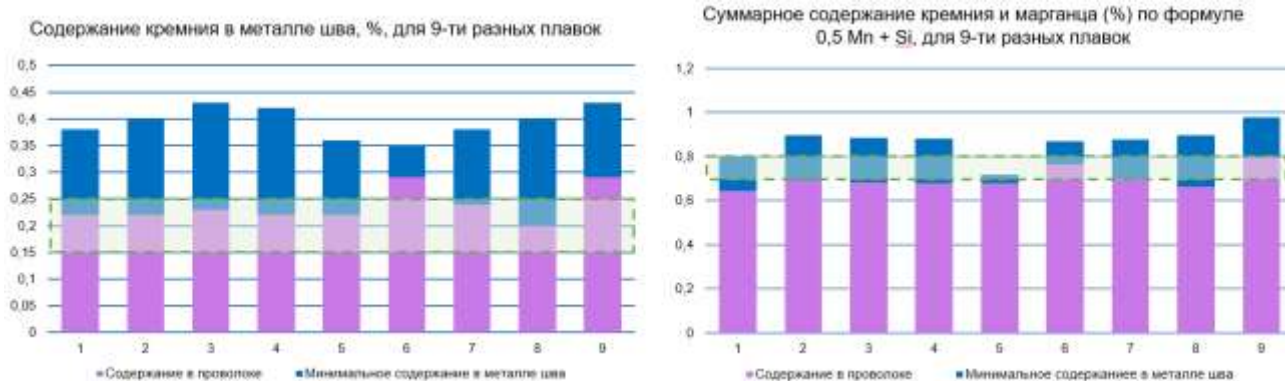


Рисунок 3 – Содержание кремния и марганца

Таким образом, установлены причины получения неудовлетворительных значений исходной критической температуры хрупкости металла сварного шва корпуса ВВЭР, выполненного автоматической сваркой проволокой Св-09ХГНМТАА-ВИ под флюсом ФЦ-16А, выявлено сочетание нескольких факторов:

- структурная неоднородность – образование структурно-свободного феррита в бейнитной матрице металла шва вследствие неблагоприятных термокинетических условий – замедленной скорости охлаждения при относительно высоких параметрах сварки, либо температуры подогрева;
- протекание процессов преобразования в карбидной фазе при многократных промежуточных отпусках;
- загрязненность металла шва неметаллическими включениями вследствие протекания кремний-восстановительного процесса [3].

Как результат, разработаны рекомендации к технологическим параметрам сварки с точки зрения сопротивления хрупкому разрушению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПНАЭГ-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. М.: Энергоатомиздат, 1989;
2. НП-105-18. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила контроля металла оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок при изготовлении и монтаже» [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения 15.07.2024);
3. Конищев Б. П., Курланов С. А., Потапов Н. Н. и др. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие. В 2-х т. Т. 1. Защитные газы и сварочные флюсы / Под общ. ред. Н. Н. Потапова. М.: Машиностроение, 1989.

УДК 539.2 (075)

## ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Жидков М.Е.<sup>1</sup>, Щербань А.С.<sup>2</sup>, Сурин В.И.<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Волгодонский филиал АО «Инжиниринговая компания «АЭМ-технологии «Атоммаш», Волгодонск, Россия

<sup>3</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

**Аннотация.** Для электрического неразрушающего контроля оборудования атомных станций предлагается использовать высокотехнологичную автоматизированную измерительная система АС ЭФК-100, разработанную совместно с Волгодонским филиалом АО «Инжиниринговая компания «АЭМ-технологии «Атоммаш» и лабораторией функциональной электрофизической диагностики и неразрушающего контроля

ИЯФиг НИЯУ МИФИ. Система на базе персонального компьютера содержит измерительное устройство, состоящее из миниатюрных электрофизических датчиков, конструктивно объединенных в одном корпусе. Число датчиков варьируется в зависимости от размеров и формы объекта контроля и может изменяться от десяти до ста и более. Работой блока управляет мультиплексор, попеременно подключающий каждый из датчиков блока к измерительному каналу. Система АС ЭФК-100 располагается на вертикальной консоли, механически перемещаемой при работе.

**Ключевые слова:** сканирующая контактная потенциометрия, электрический неразрушающий контроль, оборудование АЭС.

## HIGH-TECH AUTOMATED ELECTRICAL TESTING SYSTEM FOR NUCLEAR PLANTS EQUIPMENT

Zhidkov M.E.<sup>1</sup>, Shcherban A.S.<sup>2</sup>, Surin V.I.<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Volgodonsk branch of JSC Engineering Company AEM Technologies Atomash, Volgodonsk, Russia

<sup>3</sup>National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia

**Abstract.** For electrical non-destructive testing of nuclear power plant equipment, a high-tech measuring *Elph*-system is proposed, developed jointly by the Volgodonsk branch of JSC Engineering Company AEM-Technologies Atomash and the laboratory of functional electrophysical diagnostics and non-destructive testing of the Institute of Nuclear Physics and Technology NRNU MEPhI. The system, based on a personal computer, contains a measuring unit consisting of miniature electrophysical sensors structurally combined in one housing. The number of sensors varies depending on the size and shape of the test object and can vary from ten to one hundred or more. The operation of the unit is controlled by a multiplexer, which alternately connects each of the unit's sensors to the measuring channel. *Elph*-system is located on a vertical console, which is mechanically moved during operation.

**Keywords:** scanning contact potentiometry, electric non-destructive testing, nuclear power plant equipment.

Высокотехнологичная измерительная система АС ЭФК-100 предназначена для обнаружения дефектов в неразъёмных соединениях, в частности сварных швов различной формы, оборудования АЭС. Система может применяться в целях неразрушающего контроля, как в заводских условиях, так и на атомных станциях при проведении регламентных работ. Измерительное устройство представляет собой набор электрофизических датчиков, объединенных в диэлектрическом корпусе. Принцип работы чувствительных элементов основан на оценке разности электрических потенциалов между двумя точками объекта контроля [1]. Для увеличения производительности, точности и надежности результатов контроля датчики соединяются в многозвенную цепь, охватывающую объект контроля. Каждое звено может объединять от одного до четырёх и более датчиков. При этом каждый датчик состоит из чувствительного элемента, гильзы и пробки. Для обеспечения надёжности контакта с контролируемой поверхностью применен упругий элемент в виде винтовой пружины. Поверхность чувствительного элемента для обеспечения точечного контакта выполняется сферической.

В измерительной системе АС ЭФК-100 используется измерительный канал, реализующий прямой метод измерений путем последовательного опроса всех преобразователей.

Регламент проведения измерений выбирается исходя из поставленной задачи, условий проведения измерений и характеристик исследуемого объекта. При этом соблюдаются требования ГОСТ Р ИСО 5725, выделяющего основные факторы, которые вносят вклад в изменчивость измерений. Как правило, условия выполнения измерений по умолчанию соответствуют стационарному состоянию.

Результат измерений контролируемого параметра представляет собой совокупность среднего значения (математическое ожидание), систематической погрешности методики выполнения измерений и случайной погрешности результата измерений. Размеры объема выборок результатов контроля составляют от сотен и тысяч для изделий небольших размеров, до десятков и сотен тысяч крупногабаритных изделий (корпусов, обечаек, днищ и т.п.) [2].

Цепь (рисунок 1) состоит из звеньев 1, включающих в себя датчики 2, формирующие сигнал измерительной информации. Цепь располагается вдоль контролируемого соединения с фиксированным шагом, который определяется минимальным расстоянием между

датчиками. В устройстве реализован метод пассивной электромагнитной дефектоскопии, основанный на измерении контактной разности потенциалов, не требующий пропускания электрического тока через контролируемый участок [3]. Цепь датчиков устанавливается вдоль контролируемой поверхности, например, сварного шва или иного неразъёмного соединения.

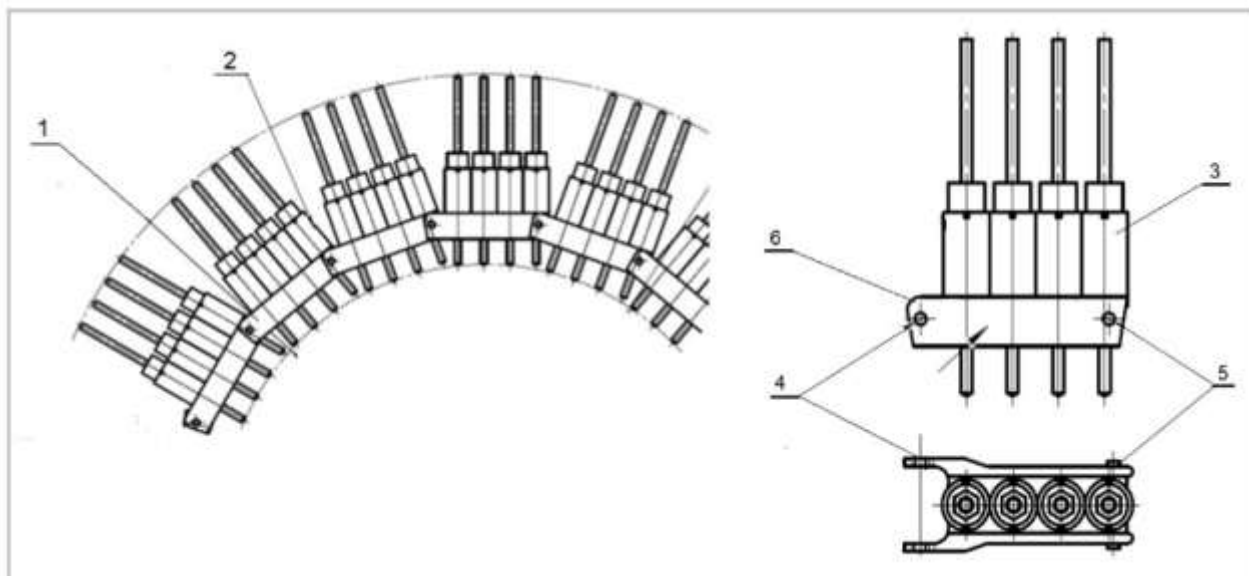


Рисунок 1 – Конструкция измерительного устройства автоматизированной системы АС ЭФК-100

На каждом звене цепи может располагаться от 1 и более датчиков. На рисунке 1 число датчиков равно четырем. Звенья собираются в цепь следующим образом. Датчики 3 устанавливаются в корпус 6 каждого звена. Звенья монтируются с помощью соединения вилочного типа так, что каждое звено соединяется с соседними посредством защёлкивания таким образом, что в отверстия 4, высверленные в проушинах корпуса предыдущего звена, вставляются выступы 5 цилиндрической формы, выполненные непосредственно на корпусе последующего звена.

Допускается соединение звеньев с помощью штифтов, концы которых для осевой фиксации – распаиваются.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Сурин В.И., Щербань А.С., Щербаков А.А., Жидков М.Е., Томилин С.А., Иванов М.Б. Обоснование применимости метода сканирующей контактной потенциометрии для контроля оборудования АЭС при его изготовлении // Глобальная ядерная безопасность. – 2023. – № 1(46). – С. 37-54.
3. Адаменков А.К., Малахов М.И., Ожерельев В.Д., Сурин В.И. Спектральный анализ результатов электрофизического неразрушающего контроля технологического оборудования АЭС // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2021. – № 1. – С. 27–30.

## СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ SCADA СИСТЕМА «САДКО» ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Колесников А.Н.<sup>1</sup>, Кочнев М.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Дмитровградский инженерно-технологический институт- филиал Национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г.Дмитровград, Россия,  
ANKolesnikov@mephi.ru

<sup>2</sup>АО «Промсервис», г.Дмитровград, Россия  
kmv@promservis.ru

**Аннотация.** В работе рассматриваются особенности архитектуры и возможности отечественной специализированной SCADA системы «САДКО».

**Ключевые слова:** вибродиагностика, динамическое оборудование, SCADA системы.

## SPECIALIZED SCADA SYSTEM “SADKO” FOR AUTOMATING PROCESSES OF MONITORING AND DIAGNOSIS OF DYNAMIC EQUIPMENT

Kolesnikov A.N.<sup>1</sup>, Kochnev M.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dimitrovgrad Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI",  
Dimitrovgrad, Russia, ANKolesnikov@mephi.ru

<sup>2</sup>JSC "Promservis", Dimitrovgrad, Russi  
kmv@promservis.ru

**Abstract.** The paper considers the architecture features and capabilities of the domestic specialized SCADA system "SADKO".

**Key words:** vibration diagnostics, dynamic equipment, SCADA systems.

Получившие широкое распространение на российских предприятиях универсальные промышленные SCADA системы SiemensWinCC и AdAstra TRACE MODE позволяют решать широкий спектр задач автоматизации промышленных процессов, имеют развитые возможности разработки программ обработки информации, поступающей от устройств измерения и сбора данных, а также управления устройствами вывода данных [1,2]. Однако универсальные SCADA системы имеют существенные недостатки при их использовании в стационарных системах диагностирования, а именно:

- 1) отсутствие возможности получения, визуализации, анализа спектров (векторные данные) из виброконтроллеров и управления встроенными графиками трендов.
- 2) избыточность универсальных SCADA систем для стационарных систем диагностирования и виброконтроля;
- 3) проблемы, обусловленные уходом зарубежных компаний с российского рынка.

Специализированная SCADA система САДКО производства АО «Промсервис» решает задачи автоматизации процессов мониторинга и диагностирования динамического оборудования на предприятиях различных отраслей, в том числе атомной: она успешно эксплуатируется на Смоленской, Балаковской и Калининской АЭС, на реакторах АО «ГНЦ НИИАР» [3].

**Назначение SCADA системы «САДКО».** Программное обеспечение (ПО) предназначено для сбора, хранения и представления результатов измерений в виде мнемосхем, графиков трендов, таблиц, сравнения результатов измерений с контрольными уровнями, обработки полученных данных, а также создания отчетов с возможностью их печати. ПО также выполняет сбор спектров с виброконтроллеров и их отображение с автоматическим обновлением, диагностирование оборудования с представлением

результатов диагностирования на мнемосхеме в виде значка обобщенного состояния агрегата и в виде списка дефектов с возможностью получения отчетов диагностирования.

**Особенности SCADA системы «САДКО».** При разработке системы «САДКО» были учтены не только используемые возможности универсальных SCADA систем, но также требования и пожелания заказчиков:

- единицей проектирования верхнего уровня подсистемы сбора данных является агрегат. Все измерительные каналы системы разбиваются по принадлежности к агрегатам. Для каждого канала указываются устройства ввода-вывода, теги для адресации в выбранном устройстве, контрольные уровни, параметры обработки данных и др. атрибуты;

- для мобильных комплексов «САДКО-М» предусмотрена возможность оперативного переключения профилей измерения. От пользователя системы потребуется правильно установить датчики на агрегаты, подключить их к нужным каналам виброконтроллера, и перейти на нужный профиль измерения;

- реализованы встроенные драйверы протоколов DCON, ModbusRTU, ModbusTCP. Остальные типы устройств ввода-вывода могут быть использованы, если для них имеется OPC сервер;

- введены визуальные компоненты, аналогов которым нет в универсальных SCADA системах:

- а). графики спектров (рис.1);
- б). результаты диагностирования (рис.2);

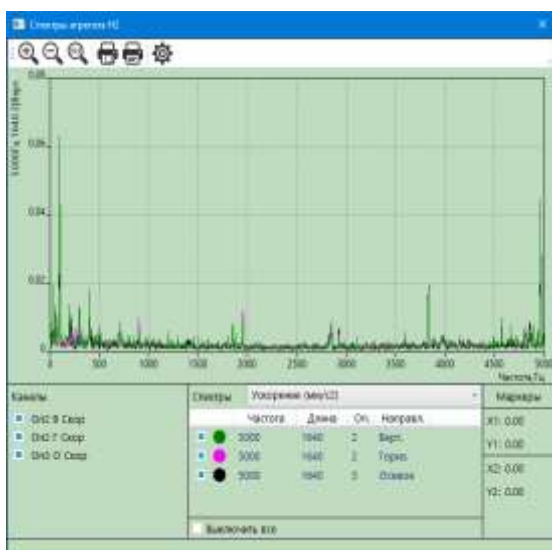


Рисунок 1 – Окно «Графики спектров»

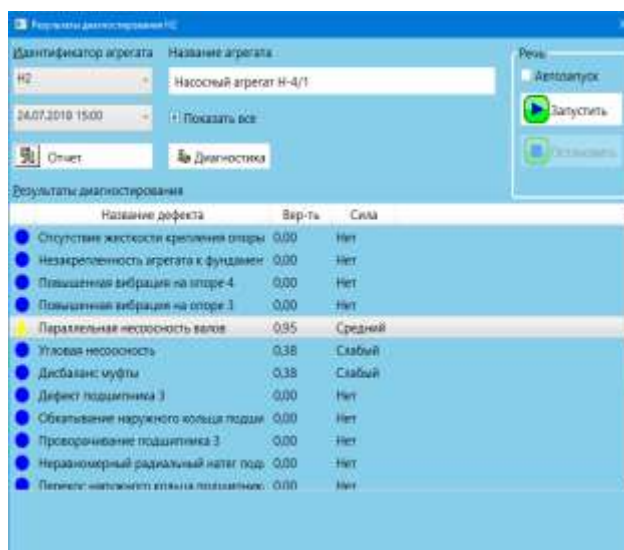


Рисунок 2– Окно «Результаты диагностирования»

- в). наработка агрегата (рис.3);
- г). состояние виброконтроллера (рис.4).

Для разработки проекта с использованием SCADA системы САДКО не требуется высокая квалификация специалиста и знание языков программирования. Вполне достаточно знания предметной области и основных навыков работы с компьютером.

SCADA система «САДКО» позволяет просто организовать взаимодействие с другими системами, как АСУ ТП, так и системами верхнего уровня. Для выполнения этой задачи в основном используется два механизма: OPC сервер и ModbusTCP сервер. Конечно, можно воспользоваться и прямым доступом к базе данных системы САДКО с помощью SQL запросов.

SCADA система «САДКО» может иметь множество клиентов, подключаемых через компьютерные сети, при этом не требуя дополнительного лицензирования для себя. Если для одновременной работы пользователей используются терминальные подключения (протокол RDP), то дополнительному лицензированию подлежат только клиентские подключения к сервисам удаленных рабочих столов (RDS).

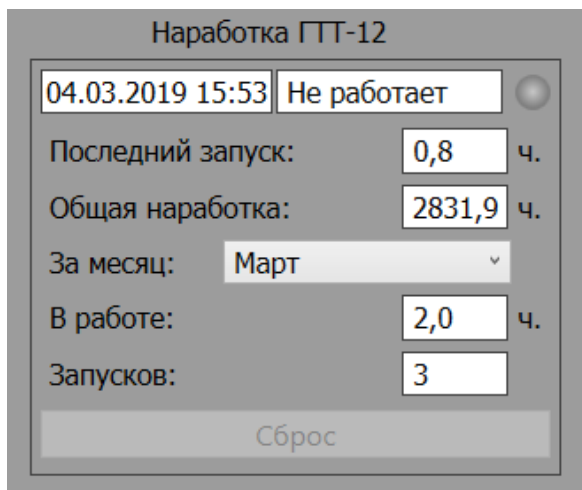


Рисунок 3– Окно «Наработка агрегата»

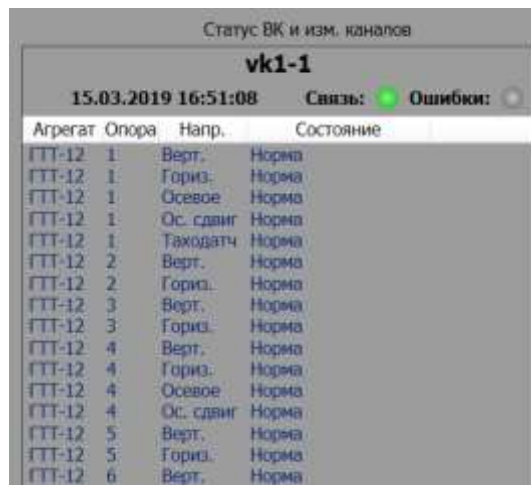


Рисунок 4 – Окно «Состояние виброконтроллера»

Если потребитель системы «САДКО» выдвигает дополнительные требования к сбору и/или отображению данных, то при использовании стандартных SCADA систем в ряде случаев потребуется разрабатывать дополнительное программное обеспечение.

Поскольку АО «Промсервис» сам является разработчиком SCADA системы «САДКО», его специалисты могут дополнять имеющиеся функции и возможности новыми модулями, при необходимости изменяя или дополняя ядро системы (механизмы обслуживания устройств ввода-вывода, хранения, визуализации, навигации, проектирования слайдов и др.).

**Заключение.** SCADA система «САДКО» производства АО «Промсервис» во многих случаях будет выступать выгодной альтернативой универсальным SCADA системам при построении стационарных систем диагностирования и виброконтроля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вибродиагностика: монография. / Розенберг Г. Ш., Мадорский Е. З., Голуб Е. С. и др. Под ред. Г. Ш. Розенберга. – СПб.: ПЭИПК, 2003. – 284 с.
2. Константинов К.В. Вибродиагностика подшипников качения: монография/ К.В.Константинов, А.В. Дороничев – Владивосток: Изд-во ДВГУПС. – 2010. – 65с.
3. Мынцов А.А., Мынцова О.В. Системы автоматического вибродиагностирования – шаг к внедрению предикативного обслуживания/А.А.Мынцов, О.В.Мынцова// Цемент. – вып.4, –2020. – С.4.

УДК 621.039.74

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИВАРКИ ВСТАВОК К ПАТРУБКАМ САОЗ КОРПУСА РЕАКТОРА

Михайлевский Д.А<sup>1</sup>

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

mikhailevsky\_da@atommash.ru

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема отсутствия ультразвукового контроля на сварных соединениях приварки вставок к патрубкам САОЗ при изготовлении корпуса реактора.

**Ключевые слова:** атомная станция, конструкторская документация, неразрушающий контроль, ультразвуковой контроль, боковой цилиндрический отражатель, разнородное сварное соединение, настрочный образец, пьезоэлектрический преобразователь.

## TECHNOLOGICAL FEATURES OF ULTRASONIC TESTING OF WELDED INSERTIONS – TO – ECCS NOZZLES WELD REACTOR VESSEL

**Mikhailevsky D.A.**

*The Branch of JSC “AEM-technology” “Atomash” in Volgodonsk, Russia  
mikhailevsky\_da@atomash.ru*

**Abstract.** The paper considers the problem of the lack of ultrasonic control of welded joints insertions – to – ECCS nozzles weld the manufacture of the reactor vessel.

**Keywords:** nuclear power plant, design documentation, non-destructive testing, ultrasonic testing, side cylindrical reflector, heterogeneous weld joint, calibration sample, piezoelectric transducer.

На сегодняшний день безопасность и надежность технического состояния оборудования атомных станций напрямую зависит от проведения неразрушающего контроля (НК). Проведение НК осуществляется в строгом соответствии с действующими нормативными документами, включая федеральные нормы и правила, а также отраслевые унифицированные методики, разработанные в рамках современной системы нормативного регулирования РФ.

Конструкторская документация (КД) на корпус реактора для контроля швов приварки вставок к патрубкам САОЗ (марка стали: вставок - 08X18H10T-Y, патрубков САОЗ - 15X2МФА-А с наплавкой ЭА-400/10Т или ЭА400/10У, способ выполнения сварки – ручная дуговая сварка покрытыми электродами или аргоновая сварка, или комбинированная сварка) устанавливает требования к проведению визуального, капиллярного и радиографического контролей данных швов. При этом требования к проведению ультразвукового контроля (УЗК) швов сварки патрубков САОЗ со вставками в КД отсутствуют. Это связано с тем, что Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила контроля металла оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок при изготовлении и монтаже» (НП-105-18) в свою очередь не устанавливают нормы оценки качества для стыковых сварных соединений из сталей аустенитного класса и разнородных материалов для УЗК. Кроме того, отсутствуют и отраслевые унифицированные методики для УЗК сварных соединений из разнородных материалов.

Таким образом, на заводах-изготовителях на этапе изготовления корпуса реактора отсутствует УЗК швов приварки вставок к патрубкам САОЗ.

Однако при эксплуатации оборудования согласно НП-084-15 УЗК для таких сварных соединений предусмотрен и при контроле применяется продвинутый метод УЗК, основанный на фазированных решетках.

Учитывая, что заказчик также проводит УЗК данных сварных соединений на этапе предэксплуатационного контроля, было принято решение о внедрении ручного технологического УЗК на этапе изготовления.

На данный момент существует проблема проведения УЗК изделий из сталей разнородного класса, и реализация такого контроля сталкивается с рядом трудностей, таких, как:

- крупнозернистость и анизотропная структура материалов, которая искажает, ослабляет и рассеивает распространяющиеся ультразвуковые волны;
- изменение скорости между сварным швом и основным металлом, так как аустенитная сталь отличается неоднородностью структуры, что может привести к преобразованию мод и искажению луча ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП).

В совокупности с другими характеристиками это усложняет определение размеров и локализацию потенциальных дефектов и, следовательно, снижает вероятность их обнаружения. УЗК сварных соединений из разнородных материалов – это сложная задача, требующая специфической методики.

Для решения данной задачи на площадке Филиала АО «АЭМ-технологии» «Атомаш» в г. Волгодонск проведена следующая научно-исследовательская работа:

- изготовлен комплект настроечных образцов (НО) для УЗК сварных соединений из разнородных материалов для проверки и настройки основных параметров УЗК в соответствии с ГОСТ Р 50.05.04;

- проведена оценка контролепригодности данных сварных соединений в соответствии с ГОСТ Р 50.05.04 (приложение А);

- разработана инструкция ультразвукового контроля.

Изготовленные НО для УЗК разнородных сварных соединений в полной мере соответствуют контролируемому изделию и имеют следующие параметры:

- изготовлены из такого же основного металла, что и контролируемое сварное соединение на корпусе реактора;

- имеют сварное соединение, предварительную наплавку и антикоррозионные наплавки, выполненные по технологии, аналогичной технологии изготовления и сварки сварного соединения на корпусе реактора;

- имеют номинальную толщину свариваемых деталей, соответствующую номинальной толщине свариваемых деталей корпуса реактора;

- повторяют геометрию внешней поверхности объекта контроля в зоне контроля;

- имеют боковые цилиндрические отражатели (БЦО), определенные Федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии НП-084-15 (Таблица 1).

Таблица 1 – Размеры и расположение БЦО в НО

Номинальная толщина свариваемой детали, по которым проводится сканирование, Н, мм	Диаметр БЦО, мм	Глубина расположения центра БЦО в НО		
		По зоне сплавления переходной наплавки	По центру сварного соединения	По зоне сплавления
30.5	4	Н/4, Н/2, 3Н/4	Н/4, Н/2, 3Н/4	Н/4, Н/2, 3Н/4

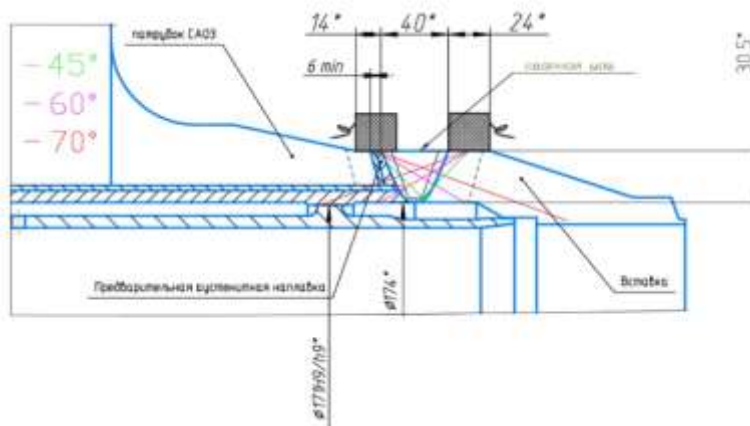
УЗК сварных соединений из разнородных сталей проводится с помощью раздельно-совмещенных преобразователей продольной волны (Таблица 2).

Таблица 2 – Параметры ПЭП

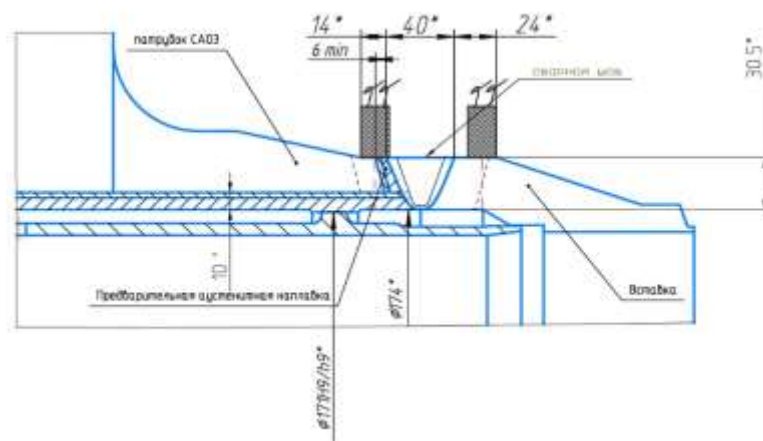
Номинальная толщина свариваемой детали, мм	Тип волны	Тип ПЭП	Частота, МГц	Угол ввода, град	
				Прямым лучом	Однократно отраженным лучом
30.5	Продольная	РС	От 1.8 до 2.5	0, 45, 60, 70	Не допускается

Контроль осуществляется прямым лучом с наружной поверхности с обеих сторон сварного соединения (схема на рис. 2, а).

Учитывая также, что данные сварные соединения с удаленном усилением шва дополнительно контролируются РС-преобразователем (схема на рис. 2, б).



а) продольное сканирование угол ввода 45°, 60°, 70°



б) сканирование по поверхности сварного соединения вдоль или поперек шва угол ввода  $0^\circ$

Рисунок 2 – Схема сканирования

Стоит отметить, что ни один из видов НК не гарантирует выявления всех возможных несплошностей в металле. На результаты любого метода НК может влиять множество факторов, при которых несплошность может быть не выявлена. Для снижения вероятности пропуска обнаружения возможных несплошностей в случае невозможности выполнения того или иного вида НК и обеспечения эксплуатационных свойств изготавливаемого оборудования для сварных соединений разной степени ответственности задается совокупность методов НК.

Принимая во внимание также, что при эксплуатации оборудования для контроля сварных соединений вставок с патрубками SAOЗ применяется метод УЗК на основе фазированных решеток, при этом зона сканирования при проведении ручного УЗК ограничена из-за конструктивных особенностей патрубков SAOЗ и вставок. По этой причине стоит в будущем рассмотреть возможность внедрения на заводах-изготовителях продвинутого метода УЗК на основе фазированных решеток. Данный метод является более информативным и удобным относительно ручного УЗК, но вместе с тем и более трудным с точки зрения организации и формализации испытаний. Тем не менее внедрение данного метода в производственный цикл и получение его официального статуса выглядит перспективным и способно повысить качество и эффективность контроля сварных соединений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кретов, Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении / Е.Ф. Кретов. – Изд. 4-е, перераб. – Санкт-Петербург: СВЕН, 2014. – 312с.
2. Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2006. – 368с.

## АНАЛИЗ ОСЦИЛЛОГРАММ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Перепелицына А.В.<sup>1</sup>, Сазонов И.С.<sup>2</sup>, Ершов А.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Россия

<sup>2,3</sup>Филиал АО "АЭМ-технологии" "Атоммаш", г. Волгодонск, Россия

<sup>1</sup>novicovaav@mail.ru; <sup>2</sup>Sazonow-igor@mail.ru; <sup>3</sup>andrey.vdsk98@gmail.com.

**Аннотация.** В работе исследовали устойчивость ММА процесса пульсирующей и обычной дугой при наплавке валиков электродами УОНИИ 13/55 диаметрами 4 мм на низкоуглеродистую сталь толщиной 8 мм и отработали методики активного анализа осциллограмм ручной дуговой сварки с целью извлечения и переработки информации для улучшения и совершенствования технологии сварки

Для этого решали следующие задачи:

- определение и анализ статической ВАХ источника питания (ИП);
- осциллографирование режимов РДС;
- изучение влияния режимов РДС на формирование шва

В качестве источника питания для сварки использовали аппарат инверторного типа ИНЭМ-200Т. Он оснащён микропроцессорным управлением и благодаря встроенному пульту может работать в одном из четырёх режимов: ММА, ММА–PULSE, TIG, TIG–PULSE. В импульсном режиме силу тока можно регулировать с учётом четырёх параметров: максимального тока в импульсе (А); размаха по току (А); частоты следования импульсов (сек<sup>-1</sup>); коэффициента заполнения или скважности (%).

**Ключевые слова:** сварочный аппарат, пульсирующая дуга, ручная дуговая сварка покрытые электроды, импульс тока сварки.

### ANALYSIS OF ELECTRIC ARC WELDING WAVEFORMS USING MICROPROCESSOR-BASED WELDING ARC POWER SUPPLIES

Perepelitsyna A.V.<sup>1</sup>, Sazonov I.S.<sup>2</sup>, Ershov A.I.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Russia

<sup>2,3</sup>Branch of JSC AEM-technologies Atommas, Volgodonsk, Russia

<sup>1</sup>novicovaav@mail.ru; <sup>2</sup>Sazonow-igor@mail.ru; <sup>3</sup>andrey.vdsk98@gmail.com.

**Abstract.** The work investigated the stability of the MMA process with a pulsating and conventional arc when surfacing rollers with UONIA 13/55 electrodes with diameters of 4 mm on low-carbon steel with a thickness of 8 mm and worked out methods for active analysis of oscillograms of manual arc welding in order to extract and process information to improve and improve welding technology

To do this, the following tasks were solved:

- determination and analysis of the static VAC of the power supply (IP);
- oscillography of RDS modes;
- study of the effect of RDS modes on seam formation

An INEM-200T inverter type apparatus was used as a power source for welding. It is equipped with microprocessor control and, thanks to the built-in remote control, can operate in one of four modes: MMA, MMA–PULSE, TIG, TIG–PULSE. In pulse mode, the current strength can be adjusted taking into account four parameters: maximum pulse current (A); current span (A); pulse repetition rate (sec<sup>-1</sup>); fill factor or duty cycle (%).

**Keywords:** welding machine, pulsating arc, manual arc welding coated electrodes, welding current pulse.

Сварку выполняли на обычных ММА режимах на обратной полярности (рис. 1). и импульсном режиме ММА–PULSE пульсирующей дугой (рис. 2).

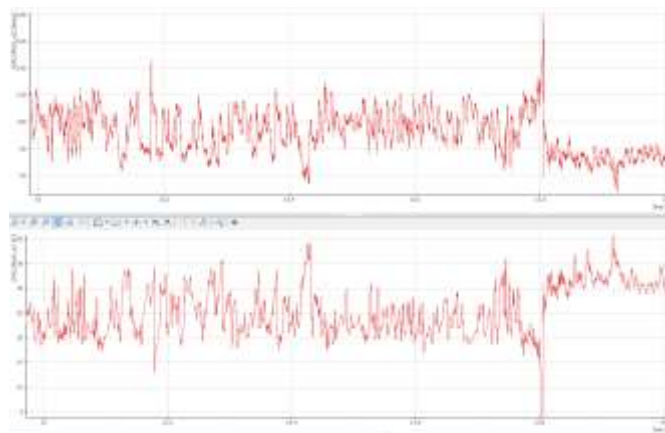


Рисунок 1 – Осциллограммы по току и напряжению импульсной ММА сварки, фильтр Баттерворта 2 порядка, частота отсечки сигнала 100 Гц



Рисунок 2 – Осциллограммы по току и напряжению импульсной ММА сварки, фильтр Баттерворта 2 порядка, частота отсечки сигнала 100 Гц

Осциллографирование и обработка РДС производилась с помощью информационно-измерительной системы Signal Express 2014 на базе измерительного аналого-цифрового модуля NI 9229 со встроенным программным обеспечением первичной обработки сигналов.

На первом этапе испытаний была экспериментально определена статическая вольтамперная характеристика (ВАХ) источника питания.

На втором этапе проверяли устойчивость дугового процесса при сварке на обычных и в импульсных режимах. Была построена взаимная диаграмма (диаграмма рассеяния), которая применяется для взаимоанализа двух рядов через кластеризацию данных.

Также был построен фазовый портрет динамических систем – это инструмент, используемый для графического определения мгновенного поведения ее траекторий для набора начальных условий. Классические фазовые портреты ограничены двумя измерениями, и иногда представлены снимки фазовых 3D-портретов. Генерации набора фазовых портретов достаточно, чтобы без потери информации определить полное поведение непосредственной динамики системы для набора начальных условий в n-мерном пространстве состояний.

Выяснилось, что процесс MMA PULSE более стабилен по сравнению с обычной ручной дуговой сваркой (ММА).. В результате шов формируется более благоприятно, оцениваемое по ГОСТ 25616-83 [1]. Сварщики считают, что электродуговой процесс в режиме пульсирующей дуги намного проще реализовать и для этого не нужны специальные навыки. Кроме того, экономичность, высокое качество сварного соединения, производительность, эффективность [2] и простота в использовании делают процесс ММА с пульсирующей дугой привлекательным выбором среди сварочных процессов, особенно для сварки небольших деталей.

По итогам работы сделан вывод о том, что пульсирующая дуга может эффективно

использоваться для сварки ответственных швов в атомной энергетике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25616-83. Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств.
2. Князьков, В.Л. Повышение эффективности ручной дуговой сварки модулированным током электродами с покрытием за счет автоматической адаптации параметров режима к технологическому процессу // Дис. канд. техн. наук: 05.03.06. М., 2006. 166 с.

УДК 621.791.048:621.039.536.2

## ПОВЫШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ХРУПКОМУ РАЗРУШЕНИЮ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ ШВОВ КОРПУСОВ ВВЭР ИЗ СТАЛИ 15X2НМФА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО СОЧЕТАНИЯ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Попова А.В.<sup>1</sup>, Желецкий Д.И.<sup>2</sup>, Шубин О.В.<sup>3</sup>, Котенко О.Н.<sup>4</sup>, Марченко А.А.<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, Россия

<sup>5</sup> АО «АЭМ-технологии», Колпино, Россия

<sup>1</sup>popova\_av@atommash.ru; <sup>2</sup>zheletskiy\_di@atommash.ru; <sup>3</sup>shubin\_ov@atommash.ru;  
<sup>4</sup>kotenko\_on@atommash.ru; <sup>5</sup>a.marchenko@aemtech.ru

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема снижения сопротивления хрупкому разрушению металла сварных швов корпусов ВВЭР из стали 15X2НМФА, выполненных сварочной проволокой Св-09ХГНМТАА-ВИ в сочетании с высокоактивным плавным флюсом ФЦ-16А. В качестве меры по устранению причин снижения сопротивления хрупкому разрушению, установленных опытным путем, предложено использование нового сочетания сварочных материалов – штатной сварочной проволоки Св-09ХГНМТАА-ВИ в сочетании с низкоактивным керамическим флюсом 48АФ-71. Проведены исследования в объеме аттестационных испытаний нового сочетания сварочных материалов, которое показало значительное и однозначное преимущество замены плавного флюса на керамический, повысив сопротивление металла шва хрупкому разрушению и, соответственно, увеличить ресурс корпуса реактора.

**Ключевые слова:** дуговая сварка, керамический флюс, металл шва, корпус ВВЭР, ударная вязкость, критическая температура хрупкости, референсная температура.

## INCREASING OF RESISTANCE TO BRITTLE FRACTURE OF THE WELD METAL OF PWR VESSELS MADE OF STEEL 15CR2NIMOVA BY USING A NEW COMBINATION OF WELDING MATERIALS

Popova A.V.<sup>1</sup>, Zheletskiy D.I.<sup>2</sup>, Shubin O.V.<sup>3</sup>, Kotenko O.N.<sup>4</sup>, Marchenko A.A.<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Branch of JSC "AEM Technologies" "Atommash" in Volgodonk, Russia

<sup>5</sup> JSC "AEM Technologies", Kolpino, Russia

<sup>1</sup>popova\_av@atommash.ru; <sup>2</sup>zheletskiy\_di@atommash.ru; <sup>3</sup>shubin\_ov@atommash.ru; <sup>4</sup>kotenko\_on@atommash.ru;  
<sup>5</sup>a.marchenko@aemtech.ru

**Abstract.** The paper considers the problem of increasing of resistance to brittle metal fracture of welds of PWR vessels made of steel 15Cr2NiMoVA made with Sv-09CrMnNiMoTiAA-VI welding wire in combination with highly active fused flux FC-16A. As a measure to eliminate the causes of reduced resistance to brittle fracture, established experimentally, it is proposed to use a new combination of welding materials – standard welding wire Sv-09CrMnNiMoTiAA-VI in combination with low-active ceramic flux 48AF-71. Studies have been conducted in the scope of certification tests of a new combination of welding materials, which showed a significant and unambiguous advantage of replacing fused flux with ceramic, increasing the resistance of the seam metal to brittle fracture and, accordingly, increasing the life of the reactor vessel.

**Keywords:** arc welding, ceramic flux, seam metal, nuclear power plant, PWR vessel, impact strength, critical brittleness temperature, reference temperature.

При изготовлении корпусов ВВЭР из стали 15Х2НМФА на площадке завода «Атоммаш» выявлен комплекс причин снижения сопротивления хрупкому разрушению металла шва, выполненного автоматической сваркой проволокой Св-09ХГНМТАА-ВИ в сочетании с флюсом ФЦ-16А: повышение содержания в нем кислорода и кремния, увеличение содержания неметаллических включений – что обусловлено высокой активностью плавленного флюса ФЦ-16А [1]. В работах [2-5] показано, что применение менее активных сварочных флюсов при автоматической сварке способствует повышению ударной вязкости металла шва. Представляет интерес исследование характеристик металла шва стали 15Х2НМФА выполненного автоматической сваркой проволокой Св-09ХГНМТАА-ВИ при использовании низкоактивного сварочного флюса 48АФ-71.

С целью набора статистических данных испытывали три сочетания различных плавок сварочной проволоки с тремя различными партиями флюса. Для сравнения приведены результаты определения характеристик металла шва, выполненного теми же плавками сварочной проволоки при использовании штатного сварочного флюса ФЦ-16А.

Результаты испытаний на ударный изгиб образцов Шарпи после термической обработки по различным циклам, соответствующих технологическим схемам изготовления оборудования на заводе «Атоммаш», приведены на рис. 1. Значения критической температуры хрупкости металла шва приведены на рис. 2.

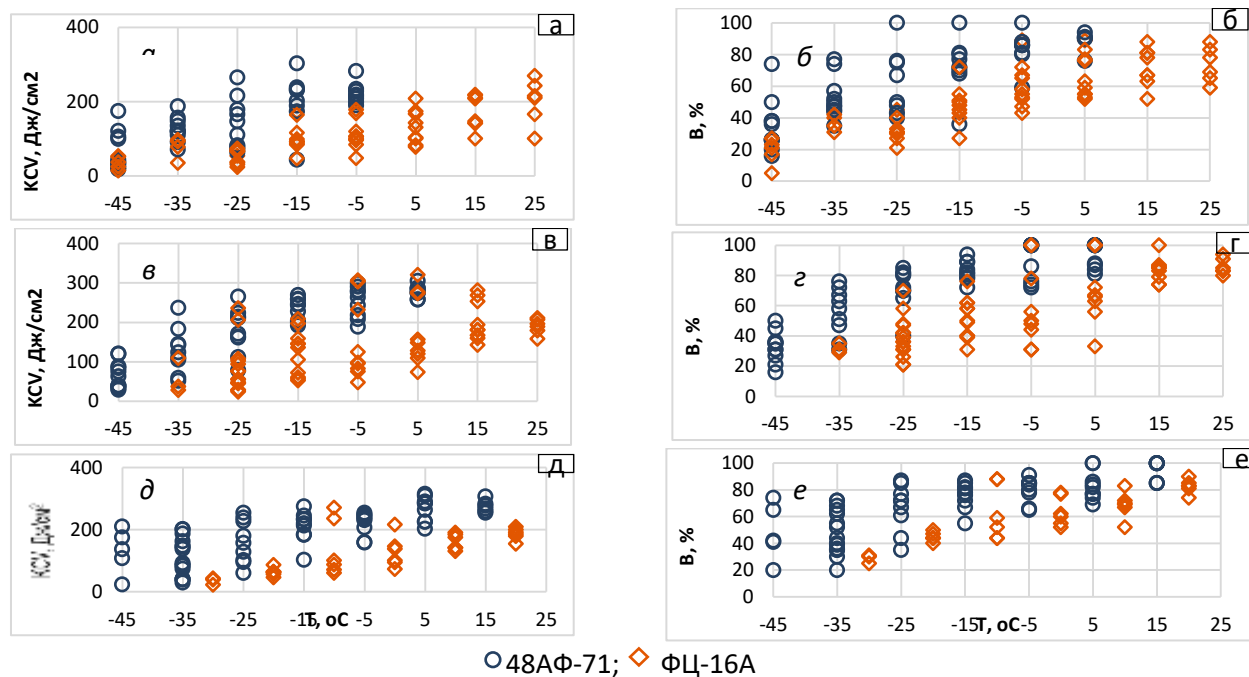


Рисунок 1 – Результаты определения ударной вязкости (а, в, д) и вязкой составляющей в изломе (б, г, е) при различной температуре испытаний металла шва после термообработки по циклу 1+1 (а, б), 4+1 (в, г), 1+2 (д, е)

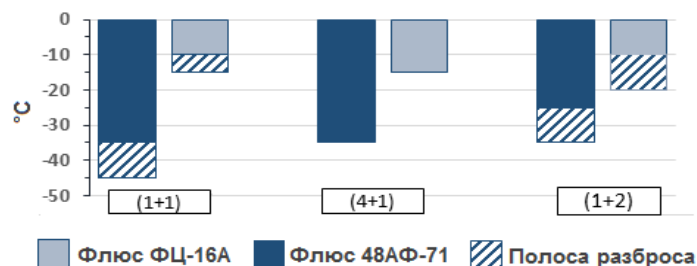


Рисунок 2 – Критическая температура хрупкости металла шва, выполненного сварочной проволокой Св-09ХГНМТАА-ВИ в сочетании с плавленным флюсом ФЦ-16А и керамическим флюсом 48АФ-71

Из данных рис. 1 и 2 видно, что применение низкоактивного керамического флюса взамен плавного при использовании одних и тех же плавок сварочной проволоки позволило существенно повысить ударную вязкость – в среднем на 100 Дж/см<sup>2</sup> и соответственно снизить критическую температуру хрупкости – в среднем на 20 °С.

Результаты испытаний компактных образцов СТ-0,5 на трещиностойкость металла шва, выполненного тремя сочетаниями плавок сварочной проволоки Св-09ХГНМТАА-ВИ и партий сварочного флюса 48АФ-71, после термической обработки по минимальному циклу, а также их обработка по методике Advanced Unified Curve (AUC) [6, 7] приведены на рис. 3.

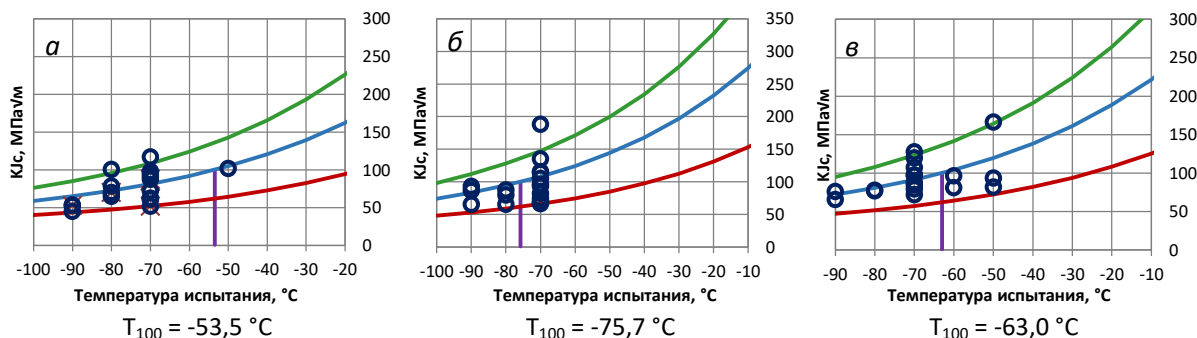


Рисунок 3 – Результаты испытаний металла шва, выполненного тремя сочетаниями сварочной проволоки Св-09ХГНМТАА-ВИ и флюса 48АФ-71 №1, 2, 3 (а, б, в) на трещиностойкость и их обработка по методу Advanced Unified Curve

Также на рис. 3 приведены результаты определения референсной температуры  $T_{100}$  – соответствующей температуре, для которой вязкость разрушения  $K_{JC}=100 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$  для образцов толщиной  $B=25 \text{ мм}$  с вероятностью разрушения  $P_f=0,5$  в соответствии с методом AUC.

Результаты определения характеристик сопротивления хрупкому разрушению для металла шва стали 15Х2НМФА кл. 1, выполненного автоматической сваркой проволокой марки Св-09ХГНМТАА-ВИ под флюсом марки 48АФ-71, приведены в таблице 1. Там же приведены значения разности  $\delta T_{cr-ch}=T_{K0}-T_{100}$ , используемой в документе [7] для расчета сопротивления хрупкому разрушению материалов корпуса реактора.

Таблица 1 – Результаты определения характеристик сопротивления хрупкому разрушению металла шва стали 15Х2НМФА кл. 1, выполненного проволокой Св-09ХГНМТАА-ВИ в сочетании с флюсом 48АФ-71

№ сочетания сварочных материалов	$T_{K0}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{100}, \text{ }^\circ\text{C}$	$\delta T_{cr-ch}, \text{ }^\circ\text{C}$
1	-25	-53,5	28,5
2	-45	-75,7	30,7
3	-35	-63,0	28,0
Среднее значение	-35	-64,1	29,1

Несмотря на имеющийся разброс полученных данных по оценке значения  $\delta T_{cr-ch}$ , полученное среднее значение  $\delta T_{cr-ch} = 29,1 \text{ }^\circ\text{C}$  практически совпадают с экспериментальными результатами, полученными в работе [8], а также со значением  $\delta T_{cr-ch} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ , принятым в ГОСТ Р 59115.14-2021 [06] для металла сварных швов корпусов ВВЭР из сталей 15Х2МФА-А мод. А и мод. Б, 15Х2НМФА-А и 15Х2НМФА кл.1.

Результаты исследований, приведенные выше, а также результаты других исследований, выполненных в объеме аттестационных испытаний нового сочетания сварочных материалов (химический состав, механические свойства, микроструктура и др.) подтверждают соответствие металла шва, выполненного проволокой Св-09ХГНМТАА-ВИ в сочетании с керамическим флюсом 48АФ-71, требованиям федеральных норм и правил [9] и позволяют рекомендовать применение нового сочетания сварочных материалов при изготовлении корпусов ВВЭР современных проектов из стали 15Х2НМФА. Применение нового сочетания сварочных материалов позволит повысить ресурс корпуса реактора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие: В 2-х т. Т. 1. Защитные газы и сварочные флюсы / Б. П. Конищев, С. А. Курланов, Н. Н. Потапов и др.; Под общ. ред. Н. Н. Потапова. – Москва: Машиностроение, 1989. 544 с.
2. Тимофеев М. Н., Галяткин С. Н., Шекин С. И., Михалева Э. И. Новый агломерированный флюс для автоматической сварки низколегированных теплоустойчивых сталей // Сварка и диагностика. – 2017. № 2. – С. 44-48.
3. Головкин В. В., Потапов Н. Н. Особенности агломерированных (керамических) флюсов при сварке // Сварочное производство. 2010. № 6. С. 29—34.
4. Оценка окислительной способности керамических флюсов / И. К. Походня, В. В. Головкин, Д. М. Кушнерев, В. И. Швачко // Автомат. сварка. — 1990. — № 2. — С. 45–48.
5. Результаты сравнительных испытаний плавящихся и керамических флюсов, применяемых при сварке стали 12ХН2МДФ / И. К. Походня, Д. М. Кушнерев, С. Д. Устинов и др. // Автомат. сварка. — 1987. — № 11. — С. 61–64.
6. ГОСТ Р 59115.6-2021. Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Методы определения характеристик трещиностойкости конструкционных материалов. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 18.07.2024).
7. ГОСТ Р 59115.14-2021. Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Расчет на сопротивление хрупкому разрушению корпуса водо-водяного энергетического реактора. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 18.07.2024).
8. Юрченко Е. В., Тимофеев М. Н., Марголин Б. З., Галяткин С. Н. Исследование сопротивления деформированию и разрушению металла сварных швов корпуса ВВЭР // Вопросы материаловедения. – 2023. № 1 (113). С. 174-188.
9. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила контроля металла оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок при изготовлении и монтаже» (НП-105-18) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 18.07.2024).

УДК 621.039.74

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГЛАВНОГО РАЗЪЁМА КОРПУСА РЕАКТОРА НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА АЭС ТЯНЬВАНЬ, БЛОКА №5

**Хохолев Д.О.**

*Филиал АО "АЭМ-технологии" "Атоммаш", г. Волгодонск, Россия*

*Khokholev\_do@atommash.ru.*

**Аннотация.** В работе рассматриваются мероприятия, направленные на Оптимизацию технологии механической обработки главного разъёма корпуса реактора и достижение сокращения времени механической обработки отверстий под резьбу. Выявлены три задачи для решения проблемы:

-Переход на новое современное оборудование;

-Смена устаревшего режущего инструмента на новый, более производительный;

-Основательное изменение метода обработки.

Особенности управляющей программы.

При применении вышеуказанных нововведений, удалось достигнуть снижения трудоёмкости на подготовку отверстия под резьбу.

1. Общее снижение трудоёмкости подготовки отверстия - 59,4 %;

2. Произведено уменьшение номенклатуры инструмента.

3. Сокращение количества проходов «резьбофрезерование» с 5-6 до 2х.

**Ключевые слова:** фрезерование с высокой подачей, смазочная функция, улучшение качества обработки, снижение коэффициента трения., охлаждение инструмента, зона резания.

## OPTIMIZATION OF THE MACHINING TECHNOLOGY OF THE MAIN CONNECTOR OF THE REACTOR VESSEL ON THE EXAMPLE OF THE TIANWAN NPP PROJECT, UNIT NO. 5

**Khokholev D.O.**

*Branch of JSC AEM-technologies Atommash, Volgogradsk, Russia*

*Khokholev\_do@atommash.ru*

**Abstract.** The paper considers measures aimed at optimizing the technology of machining the main connector of the reactor vessel and achieving a reduction in the time of machining threaded holes. Three tasks have been identified to solve the problem:

- The transition to new modern equipment;
- Replacement of an outdated cutting tool with a new, more productive one;
- A thorough change in the processing method.

Features of the control program.

When applying the above innovations, it was possible to achieve a reduction in the complexity of preparing the hole for the thread.

1. The overall reduction in the labor intensity of hole preparation is 59.4%
2. The range of tools has been reduced.
3. Reducing the number of "thread milling" passes from 5-6 to 2x.

**Keywords:** high-feed milling, lubrication function, improved processing quality, reduced friction coefficient., tool cooling, cutting area.

Основная задача - это минимизация затрат на изготовление изделия. Главный критерий такой задачи - уменьшение трудоемкости операций. Операция резьбофрезерования отверстий имеет большую трудоемкость. Рассмотрев проблему более детально, выявилось, что подготовка отверстий под резьбу занимает огромное количество нормо-часов.

Для уменьшения трудоемкости были решены 3 основные задачи:

- Переход на новое, современное оборудование
  - Смена устаревшего режущего инструмента на новый, более производительный
- Основательное изменение метода обработки

При выполнении винтовой интерполяции на фрезерном станке ЧПУ использование фрезерования с высокой подачей подходит для изготовления отверстий большого диаметра [1], поскольку это обычно устраняет необходимость предварительного сверления отверстия. Но для использования такого инструмента требуется быстрое отведение тепла.

На станке, который использовался изначально для проведения этой операции, не было станции СОЖ, в связи с чем плохо обеспечивалось выполнение таких функций как:

- 1.) Смазочная функция.  
Улучшение качества обработки, снижение коэффициента трения.
- 2.) Охлаждение инструмента, стружки и обрабатываемой детали  
Увеличение срока службы инструмента, увеличение скорости резания
- 3.) Удаление стружки из зоны резания

Поэтому для реализации идеи на него спроектировали и установили станцию СОЖ.

Но так как при помощи этой станции подача СОЖ осуществлялась «поливом», стружка препятствовала доступу СОЖ в зону резания, в связи с чем эффективность обработки была снижена. Поэтому обработка отверстий была перенесена на похожий станок с подачей СОЖ через инструмент под большим давлением

Что это дало:

Улучшение функции удаления стружки из зоны резания

Подача СОЖ осуществляется непосредственно в зону резания и показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Подача СОЖ через инструмент

Отсутствие образования парового слоя, препятствующей отводу тепла из зоны резания.

С учетом того, что ВСО ставит задачу обеспечения высокого качества обрабатываемой поверхности, дополнительное внимание следует уделить подбору режимов резания с точки зрения нахождения зон, где отсутствуют вибрации. Например, на рисунке 2 показаны зоны вибрации с различным числом волн  $N$  между зубьями фрезы в зависимости от глубины и скорости.

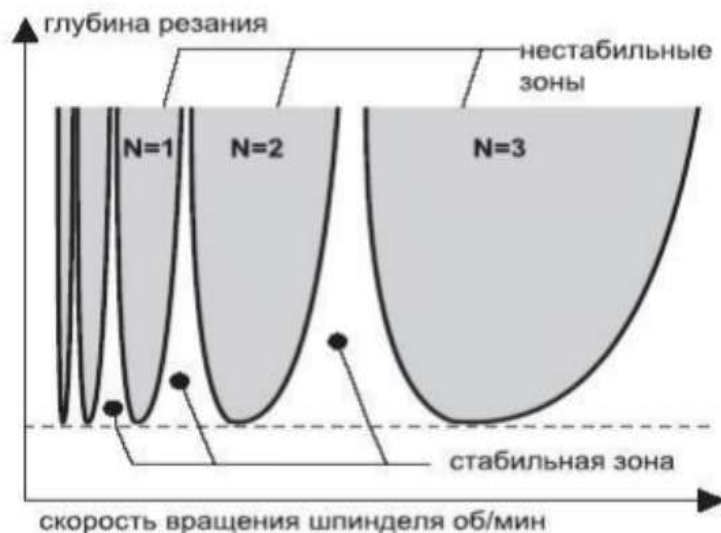


Рисунок 2 – Зоны вибрации

Практически для каждой комбинации СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь) придется находить стабильные зоны, и в связи с отсутствием отработанных рекомендаций их придется экспериментальным путем искать непосредственно на станке. Для уменьшения вибраций следует выбирать фрезы с закругленной режущей кромкой.

Старый метод включал в себя такие переходы как центрование, сверление, фрезерование и растачивание [4]. Это говорит о широкой номенклатуре режущего и вспомогательного инструмента

Поэтому рассмотрев альтернативные методы обработки отверстий был выбран метод обработки отверстия методом фрезерования по круговой интерполяции [2], метод является универсальным ввиду того что позволило сократить номенклатуру инструмента и позволяет производить обработку отверстий различного диаметра, ступенчатых отверстий и, зачастую, в зависимости от требований чертежа, может заменить операцию растачивания.

Спиральная интерполяция - это быстрая, экономичная и универсальная операция, которая программируется путем добавления движения по оси Z к простой команде круговой интерполяции с использованием программного обеспечения САМ [3].

Программирование высокоскоростной обработки имеет свои особенности. При выборе стратегии нужно пользоваться тремя правилами:

1. Малое сечение среза и высокие подачи. При задании траектории движения на ВСО нужно увеличить число проходов и снизить шаг.
2. Плавные траектории. При составлении программы обработки нужно стараться избегать резких изменений направления движения. Для снижения динамических нагрузок на крутых поворотах фрезу приходится притормаживать, при этом происходит ее врезание в поверхность, от чего на ней остаются характерные неровности.
3. Равномерная нагрузка на инструмент. Для повышения стойкости режущего инструмента при высоких скоростях вращения шпинделя следует избегать строчной обработки - последовательных врезаний и выходов фрезы. Для равномерной нагрузки необходимо сохранять постоянное пятно контакта между инструментом и заготовкой.

Управляющая программа должна обеспечить равномерный припуск перед чистовыми проходами.

При применении вышеуказанных нововведений, удалось достигнуть снижения трудоемкости на подготовку отверстия под резьбу:

1. Общее снижение трудоемкости подготовки отверстия под резьбу составило  $\approx 226$  н/ч, в процентном соотношении это значение составляет – 59,4 %;

2. Произведено уменьшение номенклатуры инструмента.

3. Сокращение количества проходов в последующей операции «резьбофрезерование» с 5-6 до 2х, в связи с улучшенными условиями охлаждения инструмента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошкин В.Л. Аппаратные системы числового программного управления / В.Л. Кошкин: Машиностроение, 1989. – 244 с.
2. Гжиров Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ / Р.И. Гжиров: Машиностроение, 1983. – 459 с.
3. Косовский В.Л. Козырев Ю.Г. Программное управление станками и промышленными роботами / В.Л. Косовский, Ю.Г. Козырев: Высшая школа, 1986. – 287 с.
4. Шурков В.Н. Основы автоматизации производства и промышленные роботы / В.Н. Шурков: Машиностроение, 1989. – 238 с.

---

---

**СЕКЦИЯ**  
**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

---

---

УДК 004.032.26: 621.311.25

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ  
ОБОРУДОВАНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Барсегян А.А., Хегай Л.С., Воробьёв Е.В.**

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

**Аннотация.** В настоящее время искусственные нейронные сети активно применяются для решения широкого спектра задач, особенно в тех случаях, когда традиционные подходы оказываются малоэффективными или неприменимыми. Использование нейросетевых технологий позволит повысить эффективность диагностирования и уменьшить ошибки, связанные с человеческим фактором, что в свою очередь повысит надёжность и безопасность работы оборудования АЭС.

**Ключевые слова:** нейросетевые технологии, фазово-плоскостной метод, диагностика, АЭС.

**DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PACKAGE FOR DIAGNOSTICS OF  
NUCLEAR POWER PLANT EQUIPMENT USING NEURAL NETWORK  
TECHNOLOGIES**

**Barseghyan A.A., Hegai L.S., Vorobyov E.V.**

*Volgodonsk Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear  
University "MEPhI", Volgodonsk, Russia*

**Abstract.** Currently, artificial neural networks are actively used to solve a wide range of problems, especially in cases where traditional approaches turn out to be ineffective or inapplicable. The use of neural network technologies will improve the efficiency of diagnostics and reduce errors associated with the human factor, which in turn will increase the reliability and safety of nuclear power plant equipment.

**Keywords:** neural network technologies, phase and plane method, diagnostics, NPP.

Безопасность эксплуатации атомных электрических станций (АЭС) является первоочередной задачей и во многом обеспечивается своевременной диагностикой ее оборудования. Значительную часть эксплуатируемого оборудования на энергоблоках АЭС (в пределах двух тысяч единиц на блок) составляет электроприводная арматура. Различные виды неисправностей, внезапные отказы в процессе эксплуатации данного оборудования на АЭС могут представлять серьезную угрозу безопасности и привести к крупным финансовым потерям в связи с длительными сроками проведения ремонтных и восстановительных работ.

Для диагностики электроприводной арматуры обычно применяется виброакустический анализ, анализ электрической мощности, токового сигнала и момента. Методы диагностирования электроприводной арматуры по токовому сигналу, регистрируемому с обмоток электродвигателя привода, получили наиболее широкое распространение. Это связано с их мобильностью и оперативностью получения результатов обследования. Кроме того, эти методы позволяют проводить измерения дистанционно: в шкафу РТЗО, в машинном зале, когда доступ к объекту диагностирования затруднен или невозможен (например, при наличии радиации или высокой температуры), что и стало ключевым фактором при выборе данного метода в условиях АЭС [1].

Для повышения достоверности и чувствительности диагностирования НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ предложено использовать фазово-плоскостной метод. В этом методе нас интересует совокупность действительной и мнимой части – аналитический сигнал. Его

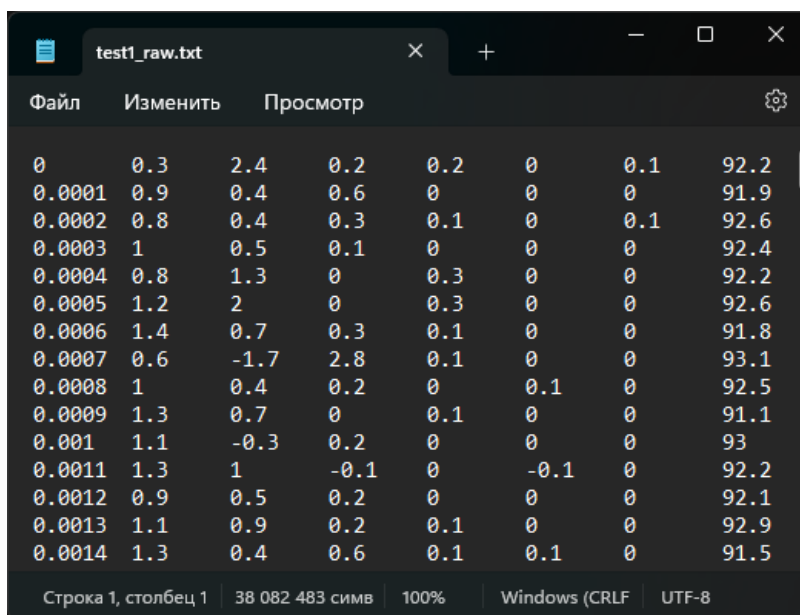
проекция на комплексную плоскость называется фазовым портретом. Изменение формы фазового портрета оборудования во времени позволяет отслеживать деградацию состояния оборудования. Изменение устойчивости состояний равновесия будет указывать на развитие дефектов.

В данной работе предложено автоматизировать построение и анализ фазовых портретов посредством использования нейросетевых технологий.

Нейронная сеть позволяет запоминать и анализировать разную входную информацию. В качестве входных данных будет использована последовательность значений. Эти значения берутся из токовых сигналов, регистрируемых в процессе выполнения различных операций, например, таких как открытие и закрытие электроприводной арматуры.

Прежде всего необходимо провести анализ существующих архитектур нейронных сетей и выбрать наиболее подходящую. В нашем случае наиболее целесообразно использовать тип нейронной сети, которая предсказывает ответ на последовательности символов. Для этой задачи отлично подходят рекуррентные нейронные сети. Наиболее популярными представителями рекуррентных нейронных сетей являются – GRU и LSTM [2]. Однако GRU не подходит нам по причине того, что эта нейросеть эффективна только при работе с небольшими и средними наборами данных. LSTM же имеет более сложную структуру и предоставляет лучшую сохранность информации на длинных последовательностях. Данная нейросеть имеет возможность моделировать долгосрочные зависимости. Благодаря своей сложной структуре, она также позволяет лучше обобщать данные, извлекать более сложные закономерности.

Для реализации программного обеспечения был выбран язык Python, так как он содержит в себе специализированные библиотеки для создания нейронных сетей. Программа будет принимать файл с большим количеством данных. Пример файла показан на рисунке 1.



Файл	Изменить	Просмотр					
0	0.3	2.4	0.2	0.2	0	0.1	92.2
0.0001	0.9	0.4	0.6	0	0	0	91.9
0.0002	0.8	0.4	0.3	0.1	0	0.1	92.6
0.0003	1	0.5	0.1	0	0	0	92.4
0.0004	0.8	1.3	0	0.3	0	0	92.2
0.0005	1.2	2	0	0.3	0	0	92.6
0.0006	1.4	0.7	0.3	0.1	0	0	91.8
0.0007	0.6	-1.7	2.8	0.1	0	0	93.1
0.0008	1	0.4	0.2	0	0.1	0	92.5
0.0009	1.3	0.7	0	0.1	0	0	91.1
0.001	1.1	-0.3	0.2	0	0	0	93
0.0011	1.3	1	-0.1	0	-0.1	0	92.2
0.0012	0.9	0.5	0.2	0	0	0	92.1
0.0013	1.1	0.9	0.2	0.1	0	0	92.9
0.0014	1.3	0.4	0.6	0.1	0.1	0	91.5

Рисунок 1 – Текстовый файл

Для полученного массива данных вычисляется преобразование Гильберта. Получив действительную и мнимую части преобразования Гильберта, программа строит график (рис. 2), где по оси X откладываются действительные части, а по оси Y – мнимые.

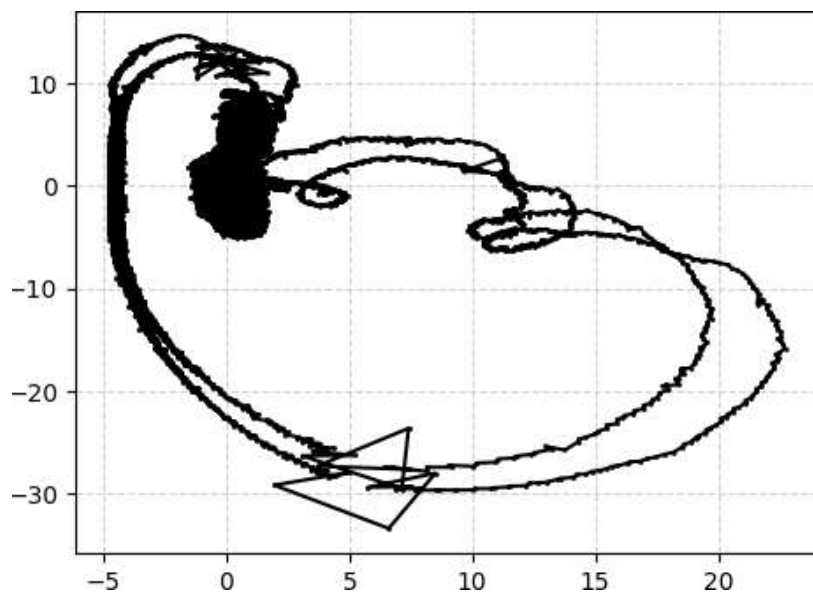


Рисунок 2 – Построение фазового портрета

В дальнейшем планируется обучить нейронную сеть проводить анализ фазовых портретов. По внешнему виду портрета программа должна определить, ухудшилось состояние электроприводной арматуры, или осталась без изменений. Основные параметры, по которым можно судить о состоянии оборудования, это форма и размер фазового портрета. Как правило, увеличение размера свидетельствует об ухудшении состояния. Форма фазового портрета также может меняться. Если форма становится более похожей на кардиоиду или эпициклоиду, то это может свидетельствовать об улучшении состояния оборудования. И, конечно, одновременно изменяться могут и форма, и размер. Все эти сценарии нужно учитывать при обучении нейронной сети.

Ожидается, что после обучения нейронной сети программа сможет определить состояние электроприводной арматуры.

Таким образом, разрабатываемый программный комплекс позволит автоматизировать процесс диагностики электроприводной арматуры с помощью фазово-плоскостного метода, что в свою очередь, позволит, повысит надёжность и безопасность работы оборудования АЭС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абидова Е.А., Малик О.В., Гавриленко Д.С. Диагностирование оборудования АЭС с использованием фазово-плоскостного метода // Глобальная ядерная безопасность, 2014 №2(11), С. 86–90
2. Козлов С.В. Седенков С.А. Анализ LSTM и GRU моделей для построения прогнозов временных рядов // International Journal of Open Information Technologies, 2024 №7, С. 43–50

УДК 681.2.083; 004.891.3; 004.896

## СНИЖЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПЬЕЗОАКСЕЛЕРОМЕТРА В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИИ БЛАГОДАРЯ ПРИМЕНЕНИЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Белкин И.В.<sup>1</sup>, Дьяченко В.Б., Плотников Д.А.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М. И. Платова, Новочеркасск, Россия

<sup>1</sup>vanius2007@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследований авторов в области разработки систем контроля вибрации турбоагрегатов. Предложен метод определения коэффициента преобразования пьезоакселерометра на работающем оборудовании с использованием искусственной нейронной сети. Рассмотрены структура и основные параметры сети. Показаны результаты применения нейронной сети, содержащей один скрытый слой нейронов.

**Ключевые слова:** Вибромониторинг, коэффициент преобразования, пьезоакселерометр, обучение нейросети, машинное обучение, нейронные сети.

## REDUCTION OF MEASUREMENT ERROR OF THE PIEZOACCELEROMETER CONVERSION COEFFICIENT IN VIBRATION CONTROL SYSTEMS DUE TO THE USE OF A NEURAL NETWORK

**Belkin I.V.<sup>1</sup>, Dyachenko V.B., Plotnikov D.A.**

*M. I. Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia*

<sup>1</sup>*vanius2007@mail.ru*

**Abstract.** The paper presents the results of the authors' research in the field of development of vibration control systems for turbine units. A method for determining the conversion coefficient of a piezoaccelerometer on operating equipment using an artificial neural network is proposed. Its structure and main parameters are considered. The results of using a neural network containing one hidden layer of neurons are shown.

**Keywords:** Vibration monitoring, conversion coefficient, piezoaccelerometer, neural network training, machine learning, neural networks.

Турбоагрегаты (ТА), используемые на электростанциях, являются весьма сложным и дорогим оборудованием, аварийные ситуации на котором могут вызвать серьезные экономические и социальные последствия. Вследствие этого необходим постоянный мониторинг технического состояния ТА с целью выявления дефектов на ранних стадиях их развития. Эффективным средством диагностики ТА в рабочем режиме является вибродиагностика, осуществляемая с помощью систем вибромониторинга (СВМ). В таких системах в качестве первичных преобразователей широко применяются пьезоэлектрические акселерометры (ПА) [1], от исправности и стабильности характеристик которых зависит эффективность вибромониторинга в целом. Поэтому определение технического состояния ПА и его основных параметров в процессе эксплуатации СВМ является актуальной задачей.

Существует несколько способов определения основных параметров ПА. В [2, 3] для измерения коэффициента преобразования (КП) ПА и резонансной частоты его чувствительного элемента (ЧЭ) предлагается возбуждать и регистрировать свободные колебания ЧЭ. По отклонению частоты колебаний от номинала судят об исправности ПА, а размах колебаний позволяет определить текущее значение КП ПА. Недостатком этих способов является невозможность применения на работающем оборудовании из-за его вибрации, препятствующей анализу свободных колебаний. В [4, 5] описаны усовершенствованные методы, применяемые в рабочем состоянии ТА. В этих методах вынужденная составляющая колебаний ЧЭ ПА, обусловленная вибрацией ТА, исключается различными способами, что позволяет выделить свободные колебания ЧЭ. Недостатками второй группы методов являются высокая чувствительность к импульсным (случайным) помехам и работоспособность в условиях вибрации ТА, которая имеют только периодический характер.

Авторами предлагается метод определения КП ПА, лишённый указанных недостатков за счёт использования искусственной нейронной сети (ИНС) для определения параметров свободных колебаний ЧЭ. Суть его заключается в следующем.

Зависимость КП ПА  $K_Q$  от амплитуды  $Q$  свободных колебаний ЧЭ имеет вид [4]:

$$K_Q = C_A \sqrt{Q}, \quad (1)$$

где  $C_A$  - константа, определяемая механическими характеристиками ЧЭ ПА. Для определения  $Q$  в ЧЭ возбуждают свободные колебания, а затем регистрируют их путём измерения заряда  $q(t)$  на выходе ПА. В общем виде  $q(t)$  описывается выражением:

$$q(t) = Q \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot \cos(\omega_{ce} t) + \sum_{i=1}^N A_i \cos(i\omega_e t + \varphi_i) + \sum_{j=1}^M B_j \cos(\omega_j t + \phi_j) + \Lambda, \quad (2)$$

где  $Q, \tau, \omega_{ce}$  – амплитуда, постоянная времени затухания и круговая частота свободной составляющей колебаний ЧЭ;  $\omega_e$  – круговая частота вращения ротора ТА;  $A_i, \varphi_i$  – амплитуды и фазы гармонических составляющих вынужденных колебаний ЧЭ;  $B_j, \omega_j, \phi_j$  – амплитуды, частоты и фазы периодических составляющих вынужденных колебаний ЧЭ с частотами, не кратными  $\omega_e$ ;  $\Lambda$  – случайная составляющая.

Для определения параметров свободных колебаний ЧЭ на ИНС подаётся входной вектор, включающий зарегистрированное множество значений  $q(t)$  и измеренные СВМ параметры  $A_1, \omega_e, \varphi_1$  основной гармоники вибрации. Решая задачу регрессии, ИНС формирует выходной вектор  $(Q, \tau, \omega_{ce})$ , минимизируя при этом влияние вынужденных составляющих (2) на результат.

Обучение ИНС было выполнено на обучающем наборе данных (ОНД), состоящем из 5000 объектов, разделенных на входной и выходной векторы. При формировании входных векторов использовались наиболее вероятные значения параметров (2), случайным образом изменяемые в пределах  $\pm 10\%$ . Так как данные представлены в разных единицах измерения, они были нормализованы методом «Min-Max». Нормализованный ОНД разделен на три части: 70% – обучающие данные и по 15% – проверочные и тестовые данные.

Для обучения ИНС использовалась программа MATLAB. Выбрана трёхслойная структура ИНС (входной, скрытый и выходной слою). В выходном слое применялась линейная функция активации, а в скрытом слое – сигмоид. Алгоритм оптимизации – Левенберга - Марквардта. Все параметры ИНС были выбраны на основе предварительно проведенных экспериментов.

Обучение ИНС производилось несколько раз с целью получения наиболее точного результата. Это связано с тем, что алгоритм Левенберга – Марквардта, используемый для минимизации ошибок, не гарантирует нахождение абсолютного минимума целевой функции. Кроме того, инициализация весов межнейронных связей производится случайным образом, поэтому каждая обученная ИНС демонстрирует разные результаты. Пять лучших результатов обученных ИНС показаны в таблице 1. В ней использованы следующие обозначения:  $\mu$  – минимальное значение коэффициента демпфирования в алгоритме Левенберга - Марквардта; СКО – среднеквадратическая ошибка нормализованных значений параметров  $(Q, \tau, \omega_{ce})$  в выходном векторе.

Из таблицы 1 видно, что все пять моделей ИНС дают хорошие результаты. Поскольку все данные в ОНД нормализованы, среднеквадратическая ошибка показывает высокую точность обученной модели, которая на порядок превосходит точность существующих методов.

Таблица 1 – Результаты обучения ИНС.

№ эксперимента	№1	№2	№3	№4	№5
Количество эпох	11	13	15	15	12
Время обучения	00:01:47	00:02:05	00:02:20	00:02:18	00:01:54
Производительность	0.0034	0.00289	0.00257	0.0034	0.00291
Градиент	0.00175	0.00661	0.0186	0.000829	0.00183
$\mu$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Валидационные проверки	6	6	6	6	6
СКО	0.0056	0.0053	0.005	0.0052	0.006

Выполним расчет абсолютной ( $\Delta$ ) и относительной ( $\delta$ ) погрешностей выходного вектора  $(Q, \tau, \omega_{ce})$ . Возьмем обученную модель ИНС №3, которая показала наилучшие результаты, и выполним повторное тестирование на десяти ранее неиспользуемых объектах. Поскольку в

выходном векторе ИНС выводит нормализованные значения, выполним денормализацию данных. Результаты эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета абсолютной и относительной погрешностей

№ объекта.	Q		τ		ω <sub>св</sub>	
	Δ	δ, %	Δ	δ, %	Δ	δ, %
1	3.4344*10 <sup>-3</sup>	1.5029	2.5331*10 <sup>-6</sup>	2.0627*10 <sup>-1</sup>	1.7947	1.9273*10 <sup>-2</sup>
2	2.9798*10 <sup>-3</sup>	1.2486	5.3832*10 <sup>-6</sup>	3.6716*10 <sup>-1</sup>	2.6765	2.8716*10 <sup>-2</sup>
3	1.1232*10 <sup>-3</sup>	4.5558*10 <sup>-1</sup>	3.5502*10 <sup>-6</sup>	2.7442*10 <sup>-1</sup>	10,6279	1.1633*10 <sup>-1</sup>
4	3.6836*10 <sup>-3</sup>	1.6808	1.6573*10 <sup>-5</sup>	1.2731	13,8147	1.5138*10 <sup>-1</sup>
5	3.3753*10 <sup>-3</sup>	1.6028	9.2098*10 <sup>-7</sup>	7.5634*10 <sup>-2</sup>	8,1665	8.7712*10 <sup>-2</sup>
6	8.7746*10 <sup>-4</sup>	3.3356*10 <sup>-1</sup>	1.5939*10 <sup>-6</sup>	1.1117*10 <sup>-1</sup>	7,3565	8.0617*10 <sup>-2</sup>
7	1.1489*10 <sup>-3</sup>	4.9046*10 <sup>-1</sup>	7.174*10 <sup>-6</sup>	5.0076*10 <sup>-1</sup>	6,1941	6.7875*10 <sup>-2</sup>
8	5.6223*10 <sup>-4</sup>	2.1863*10 <sup>-1</sup>	2.2864*10 <sup>-6</sup>	1.7748*10 <sup>-1</sup>	1,1387	1.2419*10 <sup>-2</sup>
9	9.619*10 <sup>-4</sup>	3.5061*10 <sup>-1</sup>	8.0328*10 <sup>-7</sup>	5.6596*10 <sup>-2</sup>	4,2386	4.6675*10 <sup>-2</sup>
10	6.6495*10 <sup>-4</sup>	2.5906*10 <sup>-1</sup>	1.894*10 <sup>-6</sup>	1.3063*10 <sup>-1</sup>	3,4663	3.7608*10 <sup>-2</sup>
Среднее	<b>1.8812*10<sup>-3</sup></b>	<b>8.143*10<sup>-1</sup></b>	<b>4.2712*10<sup>-6</sup></b>	<b>3.1732*10<sup>-1</sup></b>	<b>5,9474</b>	<b>6.4861*10<sup>-2</sup></b>

Из таблицы 2, видно, что средняя относительная погрешность разработанного метода для параметра Q составляет 0,81%, для параметра τ – 0,32%, для параметра ω<sub>св</sub> – 0,065%. Поскольку КП ПА связан с параметром Q формулой (1), его относительная погрешность будет равна 0,405%. Это в 2...3 раза превышает точность известных методов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдин, А.С. Вибрация роторных машин / А.С. Гольдин. - Москва: Машиностроение, 1999. 344 с.
2. Пат. 2150708 Рос. Федерация, МПК G01P21/00, G01P15/09. Способ электрического возбуждения резонансных колебаний пьезоэлектрического акселерометра и устройство для его осуществления / Субботин М.И. – 99100835/28; заявл. 21.01.99; опубл. 10.06.00.
3. Пат. 2176396 Рос. Федерация, МПК G01P21/00, G01P15/09. Способ дистанционного периодического контроля коэффициента преобразования пьезоэлектрического акселерометра / Субботин М.И. - 2000125060/28; заявл. 5.10.00; опубл. 27.11.01.
4. Пат. 99158 Рос. Федерация, МПК G01H17/00. Устройство дистанционного измерения коэффициента преобразования пьезоэлектрического акселерометра / В.И. Лачин, А.К. Малина, Д.А. Плотников. – № 2010125245/28; заявлено 18.06.10, опубл. 10.11.10.
5. Плотников Д.А., Лачин В.И., Муженко А.С. Усовершенствованный метод определения коэффициента преобразования пьезоакселерометра // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2023. №4 (220). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/usovershenstvovannyy-metod-opredeleniya-koeffitsienta-preobrazovaniya-piezoakselerometra> (дата обращения: 15.07.2024).

УДК 519.876.5

## ЦИФРОВОЕ АДАПТИВНОЕ РЕЛЕ ЧАСТОТЫ ТОКА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СЕТИ

**Власов В.М.<sup>1</sup>, Шилин А.Н.<sup>2</sup>, Кутейников П.Д.<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> *Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия*

<sup>1</sup>*vitya-vlasov-2001@mail.ru*

<sup>3</sup>*eltech@vstu.ru*

**Аннотация:** В данной статье приведена схема реле частоты тока. В электроэнергетике релейная защита предназначена для предотвращения аварий в системе электроснабжения. При коротком замыкании в системах электроснабжения срабатывает релейная защита, которая с помощью электромеханических выключателей обесточивает потребляемую электросеть. При коротком замыкании падает напряжение и уменьшается частота сети, что может привести к аварийному режиму системы электроснабжения. Поэтому

при коротких замыканиях в сети необходимо контролировать ток, напряжение и частоту сети. Срабатывание реле различных типов может происходить при превышении тока, уменьшения напряжения и частоты ранее установленных пороговых значений. В настоящее время с широким внедрением в энергетику цифровых технологий, систем искусственного интеллекта, интеллектуальных электрических сетей возникает необходимость разработки и внедрения цифровых интеллектуальных элементов и устройств в электроэнергетические системы.

**Ключевые слова:** Система электроснабжения, релейная защита, реле напряжения, реле частоты, адаптивные реле, микропроцессорная релейная защита.

## DIGITAL ADAPTIVE CURRENT FREQUENCY RELAY IN THE POWER GRID

Vlasov V.M.<sup>1</sup>, Shilin A.N.<sup>2</sup>, Kuteynikov P.D.<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia  
<sup>1</sup>vitya-vlasov-2001@mail.ru  
<sup>3</sup>eltech@vstu.ru

**Abstract:** This article shows the circuit of the current frequency relay. In the electric power industry, relay protection is designed to prevent accidents in the power supply system. In case of a short circuit in power supply systems, relay protection is triggered, which, using electromechanical switches, de-energizes the consumed power grid. In case of a short circuit, the voltage drops and the frequency of the network decreases, which can lead to an emergency mode of the power supply system. Therefore, in case of short circuits in the network, it is necessary to control the current, voltage and frequency of the network. The operation of relays of various types can occur when the current is exceeded, the voltage and frequency of previously set thresholds are reduced. Currently, with the widespread introduction of digital technologies, artificial intelligence systems, and intelligent electrical networks into the energy sector, there is a need to develop and implement digital intelligent elements and devices in electric power systems.

**Keywords:** Power supply system, relay protection, voltage relay, frequency relay, adaptive relays, microprocessor relay protection.

В настоящее время энергетическая система России характеризуется высокой степенью износа и, соответственно, низкой надежностью, что является источником аварий. Для предотвращения аварий в электроэнергетике предназначена релейная защита, которая при коротких замыканиях в системах электроснабжения срабатывает и обесточивает потребляемую электросеть. При коротком замыкании в сети падает напряжение и уменьшается частота сети, что может привести систему электроснабжения к аварийному режиму. Поэтому для нормального функционирования релейной защиты необходимо контролировать ток, напряжение и частоту сети. Срабатывание реле может происходить при превышении тока, уменьшения напряжения и частоты ранее установленных пороговых значений [1].

В качестве примера можно привести устройство релейной защиты минимального напряжения, содержащее блоки контроля направления мощности, минимального напряжения, минимальной частоты, логических операций, а так же таймеры и исполнительные механизмы [4] (Шабад М.А. Релейная защита на электроподстанциях, питающих синхронные электродвигатели, Библиотека электромонтера, вып. 565, Л.: Энергоатомиздат, 1984 г., стр.53-54, 56.).

Однако из анализа аналогов существующих устройств релейной защиты следует, что преобразователь измерения частоты не соответствует современным требованиям по точности измерения частоты сети. Физический принцип действия этого преобразователя основан на явлении резонанса в электрических цепях, а именно устройство содержит последовательную цепь из активного сопротивления, индуктивности и емкости. Цепь с помощью выбора значений параметров элементов настраивается на режим резонанса с частотой, равной номинальной частоте сети 50 Гц. При резонансе угол сдвига фаз напряжения относительно тока равен нулю. При изменении частоты сети угол сдвига фаз между напряжением на реактивном элементе и током изменяется и по этому изменению определяется отклонение частоты.

Погрешность изменения фазы тока и напряжения в радианах:

$$16\pi \times 10^{-5} = \Delta\varphi \quad (1)$$

Для решения этой проблемы предложено использовать усилитель с автоматической стабилизацией амплитуды гармонического сигнала, который преобразуется в прямоугольный импульс, а затем сравнительно просто в цифровой сигнал. Этот преобразователь в сравнении с аналогом имеет более простую конструкцию и высокую точность.

Реле частоты (рис.1) содержит адаптивный блок усиления 1 сигналов с автоматической регулировкой усиления, за счет которой осуществляется стабилизация амплитуды выходного сигнала операционного усилителя 2. Усилитель 2 охвачен отрицательной обратной связью с помощью резистора 3 (R1) и управляемого сопротивления 4 (оптрона). На вход операционного усилителя подключен однополупериодный выпрямитель 5, а к выходу операционного усилителя подключен пик-детектор 6, соединенный с элементом сравнения 7. Ко второму входу элемента сравнения подключено устройство задания 8 значения амплитуды импульса, а выход элемента сравнения соединен с управляющим входом сопротивления 4. Выход усилителя 2 соединен с формирователем импульсов (триггером Шмитта) 9, выход которого соединен с первым входом ключа (логическим элементом И) 10, ко второму входу ключа 10 подключен генератор тактовых импульсов 11. Выход ключа 10 соединен со счетчиком импульсов 12, который выполняет также функцию управления счетом [2, 3].

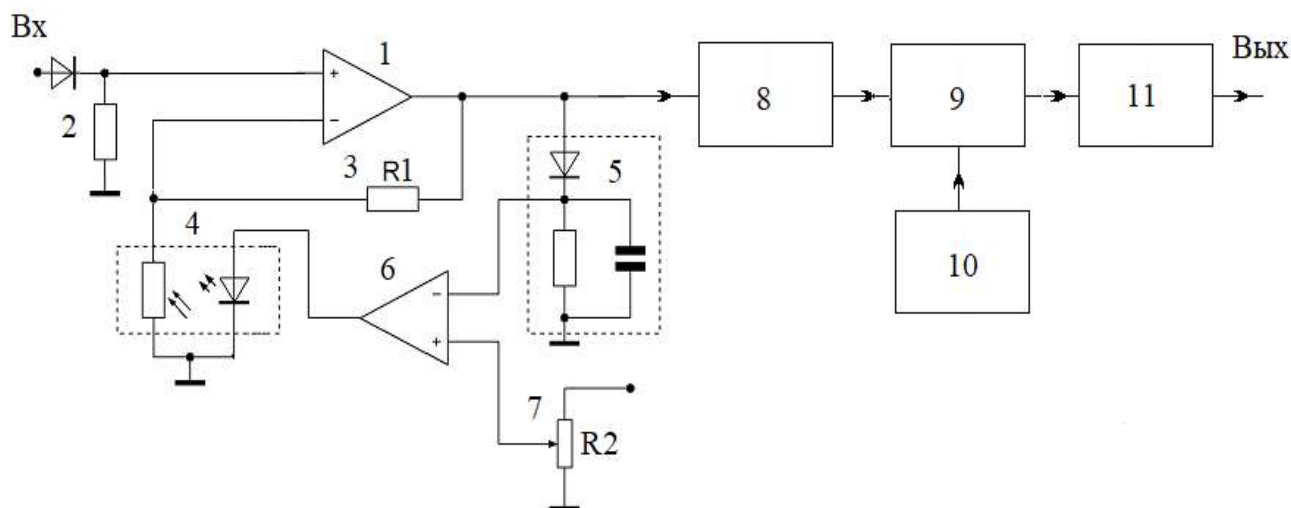


Рисунок 1 – Реле частоты

Для решения этой проблемы предложено использовать усилитель с автоматической стабилизацией амплитуды гармонического сигнала, который преобразуется в прямоугольный импульс, а затем сравнительно просто в цифровой сигнал. Этот преобразователь в сравнении с аналогом имеет более простую конструкцию и высокую точность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хомяков, М. Н. Реле частоты РЧ1, Библиотека электромонтера, вып. 545: Энергоиздат, 1982 г. – 64с.
2. [https://yandex.ru/patents/doc/SU387515A1\\_19730621](https://yandex.ru/patents/doc/SU387515A1_19730621)
3. [https://yandex.ru/patents/doc/SU235160A1\\_19690116](https://yandex.ru/patents/doc/SU235160A1_19690116)
4. Шабад М.А. Релейная защита на электроподстанциях, питающих синхронные электродвигатели, Библиотека электромонтера, вып. 565, Л.: Энергоатомиздат, 1984 г., стр.53-54, 56.

## СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА АЭС С ВВЭР НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Исмаил Р.М.<sup>1</sup>, Хвостова М.С.<sup>2</sup>, Проскуряков К.Н.<sup>3</sup>

Научно исследовательский университет МЭИ, Москва, Россия

<sup>1</sup> *IsmailIK@mpei.ru*; <sup>2</sup> *KhvostovaMS@mpei.ru*; <sup>3</sup> *ProskuriakovKN@mpei.ru*

**Аннотация.** В работе установлено, что водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР) при турбулентном течении теплоносителя является открытой системой высокой сложности с большим количеством элементов, связи между которыми носят не predetermined, а вероятностный характер. Использование цифровой акустической модели ядерного реактора (ЦАМЯР) при проектировании и эксплуатации АЭС позволяет выявить источники возникающих в теплоносителе акустических стоячих волн (АСВ) и предотвратить возникновение виброакустических резонансов (ВАР).

**Ключевые слова:** шумовые сигналы, виброакустический резонанс, нейтронно-физические и тепло-гидравлические процессы

## CREATION OF A DIGITAL TWIN OF A NUCLEAR POWER PLANT WITH VVER BASED ON A DIGITAL ACOUSTIC MODEL OF A NUCLEAR REACTOR

Ismail R.M.<sup>1</sup>, Khvostova M.S.<sup>2</sup>, Proskuryakov K.N.<sup>3</sup>

Scientific Research University MPEI, Moscow, Russia

<sup>1</sup> *IsmailIK@mpei.ru*; <sup>2</sup> *KhvostovaMS@mpei.ru*; <sup>3</sup> *ProskuriakovKN@mpei.ru*

**Abstract.** The work established that a water-cooled power reactor (WWER) with a turbulent coolant flow is an open system of high complexity with a large number of elements, the connections between which are not predetermined, but probabilistic in nature. design and operation of nuclear power plants makes it possible to identify the sources of acoustic standing waves (ASWs) arising in the coolant and prevent the occurrence of vibroacoustic resonances (VAR).

**Keywords:** noise signals, vibroacoustic resonance, neutronic and thermal-hydraulic processes.

Схема радиотехнического генератора автоколебаний представлена на рис. 1. Колебательной системой является RLC –контур. Напряжение с контура подается на вход усилителя. Зависимость тока на выходе усилителя  $i$  от напряжения на входе  $u$ , аппроксимирована кубическим полиномом:

$$i(u) = g_0 u - g_2 u^3 + \dots \quad (1)$$

Коэффициенты  $g_n$  считаются положительными.

Механизм возбуждения автоколебаний в генераторе можно описать следующим образом. Даже в случае отсутствия напряжения на выходе усилителя напряжение в контуре испытывает случайные флуктуации, которые усиливаются усилителем и снова поступают в контур через цепь обратной связи. При этом из шумового спектра флуктуаций будет выделяться составляющая на собственной частоте контура. Если энергия, вносимая в контур, превосходит энергию потерь, амплитуда колебаний растет. Поскольку зависимость  $i$  от  $u$  нелинейная (1), с ростом  $u$  коэффициент усиления падает, это приводит к установлению автоколебаний с постоянной амплитудой. Таким образом, нелинейность в автоколебательных системах регулирует поступление энергии из источника [1].

Одной из значимых вопросов в ядерной энергетике является разработка методов, программного обеспечения и технических средств для раннего обнаружения и недопущения условий эксплуатации, которые приводят к совпадению или близкому к резонансному взаимодействию колебаний и вибраций оборудования, тепловыделяющих сборок (ТВС) и тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) с собственными частотами колебаний давления теплоносителя (СЧКДТ).

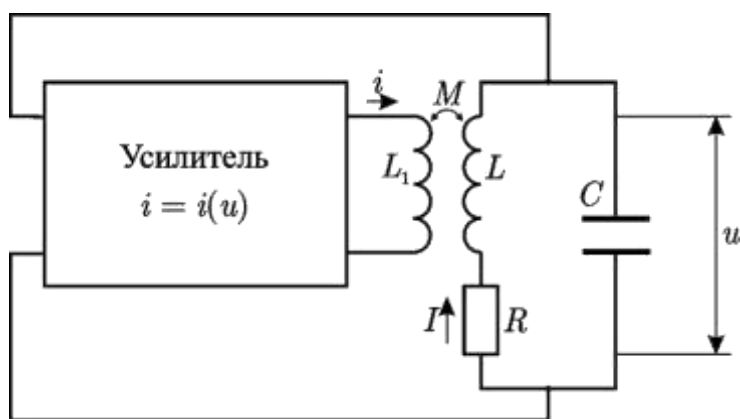


Рисунок 1 – Схема радиотехнического генератора автоколебаний.  
 $M$  - взаимная индуктивность,  $R$ - омическое сопротивление,  $L$ -индуктивность,  $C$  – ёмкость

Одной из наиболее актуальных проблем атомной энергетики является разработка методов, технических и программных средств раннего выявления и предотвращения режимов эксплуатации, которые могут привести к совпадению или близкому к резонансному взаимодействию колебаний и вибраций оборудования с собственными частотами колебаний давления теплоносителя (СЧКДТ), уникальный для тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) и тепловыделяющих сборок (ТВС). Датчики в разных местах первичного контура фиксируют эти вибрации, которые затем вызывают вибрации оборудования и отдельных его узлов. Эти колебания усиливаются, если СЧКДТ попадает в полосу пропускания собственных колебаний оборудования или элементов его конструкции. Возникающая вибрационная нагрузка может привести к повреждению трубопроводных систем ТВС и структурного оборудования [2].

Главными циркуляционными насосами считаются основные источники колебаний давления теплоносителя. При вращении этих насосов в спектре пульсаций давления возникают комбинации частот и кратные их оборотной частоте вращения. На сегодняшний день в нормативной документации не уделено достаточного внимания ни предпосылкам их предотвращения, ни процессам резонансного взаимодействия колебаний теплоносителя с вибрациями оборудования атомных электростанций (АЭС). Одним из главных приоритетов проектов АЭС нового поколения является безаварийная работа АЭС в маневренных режимах, которая обеспечивается при одновременном повышении эффективности и срока службы оборудования. Обязательно обеспечить применение штатных автоматизированных систем управления АЭС с ВВЭР для предотвращения условий эксплуатации, приводящих к увеличению вибраций, вызванных возникновением виброакустических резонансов (ВАР) в первом контуре АЭС с ВВЭР-1000. Это можно сделать путем внесения положений в правила эксплуатации.

В сотрудничестве с Нововоронежской АЭС, сотрудниками кафедры АЭС [1,2] выполнена верификация цифрового акустического двойника (ЦАД) ВВЭР-1200.

Верификация проводилась с использованием новых подходов, разработанных коллективом Нововоронежской АЭС в целях организации работы по требованиям к приборному парку и технической диагностике, при этом также было учтено использование современных цифровых технологий. Все данные, которые были экспериментально зафиксированы на энергоблоках ВВЭР-1200 на этапах пусковых операций в штатном режиме с использованием мобильных прецизионных регистраторов и комплексных программно-аппаратных комплексов. Все приборы имеют действующие сертификаты и регулярно проходят метрологическую поверку.

Тот факт, что экспериментальные данные могут быть воспроизведены столько раз, сколько необходимо, а также использование надежных экспериментальных методов для того, чтобы впервые на ранней стадии обнаружить эффекты, которые ранее были неизвестны

при нормальной эксплуатации атомных электростанций, являются ключевым фактором, поддерживающим достоверность результатов проверки, результат, который качественно и количественно соответствует результатам исследований, проведенных другими авторами [3]. В процессе верификации установлено, что акустические колебания управляют нейтронными и тепло - гидравлическими шумами в реакторе, поскольку показания датчиков пульсаций давления фиксирующих СЧКД в местах их расположения соответствуют изменениям мощности ядерного реактора [3,4].

Эти результаты подтвердили гипотезу Проскурякова о том, что акустические колебания управляют шумовыми сигналами, обусловленными нейтронно-физическими и тепло-гидравлическими процессами, а также правомерность расчета частоты акустических колебаний в конкретном участке первого контура по предложенной им формуле (2):

$$f = a/2\pi l, \quad (2)$$

где  $f$  - частота Гц,  $a$  - скорость звука м/с,  $l$  – длина участка м.

Проводя исследования в области гидродинамики и акустики, всякий раз, когда необходимо решить задачу или создать цифровой акустический двойник ВВЭР, мы сталкиваемся с проблемой, которая возникает из-за отсутствия математически подготовленных моделей, которые может объяснить механизм процесса возникновения автоколебаний внутри акустической системы первого контура, а также провести анализ системного эффекта, что считается одним из очевидных недостатков программного пакета Simcenter STAR CCM+. Можно подумать, что акустические свойства системы представляют собой просто сумму свойств колебательных процессов каждого отдельного акустического элемента, составляющего эту систему, но в противоположность этому будут отмечаться новые свойства, которых раньше не было у каждого в отдельности. в системе в целом. Это связано с тем, что в системе появляются беспрецедентные качественные эффекты за счет интеграции свойств в акустической системе первого контура, эти эффекты можно выявить по нелинейной зависимости перепада давления от массового расхода внутри контурных элементов.

Измерение частоты АСВ генерируемой в трубопроводе соединяющей реактор с горячим коллектором парогенератора позволило по формуле (2) впервые определить скорость звука в двухфазном потоке со структурой, в виде струи движущейся в верхней части поперечного сечении этого трубопровода. Таким образом, впервые в мире была идентифицирована структура двухфазного потока на выходе из реактора ВВР-1200. Следует отметить, что справочные материалы предоставляют данные о скорости звука в гомогенных пароводяных средах и поэтому непригодны для использования при иных структурах двухфазных потоков возникающих в РУ АЭС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проскуряков, К.Н. Теплогидравлическое возбуждение колебаний теплоносителя во внутрикорпусных устройствах ЯЭУ / К.Н. Проскуряков – Москва : МЭИ, 1984. – 68 с.
2. Proskuryakov K.N. Verification of a reactor's digital acoustic model in the startup and nominal operation modes of NPPs equipped with VVER reactors / K.N. Proskuryako, A.V. Anikeev, E. Afshar // Thermal engineering – 2021. – Т. 68. – С. 834-840.
3. Аркадов Г.В. Анализ «быстрых» шумовых измерений динамических процессов ВВЭР / Г.В. Аркадов, В.И. Павелко, М.Т. Слепов // Известия вузов. Ядерная энергетика – 2023. – № 4. – С. 19-36.
4. Проскуряков К.Н. Разработка методов и средств повышения экологической, радиационной и промышленной безопасности АЭС с ВВЭР-1200 / К.Н. Проскуряков, М.С. Хвостова // Глобальная ядерная безопасность – 2024. – Т. 14 – № 1. – С. 31–38.

## АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ КАЛИБРОВКИ И ПОВЕРКИ МАНОМЕТРОВ

**Карпенко А.Я.**

*Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования  
«Техническая академия Росатома», Обнинск, Россия  
AYKarpenko@rosatom.ru*

**Аннотация.** В работе представлены результаты сравнительного анализа алгоритмов калибровки манометров европейских стран, алгоритмы калибровки и поверки российских организаций. Предлагается новое уравнение измерений на основе аддитивной модели погрешности, алгоритмы калибровки с учетом требований по точности манометров. Приводится анализ результатов обработки экспериментальных данных по методикам калибровки и поверки манометров различных производителей.

**Ключевые слова:** калибровка средств измерений, поверка средств измерений, неопределенность измерений, бюджет неопределенности, анализ алгоритмов обработки результатов измерений.

## ANALYSIS OF CALIBRATION AND VERIFICATION ALGORITHMS FOR PRESSURE GAUGES

**Karpenko A.Y.**

*Autonomous non-profit organization of Additional Professional Education "Rosatom Technical Academy",  
Obninsk, Russia  
AYKarpenko@rosatom.ru*

**Abstract.** The paper presents the results of a comparative analysis of calibration algorithms of European countries, calibration and verification algorithms of Russian organizations. The paper proposes a new measurement equation based on an additive model error and new calibration algorithms, taking into account the accuracy requirements of pressure gauges. The paper presents the analysis of the results of processing experimental data on the methods of calibration and verification of pressure gauges from various manufacturers.

В настоящее время для обеспечения прослеживаемости и обеспечения единства измерений актуальным вопросом является разработка методик калибровки средств измерений, вычисление оценок неопределенностей измерений [1-5]. Особенно актуальным стал вопрос разработки и применения методик калибровки для строящихся АЭС за рубежом российского дизайна. На отечественных АЭС принято использовать методики поверки для подтверждения исправности средств измерений, однако в других странах для этого, как правило, используют методики калибровки. Необходимо выполнить анализ концептуальных подходов, алгоритмов для разработки методик калибровки, которые будут признаны национальными органами по аккредитации зарубежных стран.

Измерение давления является одним из самых распространенных видов измерения, поэтому в ряде работ рассмотрены вопросы разработки алгоритмов калибровки манометров [1-3]. Общие вопросы и проблемы разработки методик калибровки, алгоритмы вычисления неопределенностей рассмотрены в [4,5]. В настоящей работе сформулировано новое уравнение измерений, основанное на аддитивной модели погрешности измерений

$$\hat{X}_{ij} = X_{ij} + \hat{\Theta}_j + \hat{R}_{ij} \quad (1)$$

где :  $\hat{X}_{ij}$  – измеренное значение,  $X_{ij}$  – истинное значение

$\hat{\Theta}_j$  – оценка систематической составляющей погрешности

$\hat{R}_{ij}$  – оценка случайной составляющей погрешности

Систематические и случайные составляющие вычисляются следующим образом

$$\hat{\Theta}_j = \bar{X}_{ij} - X_{ej} \quad (2)$$

$$\hat{R}_{ij} = \sum \Delta F_{ij} \quad (3)$$

где:  $\bar{X}_{ij}$  - средние значения,  $X_{sj}$  - эталонные значения, символы  $i, j$  – из рисунка 1.

$\Delta F_{ij}$  - факторы, определяющие случайную составляющую погрешности (сходимость, воспроизводимость, вариация, отклонение нуля).

Рассмотрены варианты измерений, которые зависят от требований к точности и трудоемкости выполнения процедур:

Вариант №1 – «быстрая калибровка» - относительная погрешность более 0,6%, один цикл измерений, (5-7) эталонных значений давления.

Вариант №2 – калибровка «средней точности» - относительная погрешность от 0,1% до 0,6%, полтора цикла измерений, 9 эталонных значений давления.

Вариант №3 (рисунок 1) - «точная калибровка» - относительная погрешность менее 0,1%, два цикла измерений, 9 эталонных значений давления.

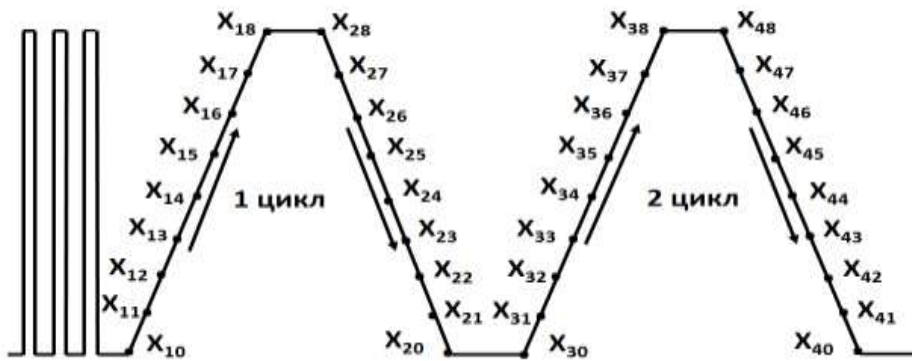


Рисунок 1 – Схема измерений по варианту №3 - «точная калибровка»

Вычисляются оценки суммарной погрешности измерений в каждой  $j$ -ой точке

$$\hat{\Delta}_j = \hat{\Theta}_j + \hat{\Delta}_0 + \hat{\Delta}_{схj} + \hat{\Delta}_{варj} \quad (4)$$

В докладе приводится описание и аналитические выражения вычисления систематических составляющих погрешности  $\hat{\Theta}_j$ , «отклонение нуля»  $\hat{\Delta}_0$ , сходимости  $\hat{\Delta}_{схj}$ , вариации  $\hat{\Delta}_{варj}$ .

Определяется бюджет неопределенности и вычисляются расширенные неопределенности в каждой  $j$ -ой точке

$$U_{pj} = 2\sqrt{U_s^2 + U_r^2 + U_0^2 + U_{схj}^2 + U_{варj}^2} \quad (5)$$

В докладе приводится описание и аналитические выражения вычисления стандартных неопределенностей:  $U_s$  - эталона,  $U_r$  - единицы младшего разряда калибруемого манометра,  $U_0$  - «отклонения нуля»,  $U_{схj}$  - сходимости,  $U_{варj}$  - вариации.

Вывод о годности манометра делается на основании выполнения неравенства в каждой  $j$ -той точке измерения

$$\left| \hat{\Delta}_j \right| + U_{pj} \leq \Delta_{донj} \quad (6)$$

Где:  $\Delta_{донj}$  - предел допускаемой абсолютной погрешности манометра.

В докладе приводится анализ методик поверки манометров, начиная с методик СССР, например, МИ 925-85 до настоящего времени, например, ГОСТ Р 8.905-2015 и др. В методиках поверки как правило выполняется (5-7) измерений с одним циклом повышения и снижения давления как показано на рисунке 1 и соответствует варианту калибровки №1,

который был рассмотрен выше. В методиках поверки манометров, как правило, оцениваются в каждой поверяемой отметке шкалы:

- абсолютные или приведенные характеристики погрешности измерения;
- вариации измерений.

Каждая из этих метрологических характеристик не должна превышать установленных пределов допускаемой абсолютной или приведенной погрешности. Целесообразно сравнить границы принятия решения о годности манометров по методикам поверки и методикам калибровки на реальных экспериментальных данных. В основу сравнения были положены протоколы измерений по методикам поверки различных типов манометров из различных организаций. В докладе приводится анализ обработки результатов измерений семи организаций Госкорпорации «Росатом». На рисунке 2 показан пример результатов обработки данных для манометра МП4-У. В методике поверки установлено семь уровней давления от 0 до 6 кгс/см<sup>2</sup>. Процесс измерений соответствует одному циклу измерений. Верхняя сплошная линия соответствует пределу допускаемой абсолютной погрешности  $\Delta_{доп}$ , средняя линия (штриховая) построена по значениям  $|\hat{\Delta}_j| + U_{pj}$  методики калибровки, нижняя линия (точечная) построена по значения сумм абсолютной погрешности и вариации методики поверки.

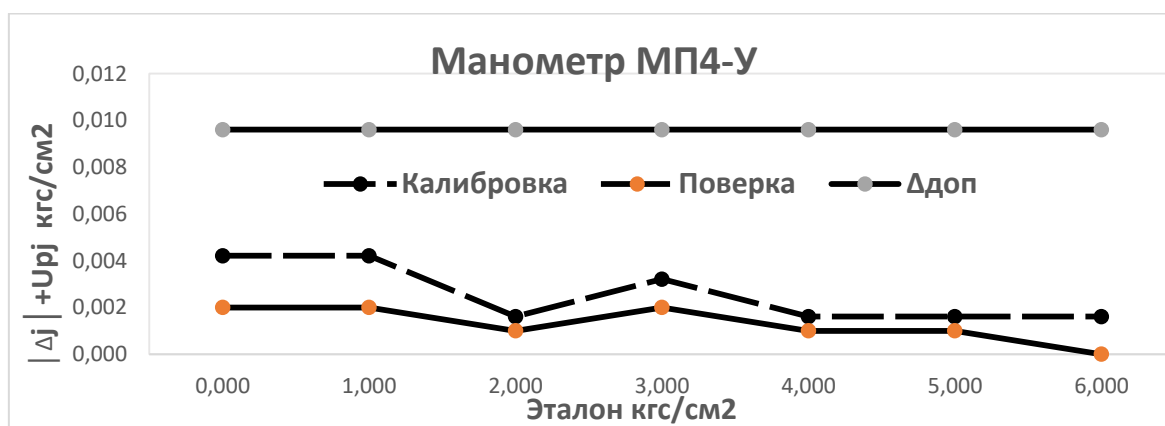


Рисунок 2 – Результаты обработки данных для манометра МП4-У

Из рисунка 2 следует, что методики калибровки манометров являются «более жёсткими» для принятия решения о годности чем методики поверки.

Исследования и анализ различных алгоритмов обработки данных выполненных в данной работе позволяют разработать методику калибровки манометров с учетом требований по точности. Автор данной работы планирует разработать методику калибровки манометров и направить ее на экспертизу в метрологическую службу АО «Концерн Росэнергоатом» и метрологическую службу Госкорпорации «Росатом».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методическая инструкция DKD-R 6-1 Калибровка приборов для измерения давления, выпуск 08/2019, редакция 0, Национальный метрологический институт Германии, Брауншвейг и Берлин. Режим доступа: <https://doi.org/10.7795/550.20180828AIRU> (дата обращения: 17.07.2024).
2. A.V. Ega, R.R.A. Samodro. Analysis on the influence of pressure adjustment reference in pressure gauge calibration based on DKD-R 6-1: 2014 guideline. Instrumentasi, Vol.41 No.1, 2017, p.1-9. Режим доступа: <https://doi:10.14203/instrumentasi.v41i1.82> (дата обращения: 17.07.2024).
3. Мольков В.Ф., Кутяйкин В.Г., Зеленцов С.Г., Гейгер Е.Ю. Алгоритм расчета неопределенности измерений при калибровке манометра. Компетентность. – 2022. – № 1. – С. 26-32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/xrbmof> (дата обращения: 17.07.2024).
4. Николаева Е.А., Николаев А.В. Алгоритм расчета неопределённости при проведении калибровки средств измерений. Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 5(123). – С. 162-168. Режим доступа: <https://elibrary.ru/ztslsgf> (дата обращения: 17.07.2024).

5. Шевердин А., Ершов Д., Грибов В., Богданова Н. Проблемы разработки методик калибровки средств измерений в Российской Федерации. Сборник статей участников III Международной научно-практической конференции молодых ученых (Екатеринбург, 25 ноября 2021 г.). – Издательский дом «Ажур»: Екатеринбург. – 2021. – С. 306-314. Режим доступа: <http://elar.urfu.ru/handle/10995/108642> (дата обращения: 17.07.2024).

УДК 004.75

## ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОГО И МИНИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ИНТЕРФЕЙС CAN FD

Муженко А.С.<sup>1</sup>, Лачин В.И., Плотников Д.А.

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)*

*имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия*

<sup>1</sup>*muzhenko97@mail.ru*

**Аннотация.** В работе приведена модульная структура информационно-измерительной и управляющей системы и указан фактор, существенно влияющий на эффективность работы подобных систем – нагрузка на интерфейс межмодульного взаимодействия (ИММВ). Обоснована важность и поставлена задача определения времени передачи сообщения для ИММВ CAN FD. Составлены выражения для определения минимального и максимального времени передачи сообщений на основе спецификации интерфейса CAN FD, с учётом дополнительных битов. Сделаны выводы по использованию составленных выражений в имитационной модели модульного регистратора событий.

**Ключевые слова:** интерфейс CAN FD, модульная структура, информационно-измерительная система, управляющая система, интенсивность потоков сообщений, нагрузка сети, взаимодействие модулей.

## ESTIMATION OF THE MAXIMUM AND MINIMUM MESSAGE TRANSMISSION TIME IN INFORMATION MEASURING AND CONTROL SYSTEMS USING THE CAN FD INTERFACE

Muzhenko A.S.<sup>1</sup>, Lachin V.I., Plotnikov D.A.

*Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia*

<sup>1</sup>*muzhenko97@mail.ru*

**Abstract.** The paper presents the modular structure of the information measuring and control system and indicates a factor that significantly affects the efficiency of such systems - the load on the interface of intermodular interaction. The importance is justified and the task of determining the time of transmission of a message for the CAN FD is set. Expressions have been compiled to determine the minimum and maximum message transmission time based on the CAN FD interface specification, taking into account additional bits. Conclusions are drawn on the use of compiled expressions in the simulation model of a modular event logger.

**Keywords:** CAN FD interface, modular structure, information and measurement system, control system, message flow rate, network load, module interaction.

На сегодняшний день универсальные информационно-измерительные и управляющие системы (ИИУС), используемые в электроэнергетической отрасли, имеют, как правило, модульную структуру (рисунок 1), которая обеспечивает возможность адаптации ИИУС к разнообразным объектам за счёт установки необходимого количества модулей ввода-вывода. Существенным фактором, ограничивающим диапазон адаптации, является нагрузка на интерфейс межмодульного взаимодействия (ИММВ), определяемая отношением суммы интенсивностей  $\lambda_i$  потоков сообщений от модулей ИИУС к интенсивности их передачи интерфейсом  $\mu$ :

$$y = \frac{1}{\mu} \sum_{i=0}^N \lambda_i \quad (1)$$

Если нагрузка у станет больше единицы, то возникнет вероятность недопустимо долгого ожидания передачи низкоприоритетных сообщений или потери некоторой их части и, как следствие, неправильной работы ИИУС.

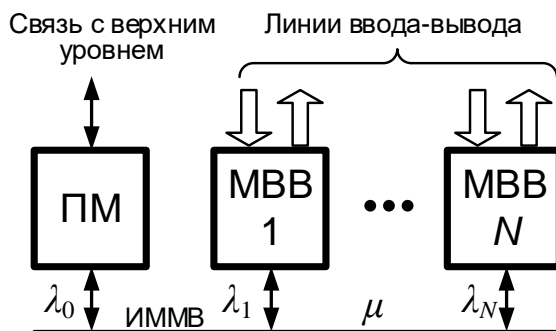


Рисунок 1 – Модульная структура ИИУС  
 ПМ – процессорный модуль;  
 МВВ – модули ввода-вывода;  
 $\lambda_i$  – интенсивность потока сообщений  $i$ -го модуля,  
 $\mu$  – интенсивность передачи сообщений по ИММВ.

Для шинной топологии выбор ИММВ и протокола взаимодействия определяет интенсивность передачи  $\mu$ , которая в этом случае вычисляется как  $\mu=1/b$ , где  $b$  – время, за которое передается одно сообщение. Следовательно, возникает задача определения границ времени передачи одного сообщения в процессе функционирования ИИУС. Решение этой задачи позволит оценить нагрузку на ИММВ на ранних этапах проектирования ИИУС и, как следствие, сконфигурировать модульную системы для её корректной работы.

Одними из наиболее распространённых, и хорошо зарекомендовавших себя ИММВ являются интерфейсы CAN и CAN FD [1]. Интерфейс CAN достаточно полно исследован, один из методов оценки времени передачи сообщений при его использовании разработан авторами и описан в [2]. Однако, возрастающие требования к количеству передаваемой информации в ИИУС и, как следствие, к пропускной способности ИММВ приводят к необходимости использования усовершенствованной версии CAN – CAN FD. Структура сообщений CAN FD отличается от сообщений CAN и требует иного подхода к оценке времени передачи. Известный метод оценки [3] является недостаточно точным, т.к. его авторы базировались на первой версии описания интерфейса CAN FD, в которое позже вносились изменения. Кроме того, в [3] не рассмотрен расширенный формат сообщений и не принято во внимание наличие битов-разделителей. Перечисленные недостатки являются поводом для создания более совершенного метода оценки времени передачи сообщений CAN FD, основные выражения для которого получены авторами и приведены далее.

На основе [1] были проанализированы стандартный и расширенный форматы сообщений CAN FD (рисунок 2).



Рисунок 2 – Форматы сообщений CAN FD типа Data Frame

Сообщения содержат определенный набор полей, полное описание которых дано в [4]; здесь же приведены лишь основные сведения, необходимые для оценки времени передачи.

Из анализа форматов сообщения следует, что функция  $N_{DATA}(DLC)$ , связывающая количество бит в поле данных с целочисленным значением поля DLC, является кусочно-линейной:

$$N_{DATA}(DLC) = \begin{cases} 8DLC, & 0 \leq DLC \leq 8 \\ 32DLC - 192, & 9 \leq DLC \leq 12 \\ 128DLC - 1408, & 13 \leq DLC \leq 15 \end{cases} . \quad (2)$$

Количество битов поля CRC с учётом дополнительных битов, добавляемых технологией *bit stuffing* [1], определяется следующим выражением:

$$N_{CRC}(DLC) = \begin{cases} 28, & DLC \leq 10 \\ 33, & DLC > 10 \end{cases} . \quad (3)$$

Общее количество битов в полях арбитража  $N_0$  (SOF, 11-bit ID, r1, IDE, EDL, r0, BRS, ACK, ACK Delimiter, EOF, IFS, а также, 18-bit ID и SRR) и полях данных  $N_1$  (ESI, DLC, CRC, и «Данные»), см. рисунок 2, можно вычислить с использованием следующих выражений:

$$N_0(IDE) = 29 + 19 \cdot IDE , \quad (4)$$

где IDE – значение поля, задающего формат сообщения (для стандартного формата IDE = 0, для расширенного IDE = 1).

$$N_1(DLC) = 5 + N_{DATA}(DLC) + N_{CRC}(DLC) . \quad (5)$$

Поскольку в CAN FD поля арбитража и данных передаются с разными скоростями ( $Baud_N$  и  $Baud_D$  соответственно), суммарное время передачи битов полей арбитража и полей данных будет равно  $N_0T_N + N_1T_D$ , где  $T_N = 1/Baud_N$ ,  $T_D = 1/Baud_D$ .

Минимальное время передачи одного сообщения с учетом (4) и (5) в наиболее благоприятном случае, когда количество дополнительных битов равно нулю (за исключением учтённых в (3)), можно вычислить по формуле:

$$T_{DF\_MIN} = N_0T_N + N_1(T_N + (T_D - T_N)BRS) , \quad (6)$$

где BRS – значение поля, определяющего необходимость переключения скорости с  $Baud_N$  на  $Baud_D$  (при BRS = 0 переключение скорости не выполняется, при BRS = 1 – выполняется).

Наименее благоприятный случай, а, следовательно, и максимальное время передачи сообщения, возникает при максимальном количестве дополнительных битов в полях арбитража и данных. Обозначим эти количества  $N_{0S}$  и  $N_{1S}$  соответственно:

$$N_{0S}(IDE) = 2 + 4 \cdot IDE . \quad (7)$$

$$N_{1S} = \lfloor N_{DATA}(DLC)/5 \rfloor + A + (1 - BRS)B . \quad (8)$$

Выражение для нахождения максимального времени доставки сообщения, с учётом (6), (7) и (8) можно записать как:

$$T_{DF\_MAX} = (N_0 + N_{0S})T_N + (N_1 + N_{1S})(T_N + (T_D - T_N)BRS) . \quad (9)$$

Использование выражений (6) и (9) в имитационной модели модульного регистратора событий позволило определить, что замена ИММВ с CAN на CAN FD снижает нагрузку на сеть в два раза, что даёт возможность в зависимости от специфики объекта мониторинга либо добавить в регистратор дополнительные модули, либо повысить частоту их опроса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CAN with Flexible Data-Rate; Version 1.1. Aug.2011 / Robert Bosch GmbH. – URL: [https://www.semiconductors.bosch.de/media/pdf/.../canliteratur/can\\_fd.pdf](https://www.semiconductors.bosch.de/media/pdf/.../canliteratur/can_fd.pdf) (accessed: 02/25/2023).
2. Плотников, Д.А. Оценка времени отклика элементов в модульных информационно-измерительных и управляющих системах, использующих интерфейс CAN / Д.А. Плотников // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2017. – № 1. – С. 13 18. doi: 10.17213/0321-2653-2017-1-13-18

3. R.De Andrade, K.N.Hodel, J.F.Justo, A.M.Laganá, M.M.Santos and Z.Gu. Analytical and Experimental Performance Evaluations of CAN-FD Bus // IEEE Access, vol. 6, pp. 21287-21295, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2826522.
4. ISO 11898-1:2015 Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 1: Data link layer and physical signalling. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/63648.html> (дата обращения: 16.07.2024).

УДК 621.039.515

## МНОГОУЗЛОВАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ РЕАКТОРА ВВЭР-1200 ДЛЯ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

**Правосуд С.С.**

*Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Техническая академия Росатома», Обнинск, Россия  
ssepravosud@rosatom.ru*

**Аннотация.** В работе предлагается многоузловая модель динамики реактора ВВЭР-1200 для синтеза системы автоматического регулирования. Модель включает в себя сопряженные узлы для описания нейтронно-физических и теплогидравлических процессов. Также в качестве управляющего воздействия используется изменение концентрации борного поглотителя в теплоносителе первого контура. Полученные результаты моделирования согласуются с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** ВВЭР-1200, динамика реактора, синтез системы автоматического регулирования

## MULTINODAL DYNAMICS MODEL OF THE VVER-1200 NUCLEAR REACTOR FOR CONTROL SYSTEM DESIGN

**Pravosud S.S.**

*Autonomous non-profit organization of Additional Professional Education "Rosatom Technical Academy",  
Obninsk, Russia  
ssepravosud@rosatom.ru*

**Abstract.** In this work, the multinodal dynamic model of the VVER-1200 nuclear reactor for control system design is proposed. The model consists of coupled neutronics and thermal hydraulics processes. Additionally, as a control input signal, changing of boron concentration in the primary circuit of coolant is used. Obtained results are consistent with experimental data.

**Keywords:** VVER-1200, reactor dynamics, control system design

В теории автоматического управления математическая модель объекта традиционно задается в виде передаточной функции или форме пространства состояний. Такие модели в большинстве случаев адекватно отображают поведение реальной системы и позволяют производить синтез системы автоматического регулирования желаемого параметра. Однако, если помимо зависимости какого-либо параметра от времени интерес вызывает пространственное изменение данного параметра, то нельзя ограничиться только обыкновенным дифференциальным уравнением (ОДУ), а необходимо рассматривать дифференциальное уравнение в частных производных (ДУЧП) [1]. Например, уравнение распределения тепла в стержне (ТВЭЛ) имеет вид (1):

$$C_p \rho \frac{\partial z(x, t)}{\partial t} = K_0 \frac{\partial^2 z(x, t)}{\partial x^2}, x \in (0, L), t \geq 0 \quad (1)$$

где  $C_p$  – удельная теплоемкость,  $\rho$  – плотность стержня,  $K_0$  – теплопроводность стержня,  $L$  – длина стержня.

В работе [1] также показано, что получить передаточную функцию для систем с распределенными параметрами такими как (1) в целом возможно, однако ее вид, и

соответственно, расположение нулей и полюсов передаточной функции, сильно зависит от выбора граничных условий.

Ядерный реактор является сложным нелинейным объектом управления, в котором изменение технологических параметров таких как плотность потока нейтронов, температуры теплоносителя и ТВЭЛов, концентрация борной кислоты происходит не только во времени, но и в пространстве, при этом все процессы взаимосвязаны. В работе [2] предложена гибридная стратегия для моделирования переходных процессов, используя комбинацию метода Монте-Карло (RMC) для нейтронно-физических процессов, и теплогидравлических процессов кодом COBRA-TF. Однако, сложные модели, лежащие в основе таких кодов, не могут быть использованы для синтеза систем автоматического регулирования технологических параметров реактора.

В связи с перечисленными сложностями получили распространение многоузловые модели ядерных реакторов [3, 4], состоящие из совокупности точечных моделей, связанных между собой. В работе [5] предложены многоузловые модели реактора ВВЭР-1200, состоящие из различных совокупностей точечных моделей (от двух до десяти), которые показали удовлетворительный результат в исследовании режима следования за нагрузкой в сравнении с тренажером. Однако, математические модели, рассмотренные в [5], были охвачены лишь мощностной обратной связью, то есть явные модели теплогидравлических процессов рассмотрены не были. Более того, ни одна из работ [3-5] не включает в себя изменение мощности путем изменения концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура.

В настоящей работе автором предложена следующая многоузловая математическая модель реактора ВВЭР-1200, представленная для 4 зон - узлов на рисунке 1:

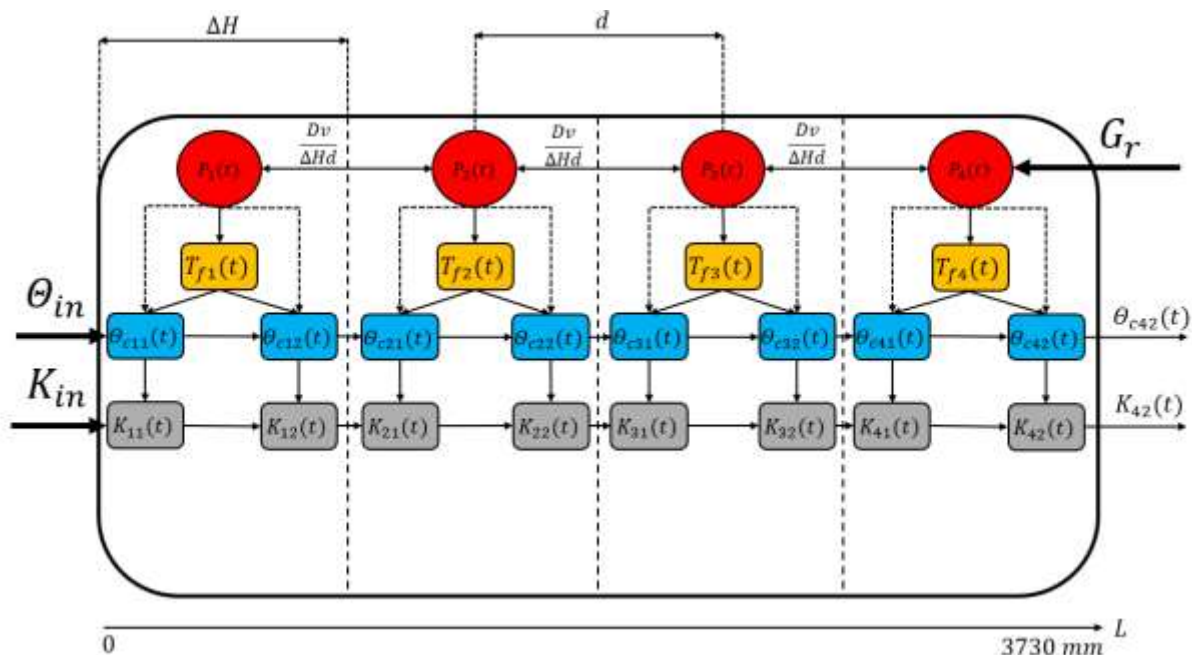


Рисунок 1 – Предложенная многоузловая математическая модель реактора ВВЭР-1200

где  $P_i(t)$  – мощность, выделяемая в  $i$ -ом узле,  $T_{fi}(t)$  – температура ТВЭЛ в  $i$ -ом узле,  $\theta_{cij}(t)$  – усредненная поперек канала теплоносителя температура нижней половины в  $i$ -ом узле,  $\theta_{cij+1}(t)$  – усредненная поперек канала теплоносителя температура верхней половины в  $i$ -ом узле,  $K_{ij}(t)$  – усредненная поперек канала теплоносителя концентрация борной кислоты нижней половины в  $i$ -ом узле,  $K_{i+1j}(t)$  – усредненная поперек канала теплоносителя концентрация борной кислоты верхней половины в  $i$ -ом узле.

Узлы связаны между собой следующим образом: мощность в  $i$ -ом узле связана с мощностью в  $i-1$  и  $i+1$  на основе диффузионного подхода ( $D$  – коэффициент диффузии тепловых нейтронов,  $v$  – скорость тепловых нейтронов); усредненная поперек канала теплоносителя температура верхней половины в  $i$ -ом узле служит входной температурой для усредненной поперек канала теплоносителя температуры нижней половины в  $i+1$ -ом узле; концентрация борной кислоты верхней половины в  $i$ -ом узле служит входной концентрацией для концентрации борной кислоты нижней половины в  $i+1$ -ом узле.

Для описания узла теплогидравлических процессов используется подход Р.Манна – к одному узлу ТВЭЛ примыкает два узла теплоносителя [6]. Данный подход (два узла борной кислоты для одного узла нейтронно-физических процессов) также был адаптирован для точечных моделей концентрации борной кислоты, полученных из ДУЧП конвекции растворенных веществ в геометрии канала теплоносителя [7]:

$$\frac{dK_b}{dt} + \frac{1}{A} \frac{d(K_b v_c A)}{dx} = 0 \quad (2)$$

где  $K_b$  – концентрация борного поглотителя,  $v_c$  – скорость движения теплоносителя,  $A$  – площадь канала теплоносителя.

Точечные модели концентрации борной кислоты непосредственно связаны с узлами теплогидравлических процессов через скорость движения теплоносителя, выраженной формулой (3):

$$v_c = \frac{G_c}{A\gamma_c} \quad (3)$$

где  $G_c$  – массовый расход теплоносителя через активную зону,  $\gamma_c$  – плотность теплоносителя.

Также исходя из рисунка 1 можно установить, что на модель оказывает непосредственное воздействие следующие переменные:  $G_r$  – интегральная эффективность ОР СУЗ в узле  $i$ ,  $\theta_{in}$  – температура теплоносителя на входе в активную зону (температура в холодных нитках петель первого контура) и  $K_{in}$  – изменение концентрации борного поглотителя в первом контуре, а выходными параметрами является мощность, выделяемая в узлах, температура теплоносителя в горячих нитках петель первого контура, и концентрация борного поглотителя на выходе из активной зоны.

Полученные результаты моделирования были верифицированы с данными многофункционального тренажера реактора ВВЭР-1200 (АНО ДПО Техническая академия Росатома) в режиме следования за нагрузкой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Curtain, K. Morris. Transfer functions of distributed parameter systems: A tutorial. *Automatica* 45 (2009) 1101–1116. doi:10.1016/j.automatica.2009.01.008
2. J. Guo, S. Liu, X. Shang, S. Huang, K. Wang Coupled neutronics/thermal-hydraulics analysis of a full PWR core using RMC and CTF. *Annals of Nuclear Energy* 109 (2017) 327–336. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anucene.2017.05.041>
3. Z. Dong, X. Huang, L. Zhang A nodal dynamic model for control system design and simulation of an MHTGR core. *Nuclear Engineering and Design* 240 (240), 1251-261. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2009.12.032>
4. P.F. Wang, Y. Liu, B.T. Jiang, J.S. Wan, F.Y. Zhao Nodal dynamics modeling of AP1000 reactor for control system design and simulation. *Annals of Nuclear Energy* 62 (2013) 208 – 223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anucene.2013.05.036>
5. Правосуд С.С., Якубов Я.О., Сусакин В.А. Многоточечная модель кинетики с мощностным эффектом реактивности для контроля аксиального офсета реактора ВВЭР-1200 в режиме следования за нагрузкой. *Глобальная Ядерная Безопасность*. 2024;(2):73-90. <https://doi.org/10.26583/gns-2024-02-07>. EDN: LQRKEU
6. Правосуд С.С., Маслаков Д. С., Якубов Я. О., Овчеренко А.А. Верификация модели динамики ядерного реактора ВВЭР-1200, состоящей из одного топливного узла, примыкающего к двум узлам теплоносителя. *Глобальная Ядерная Безопасность*. 2023;48(3):82-95. <https://doi.org/10.26583/gns-2023-03-08>. EDN: YBZMTK

7. H. Yu, M. Wang, R. Cai, D. Zhang, W. Tian, S. Qiu, G.H. Su. Development and validation of boron diffusion model in nuclear reactor core subchannel analysis. *Annals of Nuclear Energy* 130 (2019) 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2019.02.046>

УДК 621.039.74

## ПРИМЕНЕНИЕ В СКУ АЭС ЦИФРОВОГО АЦП АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСТАНДАРТНОГО ТИПА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

**Разворотнев Д.А.**

*АО "Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии - Атомстрой" (АО "НИКИМТ-Атомстрой"), Москва, Россия*

*RazvorotnevDA@atomrus.ru*

**Аннотация.** В работе рассматриваются проблемы и недостатки применения импортных АЦП (аналогово-цифрового преобразователя) обработки аналогового сигнала. Предлагаются не стандартные схемотехнические решения операционного усилителя для систем СКУ (системы контроля и управления) с высокой и средней степени интеграции.

**Ключевые слова:** АЦП, СКУ, операционный усилитель.

## THE USE OF DIGITAL ADC ANALOG SIGNALS BASED ON AN OPERATIONAL AMPLIFIER USING A NON-STANDARD TYPE OF THE FEED-BACK IN THE NPP I&C SYSTEM

**Razvorotnev D.A.**

*Research and Development Institute of Construction Technology – Atomstroy, Joint-Stock Company (NIKIMT-Atomstroy JSC), Moscow, Russia*

*RazvorotnevDA@atomrus.ru*

**Abstract.** The paper considers the problem as well as disadvantages of using imported ADCs (analog-to-digital converter) for processing an analog signal. Non-standard circuit design solutions of an operational amplifier for I&C systems (Control and Instrumentation systems) with a high and medium degree of integration are offered.

**Keywords:** ADC, I&C, an operational amplifier.

На сегодняшний день в отечественной атомной энергетике существует проблема приобретения импортной электроники, модулей ввода-вывода, модулей CPU и прочих устройств для промышленной автоматизации ведущих производителей Японии, Германии и США. Данная ситуация заставила всех потребителей РФ в том числе и Атомную энергетику переориентироваться на внутренний рынок, при этом стоит отметить, что стандартные промышленные решения, предлагаемые на данный момент производителями весьма схожи с маркетинговыми решениями того же Siemens или Alstom, здесь подразумеваются модульность, отсутствие вариативности в решении задач т.е. отсутствие гибкости в интерфейсах, скоростях обмена пакетами данных и жесткая привязка к конкретному производителю от источника сигнала до верхнего уровня.

В нашем исследовании были поставлены следующие задачи:

- 1) получить изделие из доступных в продаже на территории РФ компонентов;
- 2) уйти от подхода в использовании цифровых шин с децентрализованной периферией требующих повторителей сигнала;
- 3) получить максимально референтное изделие с точки зрения себестоимости.

В рассматриваемых АО «НИКИМТ-Атомстрой» технических решениях были опробованы два варианта схем:

- 1 - принципиально отличный от стандартного подхода типа обратной связи ОУ;
- 2 – ОУ с периодической автоматической коррекцией дрейфа.

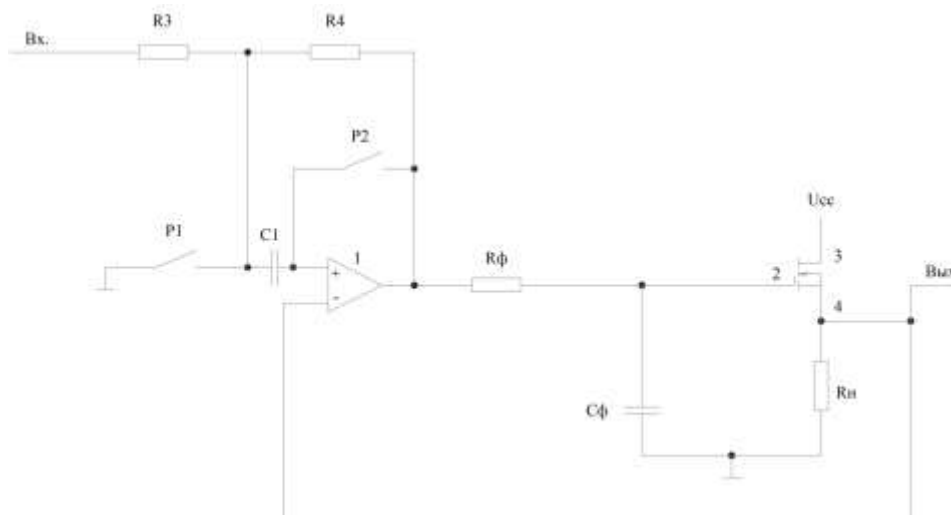


Рисунок 1 – Схема ОУ с коррекцией дрейфа

На рисунке 1 иллюстрирован подход коррекции дрейфа в автоматизированном режиме. Коррекция погрешности усилителя, как правило обусловлена напряжением смещения усилителя, по сути, предложенное решение основано на запоминании напряжения смещения на конденсаторе и вычитания запомненного напряжения из выходного напряжения операционного усилителя схемы.

Запоминание напряжения смещения  $U_{см}$  выполняется при замкнутых ключах P1 и P2 (на опытном образце использовался скоростной дискретный выход контроллера ПЛК-210, при этом полоса частот задается программно исходя из характеристик сигнала). Ключ P2 соединяет выход ОУ с инвертирующим выходом, благодаря чему реализуется повторитель напряжения, при этом коэффициент передачи равен

$$\frac{K}{(K+1)}$$

где  $K$  – коэффициент усиления. На выходе усилителя, а также на конденсаторе C1 устанавливается напряжение

$$\frac{U_{см} \times K}{(K+1)} \approx U_{см}$$

При последующем шаге работы усилителя ключи размыкаются и запомненное напряжение на конденсаторе C компенсирует напряжение смещения усилителя.

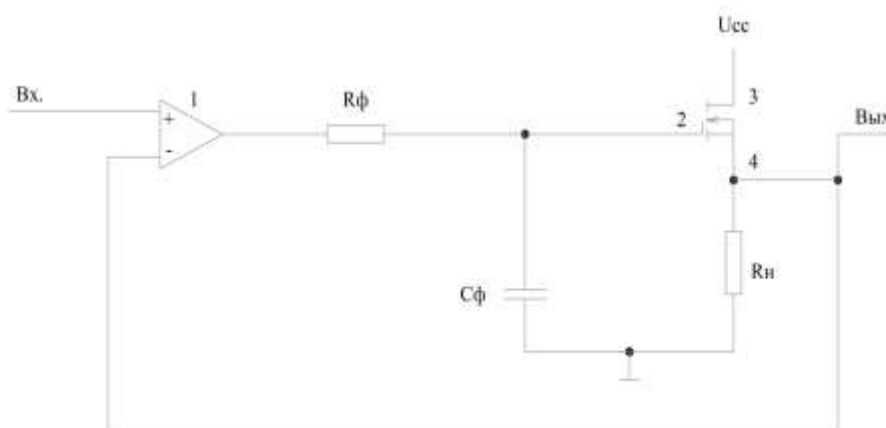


Рисунок 2 – Схема ОУ с обратной связью

На рисунке 2 иллюстрирован подход по отрицательной обратной связи. В основе использовались классические схемы построения каскада. В схемотехническом решении была добавлена обратная связь на МОП-транзисторе, при этом допустимо использование полевого транзистора это в свою очередь повысит экономическую эффективность и снизит себестоимость изделия.

Данное решение используется редко из-за его недостатков, а именно: необходимости точного согласования резисторов (при больших входных токах резисторы должны иметь минимальные значения) и определенных ограничений коэффициента КОСС операционного усилителя.

Для определения необходимого номинала сопротивления реализации обратной связи, в лабораторных тестах в схеме было дополнительно применено выборочное включение резисторов  $R_n$  с необходимым номиналом, коммутация необходимого сопротивления осуществлялась за счет скоростных дискретных ключей контроллера ОВЕН ПЛК-210. Значения входного тока определялось контроллером в канале аналогового входа, данное решение позволило определить диапазоны необходимых сопротивлений и в последствии уйти к схемному решению без использования ключей и контроллера ПЛК-210, также данное решение продемонстрировало отсутствие необходимости наличия входного модуля анализа токовых значений. Ко всему прочему, данное схемотехническое решение позволяет включать в схему дополнительные резисторы с отрицательными коэффициентами сопротивления.

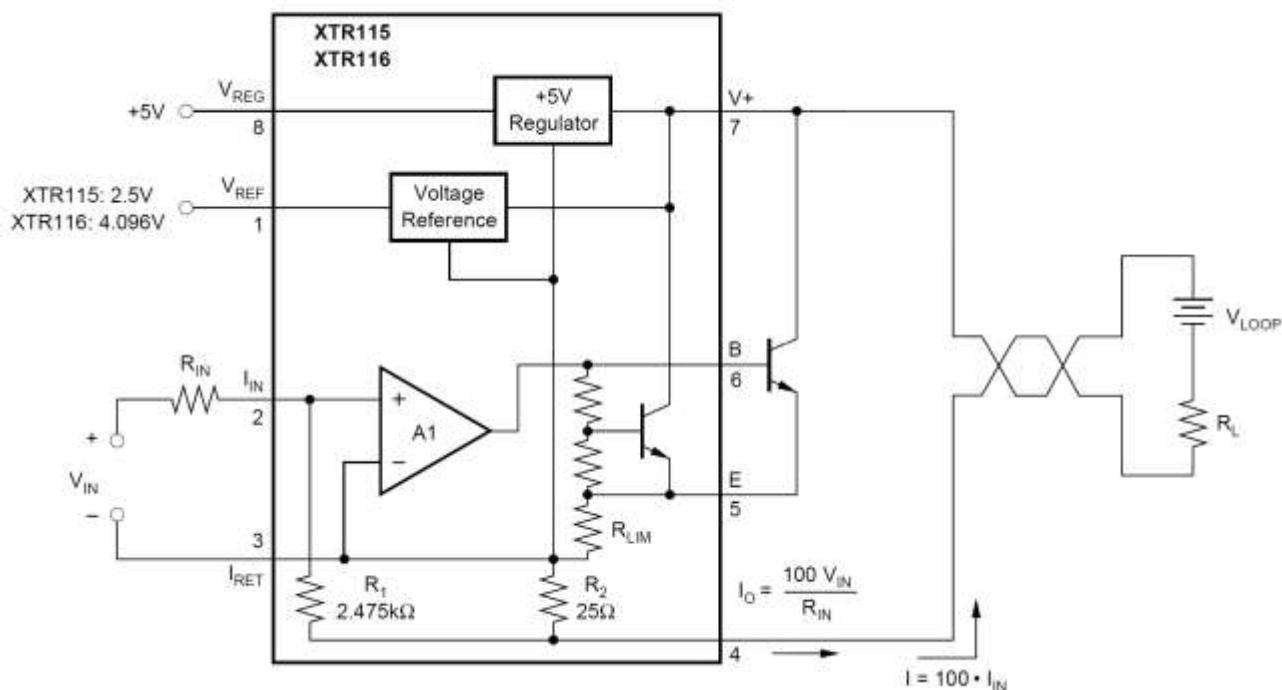


Рисунок 3 – Схема ОУ the Burr-Brown Products from Texas Instrument

На рисунке 3 продемонстрировано классическое решение обратной связи усилителя предлагаемых Burr-Brown Products from Texas Instrument. ОУ усиливает сигнал на резисторе  $R_2$  (при этом резистор подключен обратной связью), на резисторах  $R_1$  и  $R_{in}$  происходит суммирование токов, входного и по обратной связи, в свою очередь усилитель отслеживает потенциал в точке подключения резисторов  $R_{in}$  и  $R_1$ . Дополнительно Burr-Brown Products в приведенной схеме формуле расчета:

$$I_o = \frac{100 V_{in}}{R_{in}},$$

не указывает тот факт, что ток протекающий через  $R_{in}$  и  $R_1$  окажет влияние на схему и через измерительный резистор  $R_2$  ток протекать не будет, при этом это может привести к нелинейности в характеристики выходного сигнала.

Исходя из вышеизложенного, а также принимая во внимание термическое воздействие на плату в условиях эксплуатации АЭС, становится очевидным факт, что напряжение ошибки, подведенное ко входу усилителя, будет передаваться на выход схемы. Стоит отметить, что данная ошибка, при всех достоинствах этого решения, дезавуирует саму суть решения и напрямую зависит от температуры окружающей среды и как следствие самого изделия.

В предложенной к применению схемы показанной на рисунке 2, затвор транзистора соединен с выходом усилителя, выход соединен со стоком, а резистор подсоединен к истоку и цепью обратной связи, между выходом и затвором транзистора применен фильтр из конденсатора и резистора. При данном решении выходной сигнал усилителя имеет периодические варьирования от своего максимума до минимума, рабочая точка реализована на фильтре что позволяет гасить шумы на линии сигнала.

Во время лабораторных тестов каждое предложенное решение анализировалось отдельно, что позволило оценить качественные характеристики и показатели сигнала схемы с периодической коррекцией дрейфа и обратной связи не зависимо друг от друга.

Лабораторные изыскания управления разработки автоматизированных систем контроля и управления АО «НИКИМТ-Атомстрой» (далее – УРАСКУ) были направлены на определение оптимальной эффективной схемы операционного усилителя аналогового сигнала для автоматизированных систем АЭС, работающих в условиях жесткой электромагнитной обстановки, наряду с термическим и радиационным воздействием.

При проработке нескольких полезных моделей, и как следствие испытаний опытных образцов вышеуказанных решений, лаборатория УРАСКУ сфокусировалась на применении ОМ с отрицательной обратной связью, так как данное решение позволило значительно снизить НЧ шумы на выходе. ОМ может быть использована в любых измерительных каналах 4-20 мА систем АЭС для стационарной и не стационарной установки.

На данный момент в производстве данных изделий как правило используются микросхемы производителей The Burr-Brown Corporation was an American technology company in Tucson, Arizona USA - XTR115, а также применимый аналог компания Analog Devices, Inc. (ADI) Wilmington, Massachusetts USA - AD420 или аналоги, производимые на территории КНР. Стоит отметить, что данные микросхемы находятся в свободной продаже в магазинах электроники РФ, что напрямую свидетельствует о доступности элементной базы. В проработке лаборатории УРАСКУ были применены следующие основные компоненты:

- усилитель кр140уд1408;
- изоляторы данных шин SOIC-8 Digital Isolators ROHS CA-IS3721LS
- приемопередатчики для токовой петли 4...20мА - XTR115;
- микроконтроллер AT32F403, работающие на базе 32-разрядного ядра;
- термопара TCM-0879-01;
- контроллер ПЛК-210 – ОВЕН;
- резисторы – 10-100кОм.

Прототипом ОМ можно считать стр.44-46 [2], а также стр. 188 [1].

Таким образом, предлагаемое решение позволит решить аспект замещения импортных модулей аналогового ввода в системах СКУ АЭС, а также уйти от сложности реализации децентрализованной периферии в системах АСУ высокой степени интеграции за счет возможностей обмена пакетами данных по интерфейсу RS-485 до стабильно обеспечивающего скорость обмена 1 Мбод на расстоянии до 1000 м без использования повторителей на линии цифрового интерфейса, без ограничения вариативности применения смежных электронных элементов системы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники изд. 5-ое переработанное и дополненное / Хоровиц П., Хилл У. Москва: «Мир», 1998 г. – 704 с.
2. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – 2-е изд., переработ. и доп. / Гутников В.С. - Ленинградское отделение Энергоатомиздат 1988. – 304 с.
3. Гуна С., Уайтхауса Х., Кайлата Т. Сверхбольшие интегральные схемы и современная обработка сигналов / Гуна С., Уайтхауса Х., Кайлата Т. Москва «Радио и связь» 1989 – 471 с.
4. Burr-Brown Products from Texas - Instrument Current loop transmitters XTR115 (production data information) / SBOS124A – January 2000 – Revised November 2003 – 10 с.

УДК 004.414.23: 504.06

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГАММА-ПОЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

**Росновский В.С.<sup>1</sup>, Данилов А.Д.<sup>2</sup>**

*Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия*  
<sup>1</sup>rosnovskyvictor@yandex.ru; <sup>2</sup>danilov-ad@yandex.ru

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема прогнозирования радиационной обстановки на площадках промышленных предприятий. Предлагается ее решение. Приводится методика моделирования. Рассматриваются преимущества и недостатки разрабатываемого решения.

**Ключевые слова:** гамма-поля, радиационный контроль, численное моделирование.

### THE USE OF NUMERICAL METHODS FOR MODELING GAMMA FIELDS TO PREDICT THE RADIATION SITUATION AT INDUSTRIAL FACILITIES

**Rosnovskii V.S.<sup>1</sup>, Danilov A.D.<sup>2</sup>**

*Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia*  
<sup>1</sup>rosnovskyvictor@yandex.ru; <sup>2</sup>danilov-ad@yandex.ru

**Abstract.** The paper considers the problem of forecasting the radiation situation at the sites of industrial enterprises. Its solution is proposed. The modeling technique is given. The advantages and disadvantages of the developed solution are considered.

**Keywords:** gamma fields, radiation monitoring, numerical modeling.

Ключевая задача предприятий атомной промышленности – обеспечение радиационной защиты их персонала и окружающей среды.

Персонал радиационно-опасных объектов подразделяется на группы «А» и «Б», для которых проводится дозиметрический контроль [1], с использованием в том числе и групповых методов [2]. Согласно [3], радиационно-опасные объекты проектируются таким образом, чтобы мощность МАЭД на их промышленной площадке не превышал установленных значений. Тем не менее, для ряда случаев нормативными документами устанавливаются значительно большие значения МАЭД, создаваемых источниками ионизирующего излучения высокой эффективности, не нормальными для постоянных рабочих мест персонала. Таким образом, групповые методы не позволяют учитывать воздействие на людей полей гамма-излучения, не нормальных для постоянных рабочих мест, фактически имеющих вероятность быть на промышленных площадках радиационно-опасных объектов.

На текущий момент возможность прогнозирования изменений радиационной обстановки при проведении различных технологических операций достаточно условна. Процесс радиационного контроля на площадках радиационно-опасных объектов не является в достаточной мере оперативным, позволяющим принимать своевременные решения в области защиты персонала. Текущее положение дел не позволяет говорить о полноценной системе радиационной безопасности.

В настоящее время программное обеспечение, позволяющее моделировать радиационные поля на площадке радиационно-опасных объектов отсутствует. Создание такого обусловлено не только логичной необходимостью, но и развитием направления цифрового двойника АЭС – одной из актуальнейших тем исследований и практических разработок в области ядерной промышленности.

1. Комплексное программное моделирование гамма-полей на площадках радиационно-опасных объектов еще не проводилось. Имеются конкретные решения для некоторых источников ионизирующего излучения:

- агрегатов переработки отработавшего ядерного топлива;
- конкретного оборудования, содержащего радиоактивные изотопы;
- защитного контейнера с ОЯТ и РАО в условиях их временного захоронения;
- отработавшего ядерного топлива в транспортном контейнере;
- остановленного ядерного реактора;
- радиоактивных отходов в защитных контейнерах за пределами биозащиты.

2. Персонал радиационного контроля на радиационно-опасных объектах в настоящее время имеет роль статистиков, фиксирующих колебания радиационного фона в ходе технологических процессов по обращению с источниками ионизирующего излучения. Его функциями являются:

- радиационно-технологический контроль;
- радиационно-дозиметрический контроль;
- мониторинг промышленной площадки и помещений радиационно-опасных объектов в рамках радиационного контроля;
- предотвращение распространения радиоактивного загрязнения методами радиационного контроля;
- мониторинг радиационного фона окружающей среды.

Авторами работы предлагается и ведется разработка Информационно-аналитической системы радиационного контроля и мониторинга в рамках промышленной площадки АЭС (ИАС РКМ АЭС).

Данная система позволит производить расчеты полей мощности амбиентного эквивалента дозы и радиоактивного загрязнения промышленных площадок радиационно-опасных объектов.

Моделирование гамма-полей является довольно сложной задачей, при решении которой целесообразно использовать некоторые упрощающие допущения, главное из которых основывается на использовании заранее рассчитанных функций Грина. Данный метод достаточно точно моделирует гамма-излучение и базируется на свойстве линейности уравнения переноса излучений независимых источников ионизирующего излучения. То есть, при предварительном расчете функций Грина моделирование гамма-полей сводится к простым логическим операциям сложения и умножения. Помимо этого стоит отметить, что большую часть радиационного фона вносит именно гамма-излучение, именно его определение и моделирование в достаточной точности характеризует реальную радиационную обстановку.

$$\dot{H}(\vec{r}) = \int q(\vec{\xi}) \times G(\vec{\xi}, \vec{r}) d\vec{\xi} \approx \sum_{i=1}^N q(\Delta\vec{\xi}_i) \times G(\Delta\vec{\xi}_i, \vec{r}) \quad (1)$$

$\dot{H}(\vec{r})$  – мощность дозы в точке  $\vec{r}$  за защитой;

$q(\Delta\vec{\xi}_i)$  – величина источника в конечном элементе пространства  $\Delta\vec{\xi}_i$ ;

$G(\Delta\vec{\xi}_i, \vec{r})$  – функция Грина элемента пространства  $\Delta\vec{\xi}_i$ .

ИАС РКМ АЭС должна иметь большое количество модулей для обеспечения всех современных федеральных норм и правил в области радиационного контроля. Необходимо принимать во внимание текущие базы данных, необходимость модулей расчета и визуализации, а также автоматическое формирование отчетов и рекомендаций.

Предлагаемая структура ИАС РКМ АЭС показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структура ИАС РКМ АЭС

Основное преимущество данного решения – возможность сравнения результаты прогнозных данных с реальными измеренными значениями, снижение капитальных затрат на радиационный контроль. Несоответствие допустимых отклонений может быть основанием для внеочередных измерений на местности, корректировки требований Регламентов РК или самой ИАС РКМ АЭС.

Основным недостатком данной разработки является ее низкая референтность, поскольку ранее таких исследований не велось.

Разработка и применение ИАС РКМ АЭС, очевидно, знаменует переход на новый уровень радиационной защиты радиационно-опасных объектов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523 – 09. 2009. - 74 с.
2. Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования МУ 2.6.1.25-2000. 2000. - 110 с.
3. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010. 2010. - 77 с.

УДК 621.039.5

## ПРЕДИКТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

Тен С.В.<sup>1</sup>, Загребаев А.М.<sup>1</sup>

Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ», Москва, Россия

<sup>1</sup>tenstanislav@email.com; <sup>2</sup>AMZagrebayev@mephi.ru

**Аннотация.** В данной работе рассматривается применение методов предиктивной диагностики для анализа данных, полученных с датчиков внутриреакторного контроля поля нейтронов для реактора типа РБМК. В рамках данной работы основное внимание уделяется двум методам: методу гусеницы и методу «скользящей корреляции». Целью исследования является разработка эффективного подхода к экспресс-анализу для выявления аномалий в работе датчиков, что может указывать на их неисправность или выход из строя.

**Ключевые слова:** ядерный реактор, предиктивная диагностика, датчик внутриреакторного контроля.

## PREDICTIVE DIAGNOSTICS OF ENERGY RELEASE MONITORING SENSORS IN A NUCLEAR REACTOR

**Ten S.V.<sup>1</sup>, Zagrebayev A.M.<sup>2</sup>**

*National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia*

*<sup>1</sup>tenstanislav@email.com; <sup>2</sup>AMZagrebayev@mephi.ru*

**Abstract.** In this paper, we consider the application of predictive diagnostic methods for analyzing data obtained from sensors for in-reactor neutron field monitoring for a RBMK type reactor. Within the framework of this work, the main attention is paid to two methods: the caterpillar method and the "sliding correlation" method. The aim of the study is to develop an effective approach to rapid analysis to identify anomalies in the operation of sensors, which may indicate their malfunction or failure.

**Keywords:** nuclear reactor, predictive diagnostics, in-reactor control sensor.

В контексте повышения безопасности ядерных реакторов, особенно важным является своевременное обнаружение аномалий в работе датчиков внутриреакторного контроля. Такие аномалии могут быть предпосылками серьезных технических проблем, вплоть до аварийных ситуаций. В этой работе представлены результаты применения и сравнение двух алгоритмических подходов к анализу временных рядов данных, полученных от датчиков.

Для моделирования ситуации, когда датчик выходит из строя, к показаниям одного из датчиков добавлялось фиктивное возмущение, что позволило создать условия, приближенные к реальным, и оценить эффективность методов на данных, имитирующих неисправность.

Метод гусеницы заключается в преобразовании одномерного ряда в многомерный при помощи сингулярного разложения траекторной матрицы, исследовании полученной многомерной траектории методом главных компонент и последующим восстановлении одномерного ряда. В рамках текущей работы показания одной секции датчиков были преобразованы в траекторную матрицу при помощи однопараметрической сдвиговой процедуры с выбором длины оконных последовательностей. Для каждого такой матрицы были рассчитаны собственные значения и визуализированы в виде графика зависимости каждого собственного значения по времени (рис. 1).



Рисунок 1 – Изменение собственных чисел траекторной матрицы исходных данных

Далее, к показаниям датчика было добавлено фиктивное возмущение и аналогичным образом построен график по времени (рис. 2). Визуально проанализировав графики, можно сделать вывод, что собственные значения чувствительны к добавлению возмущений в исходные данные. При добавлении возмущений в данные (в качестве примера, начиная с 50-го по порядку значения и длиной последовательностей равной 10), 10-ое собственное число уменьшается, при этом остальные собственные числа возрастают. Однако, при изменении

длины последовательностей или характера внесенных возмущений, визуально не всегда можно определить аномалии в данных.

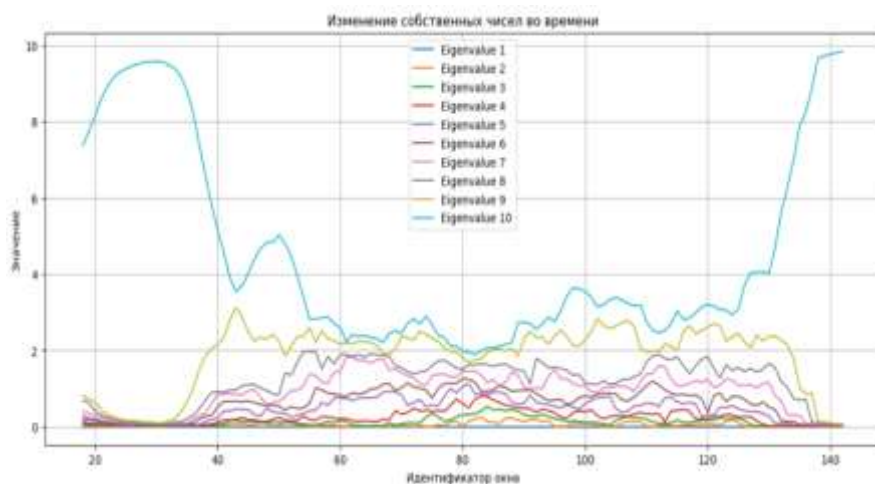


Рисунок 2 – Изменение собственных чисел тракторной матрицы при добавлении возмущения

Вторым методом для анализа является ранее разработанный и подробно рассмотренный в работе [1] метод «скользящей корреляции». В рамках данной работы метод был адаптирован к данным реактора типа РБМК, который отличается меньшим количеством секций одного датчика. Для исходных данных была рассчитана матрица значений функции скользящей корреляции между секциями одного датчика. Таким образом, для каждого момента времени была получена квадратная матрица 4x4, в которой номер строки или столбца – это номер датчика по высоте, а на пересечении расчетные значения функции скользящей корреляции за последние N дней. Для каждой такой матрицы, аналогично предыдущему эксперименту, были рассчитаны собственные значения и построен график в зависимости от времени (рис. 3).

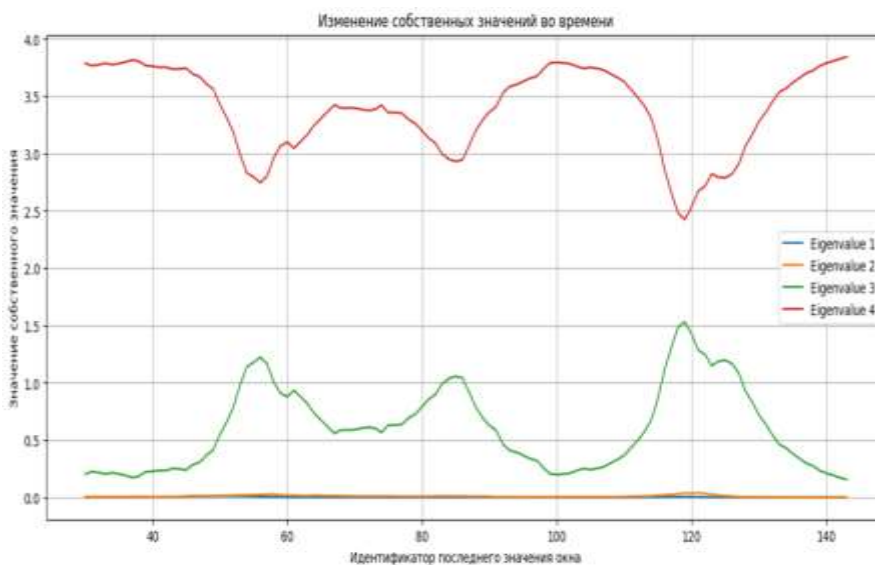


Рисунок 3 – Изменение собственных чисел матрицы корреляции исходных данных

Далее, аналогично предыдущим экспериментам, к исходным данным было добавлено фиктивное возмущение (начиная с 80-го по порядку значения) и построен график (рис. 4).

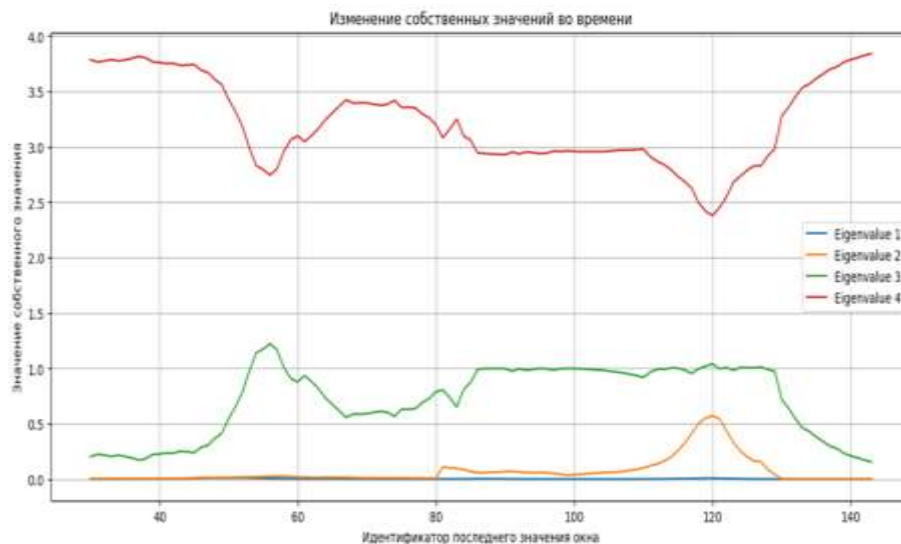


Рисунок 4 – Изменение собственных чисел матрицы корреляции при добавлении возмущения

Из графиков можно сделать вывод, что при добавлении возмущений в исходные данные, значение второго собственного числа возрастает и принимает постоянное ненулевое значение.

Анализ показал, что метод скользящей корреляции демонстрирует более высокую чувствительность к аномалиям в данных. Полученные результаты подтверждают эффективность метода скользящей корреляции в качестве инструмента предиктивной диагностики датчиков контроля в реакторах типа РБМК. Этот метод позволяет не только выявлять аномалии в работе датчиков, но и делать это с достаточной точностью, что критически важно для обеспечения безопасности ядерных реакторов.

Исследование показывает перспективность использования метода скользящей корреляции для экспресс-анализа данных датчиков внутриреакторного контроля. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию алгоритма для улучшения его предиктивных свойств и адаптации к различным условиям эксплуатации ядерных реакторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тен С. В., Загребаев А. М. Предиктивная диагностика датчиков контроля в ядерном реакторе. Вестник НИЯУ МИФИ. – 2023. – Т. 12. – №. 2. – С. 103-113.
2. Загребаев А. М., Рамазанов Р. Н. Визуализация архива параметров ядерного энергоблока с реактором РБМК. Научная визуализация. – 2015. – Т. 7. – №. 2. – С. 1-11.
3. Загребаев А. М. и др. Восстановление утраченного показания высотного датчика контроля за полем нейтронов по данным архива. Атомная энергия. – 2015. – Т. 118. – №. 3. – С. 129-133

УДК-504.3.054

## ОЦЕНКА ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС-2 ПРИ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСАХ В АТМОСФЕРУ С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗАСТРОЙКИ

Тулинов Д.В.<sup>1</sup>, Данилов А.Д.<sup>2</sup>

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

<sup>1</sup>dantulinovv@yandex.ru; <sup>2</sup>danilov-ad@yandex.ru

**Аннотация.** В работе проведена оценка эффективных доз внешнего облучения персонала на Нововоронежской АЭС-2 при гипотетических аварийных выбросах. Оценено влияния промышленной застройки на уровни облучения персонала. Проведен анализ, полученных разными моделями распространения примеси, значений эффективных доз.

**Ключевые слова:** внешнее облучение, эффективная доза, выбросы, промышленная застройка, АЭС, гауссова модель, RANS

## ASSESSMENT OF EXTERNAL RADIATION EXPOSURE OF THE STAFF OF NOVovorONEZH NPP-2 DURING ACCIDENTAL EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERE TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF INDUSTRIAL BUILDINGS

**Tulinov D.V.**<sup>1</sup>, **Danilov A.D.**<sup>2</sup>

*Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia*

*<sup>1</sup>dantulinovv@yandex.ru; <sup>2</sup>danilov-ad@yandex.ru*

**Abstract.** The paper assesses the effective doses of external irradiation of the personnel at Novovoronezh NPP-2 during hypothetical emergency releases. The influence of industrial development on the levels of personnel exposure is assessed. The analysis of the values of effective doses obtained by different models of impurity propagation is carried out.

**Keywords:** external irradiation, effective dose, emissions, industrial development, NPP, Gaussian model, RANS

Большинство промышленных площадок АЭС представляют собой совокупность зданий и сооружений различных геометрических размеров, расположенных на небольших площадях, порядка нескольких квадратных километров. В обычных условиях взаимное расположение этих строений незначительно влияет на дозы облучения работников. Однако в случае аварийных ситуаций, когда территория станции загрязняется радиоактивными материалами сверх установленных пределов, расположение персонала, их маршруты и время пребывания на конкретных участках будут определять уровень облучения [1].

На этапе проектирования АЭС оценку радиационной обстановки проводят с помощью гауссовой модели распространения загрязнений в атмосфере. Но данная модель имеет ряд недостатков, которые не позволяют получить корректный результат моделирования в условиях промышленной застройки, поэтому для оценки радиационной обстановки в таких условиях используются модели иного класса [2].

В данной работе представлены результаты моделирования внешнего поверхностного облучения работников атомной станции методом RANS, и проведено сравнение с результатами моделирования по гауссовой модели. Для исследования влияния промышленной застройки АЭС на дозы внешнего облучения персонала при аварийных выбросах, с помощью системы автоматизированного проектирования «Компас-3D», были созданы основные здания, входящие в состав Нововоронежской АЭС-2. Полученные объекты были объединены в общую модель промышленной площадки (рис. 1).

Оценка радиационной обстановки на территории Нововоронежской АЭС-2 заключается в определении эффективных доз внешнего облучения, полученных от поверхности и от прохождения радиоактивного облака на различных расстояниях от источника выброса [3].

Расчеты эффективной дозы внешнего облучения, полученной от поверхности и от прохождения радиоактивного облака, проведены для 8 направлений ветра. Скорость ветра на высоте 10 м составляет 2 м/с, категории устойчивости атмосферы по Паскуиллу–Тернеру – умеренно устойчивая (F), нейтральная (D) и сильно неустойчивая (A) атмосфера.

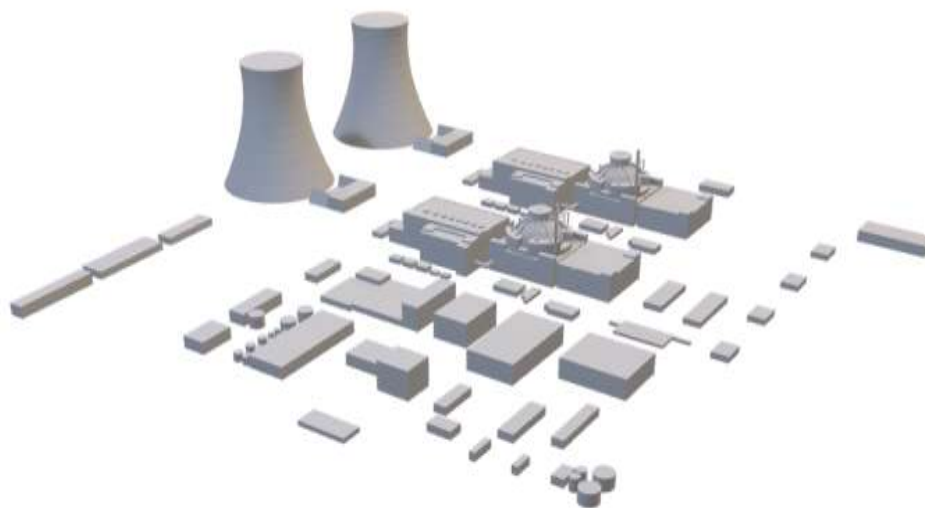


Рисунок 1 – Трехмерная модель промышленной площадки Нововоронежской АЭС-2

Начальные условия были получены из данных, содержащихся в отчете по обоснованию безопасности Нововоронежской АЭС-2 [4]. Радионуклидный состав выброса преимущественно состоит из инертных радиоактивных газов Хе и Kr, также присутствуют изотопы йода в различных формах (органической, молекулярной и аэрозольной) и Cs-134, Cs-137 в форме аэрозоля. Расчеты выполнены для 5 расстояний от источника выброса (300 м, 400 м, 500 м, 600 м и 700 м) и с различных высот, соответствующих высотам расположения БРУ-А (30 м) и вентиляционной трубы (100 м).

При уменьшении высоты выброса наблюдается увеличение разброса значений эффективной дозы, особенно заметное при категории устойчивости F. Разница в результатах моделирования гауссовым методом и RANS методом для рассмотренных условий составляет 4 порядка величины с высоты выброса 30 м и 16 порядков с высоты выброса 100 м. По полученным значениям эффективной дозы, можно утверждать, что плотность промышленной застройки имеет значительное воздействие на уровень облучения персонала.

Поэтому применение моделей распространения загрязнений, которые учитывают воздействие промышленной застройки, может повысить точность оценки радиационной обстановки на объектах использования атомной энергии. Это способствует обеспечению безопасности на атомных станциях и снижению дозовой нагрузки на персонал как в нормальных условиях эксплуатации, так и в аварийных ситуациях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авария на ЧАЭС: Дозы облучения участников ЛПА, аварийный контроль, ретроспективная оценка. М.: ФМБА России. 2011 – 278 с.
2. Рекомендуемые методы оценки и прогнозирования радиационных последствий аварий на объектах ядерного топливного цикла (РБ-134-17) М.: Ростехнадзор, 2017. – 44 с.
3. Гусев Н.Г. Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев – Москва, Энергоатомиздат, 1991 – 256 с.
4. Отчет по обоснованию безопасности. Глава 15 Анализ аварий. Книга 9 АО «Атомэнергопроект», 2015. – 210 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННИКАХ МЕТОДАМИ ОПЕРАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ

Чивилев Я.В.<sup>1</sup>, Данилов А.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Филиал АО «Концерн Росэнергоатом «Нововоронежская атомная станция»,  
Нововоронеж, Россия

<sup>2</sup> Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия  
<sup>1</sup>yaroslavchivilev@yandex.ru; <sup>2</sup>danilov-ad@yandex.ru

**Аннотация.** В данной работе предметом исследования является моделирование конвекционных процессов и их влияние на эффективность теплообменных аппаратов с использованием операционного метода для решения дифференциальных уравнений Навье-Стокса. Расчеты проводились в среде динамического моделирования – SimInTech. Достигнутая успешная верификация расчетной модели, что позволяет с уверенностью продолжать исследования.

**Ключевые слова:** теплообменник, операционный метод, давление, температура, конвекция, модель.

## MODELING OF CONVECTION PROCESSES IN HEAT EXCHANGERS BY OPERATIONAL CALCULUS METHODS

Chivilev Ya.V.<sup>1</sup>, Danilov A.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Branch of JSC Concern Rosenergoatom Novovoronezh Nuclear Power Plant, Novovoronezh, Russia

<sup>2</sup> Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia  
<sup>1</sup>yaroslavchivilev@yandex.ru; <sup>2</sup>danilov-ad@yandex.ru

**Abstract.** In this paper, the subject of the study is modeling of convection processes and their impact on the efficiency of heat exchangers using the operational method for solving the Navier-Stokes differential equations. The calculations were carried out in the dynamic modeling environment - SimInTech. The achieved successful verification of the calculation model, which allows us to continue the research with confidence.

**Keywords:** heat exchanger, operational method, pressure, temperature, convection, model.

Теплообменник является важной частью современных тепломеханических систем, поскольку представляет собой аппарат, в котором осуществляется теплообмен между двумя средами, имеющими различные температуры. Данные устройства широко применяются в таких областях, как энергетика, химическая и нефтехимическая промышленность, бытовая (отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха) и многих других, что подчеркивает важность их эффективной работы для различных технологических процессов.

Одним из ключевых аспектов работы теплообменников является конвекция – процесс передачи тепла, связанный с движением жидкостей или газов. Конвекционные процессы могут быть как естественными, вызванными разницей температур и плотностей, так и принудительными, вызванными внешними силами, такими как насосы и вентиляторы. Понимание и тщательное моделирование данных процессов играет решающую роль в проектировании теплообменников, а также в повышении их энергетической эффективности. Одним из подходов к моделированию конвективных процессов является использование методов операционного исчисления. Операционное исчисление, как раздел математики, изучает операторы и их свойства, что позволяет решать сложные дифференциальные уравнения, описывающие динамику теплообмена. Это метод позволяет преобразовывать дифференциальные уравнения в более удобные для анализа алгебраические уравнения, что значительно упрощает процесс нахождения решений и понимания поведения системы [1].

В данной статье будут рассмотрены ключевые аспекты, связанные с моделированием конвекционных процессов в теплообменниках методами операционного исчисления, включая теоретические источники, математические модели, результаты численных экспериментов.

Исследование, представленное в этой работе, направлено на углубление изучения имитационного моделирования в теплогидравлических процессах.

Для описания конвективных процессов и термодиффузии в жидкостях в данной работе мы будем опираться на уравнение Навье-Стокса. Это фундаментальное уравнение позволит детально изучить сложные взаимодействия между компонентами, а также динамику и теплопередачу в рассматриваемых системах [2,3].

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + V \Delta u + g_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + V \Delta v + g_y \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + V \Delta w + g_z \end{aligned} \quad (1)$$

где  $t$  – время;  $\rho$  – плотность тела;  $\partial p/\partial x$  – плотность поверхностных сил давления;  $V \Delta u$  – плотность поверхностных вязких сил;  $g_i$  – плотность поверхностных массовых сил;  $u, v, w$  – компоненты вектора скорости в декартовой системе координат.

Не менее значимой частью данной работы является изучение конвекции. Для более подробного описания данного процесса мы будем использовать уравнение конвективной теплопроводности при условии, что  $(\lambda, c, \rho = \text{const})$ .

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial T}{\partial t} + v_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = a \Delta T + \varphi \quad (2)$$

где  $t$  – время;  $T$  – температура тела,  $a = \lambda/c\rho$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$  – коэффициент температуропроводности;  $\varphi = f/c\rho$ .

В математическом аппарате нашей расчетной модели, для решения дифференциальных уравнений мы будем использовать операционный метод. В его основе лежит переход от исходного дифференциального уравнения к более простому, так называемому операторному уравнению. При этом учитываются также и дополнительные условия задачи Коши. Затем обратное преобразование решения операторного уравнения позволяет восстановить решение исходного дифференциального уравнения.

Создание модели началось с выбора подходящей среды для численного анализа. SimInTech была выбрана за свою гибкость и мощные инструменты для работы с дифференциальными уравнениями.

Для тщательной верификации полученных расчетных данных мы использовали проектную документацию, относящуюся к регенеративным теплообменникам системы продувки и дренажа парогенераторов энергоблоков №1 и №2 Нововоронежской АЭС-2. Данная документация представляет собой надежный источник информации, позволяющий сопоставить результаты наших расчетов с установленными проектными параметрами [4].

В таблице 1 представлены числовые значения температур на входе и выходе регенеративного теплообменника, что позволяет детально анализировать работу данного элемента системы. Данные таблицы охватывают различные уровни потока, учитывающие как однонаправленное, так и противоположное воздействие принудительной и естественной конвекции, тем самым предоставляя полное представление о динамике температурных условий работы теплообменника. Такой всесторонний подход обеспечивает надежность и точность выполненных расчетов.

Таблица 1 – Значения температуры на входе/выходе РТО при различных направлениях движения среды

Направления потока	Параметр	Экспериментальные данные			Расчетные данные		
Противоположные	Расход продувки на входе в РТО, т/ч	148,2	60,0	140,0	148,2	60,0	140,0
	Температура на входе в РТО охлаждаемой среды из ПГ, °С	281,2	280,0	285,0	281,2	280,0	285,0
	Температура на выходе из РТО охлаждаемой среды из ПГ на спецводоочистку, °С	144,4	205,0	155,0	145,6	201,6	156,1
	Температура на входе в РТО охлаждающей среды от спецводоочистки в ПГ, °С	62,1	60,0	50,0	62,1	60,0	50,0
	Температура на выходе из РТО охлаждающей среды от спецводоочистки в ПГ, °С	212,1	156,0	200,0	214,1	155,1	195,0
Однонаправленные	Расход продувки на входе в РТО, т/ч	165,6	64,1	140,0	165,6	64,1	140,0
	Температура на входе в РТО охлаждаемой среды из ПГ, °С	281,0	280,0	285,0	281,2	280,0	285,0
	Температура на выходе из РТО охлаждаемой среды из ПГ на спецводоочистку, °С	95,0	116,8	102,0	97,1	114,2	104,3
	Температура на входе в РТО охлаждающей среды от спецводоочистки в ПГ, °С	46,7	32,9	50,0	47,0	33,0	50,0
	Температура на выходе из РТО охлаждающей среды в ПГ, °С	241,0	205,4	241,0	241,0	204,4	238,0

По завершению проведенной верификации было установлено соответствие между расчетными данными и экспериментальными результатами. Вычисленная погрешность составила всего 1,3%, что существенно ниже допустимого предела в 3% для данной модели. Данные результаты подтверждают как надежность, так и точность нашей расчетной модели, что является ключевым фактором для обеспечения достоверности и успешной применимости данного операционного метода для дальнейших более сложных задач.

Таким образом, авторам работы удалось успешно разработать и верифицировать модель, тщательно исследующую влияние конвекционных процессов на эффективность теплообменников операционным методом.

Созданная расчетная модель в SimInTech, использующая операционный метод для решения дифференциальных уравнений Навье-Стокса, открывает новые перспективы для более углубленного анализа процессов, связанных с движением жидкостей. Данный подход позволяет не только получать точные результаты, но и проводить чувствительный анализ, исследуя влияние различных параметров на динамику потока.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Гортышов Ю.Ф. Теплогидравлическая эффективность перспективных способов интенсификации теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования: учебное пособие, Изд-во КГТУ, 2009. - 530 с.
2. Себиси Т., Брэдшоу П. Конвективный теплообмен. М.: Мир. 1987. 592 с.
3. Беннет К.О., Майерс Дж. Е. Гидродинамика, теплообмен и массообмен. М.: Недра. 1966. 725 с.
4. Яуров С.В., Галиев К.Ф., Боровой А.В., Вольнов А.С. Опыт ввода в эксплуатацию системы продувки парогенераторов проекта АЭС-2006 (РУ В-392М). Известия вузов. Ядерная энергетика. - 2017. - №3. - С. 151-161.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ВОДОЁМАХ АЭС

Шилин А.Н.<sup>1</sup>, Коновалова Л.А.<sup>2</sup>, Богале М.А.

*Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия*

*<sup>1</sup>eltech@vstu.ru, <sup>2</sup>mila27121989@mail.ru*

**Аннотация:** В статье приведена система автоматического управления уровнем воды в водохранилище с учетом прихода и расхода воды. Автоматическое регулирование уровня воды играет важную роль в поддержании водного баланса и управлении водными ресурсами в водохранилищах. Эта проблема становится особенно актуальной в условиях аридных регионов, где пресная вода является дефицитным ресурсом. Кроме того, надежная работа систем испарения критична для предотвращения перегрева и гарантирования адекватного охлаждения реакторов, что, в свою очередь, является залогом ядерной безопасности. Выход за пределы допустимого уровня воды может привести к ее переливу через плотину, в то время как снижение уровня ниже критического порога отрицательно сказывается на функционировании электростанций. Для управления автоматической системой необходимо прогнозировать уровень воды в водохранилище. Полный контроль и прогноз уровня воды, обеспечиваемые системой, позволяют минимизировать экологические риски, эффективно управлять водными ресурсами, обеспечивая стабильность работы атомных электростанций, обеспечивая безопасность в сфере ядерной энергетики. Поэтому для решения этой проблемы предлагается использовать искусственную нейронную сеть (ИНС).

**Ключевые слова:** атомные электростанции, уровни воды, водохранилище, контроль и прогнозирование уровня воды, искусственная нейронная сеть.

## INTELLIGENT SYSTEM FOR PREDICTING WATER LEVEL IN NPP RESERVOIRS

Shilin A.N.<sup>1</sup>, Konovalova L.A.<sup>2</sup>, Bogale M.A.

*Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia*

*<sup>1</sup>eltech@vstu.ru, <sup>2</sup>mila27121989@mail.ru*

**Abstract:** The article presents a system for automatically controlling the water level in a reservoir, taking into account the inflow and flow of water. Automatic water level control plays an important role in maintaining water balance and managing water resources in reservoirs. This problem becomes especially relevant in arid regions, where fresh water is a scarce resource. In addition, reliable operation of evaporation systems is critical to prevent overheating and ensure adequate cooling of reactors, which in turn is key to nuclear safety. Exceeding the permissible water level can lead to its overflow over the dam, while a decrease in the level below a critical threshold negatively affects the functioning of power plants. To control the automatic system, it is necessary to predict the water level in the reservoir. Full control and forecast of water levels provided by the system make it possible to minimize environmental risks, effectively manage water resources, ensuring the stability of the operation of nuclear power plants, ensuring safety in the field of nuclear energy. Therefore, to solve this problem, it is proposed to use an artificial neural network (ANN).

**Keywords:** nuclear power plants, water levels, reservoir, water level control and forecasting, artificial neural network.

Управление водными ресурсами достаточно сложная задача, поскольку необходимо контролировать и прогнозировать их баланс, а именно приход и расход. Приход и расход водных ресурсов зависит от многих факторов: от метеорологических и гидрологических условий, объемов потребления водных ресурсов [1, 2]. Стратегия управления водохранилищем обычно разрабатывается на основе предыдущих метеорологических и гидрологических условий, информации о задержке и текущем уровне воды в водохранилище. В зависимости от уровня воды и прогнозов ее поступления принимаются решения о досрочном сбросе воды, который позволяет избежать риска наводнений в районах ниже по течению. Поэтому для решения этой проблемы необходимо использовать соответствующий метод прогнозирования. В качестве такого метода целесообразно применять нейронные сети, которые успешно применяются при решении подобных задач. Искусственная нейронная сеть (ИНС) [1-3] воспроизводит функционирование упрощенной математической модели биологической нейронной сети программным или аппаратным

образом. Использование нейронных сетей имеет широкие применения в различных областях, так как их основными свойствами являются нелинейность и обобщенность. Что означает, в свою очередь, следующее, нейронная сеть может давать хорошие результаты даже для входных выборок, которые отличаются от обучающих выборок.

В процессе выбора ИНС были рассмотрены модели с разным количеством узлов и слоев, а также проведен статистический анализ достоверности моделей. Результаты анализа показали, что рассмотренные модели удовлетворительно осуществляют предсказание уровня воды в водохранилище. Для обучения нейронной сети использовалась обучающая выборка, а для проверки – контрольная. Это помогло оценить эффективность работы нейронной сети и ее способность к прогнозированию новых данных, на основе информации об уровне воды и соответствующих гидрологических условиях, собранной метеостанцией за годы 2012-2013. Из анализа водного баланса следует, что испарение, приток воды и осадки в водохранилище напрямую влияют на уровень воды в водохранилище. Для обучения и тестирования интеллектуальной системы прогнозирования уровня воды в водоемах использовали фактические данные с водохранилища гидроэлектростанции Кока в Эфиопии за два года (24 месяца). Из всех данных около 80% данных (20 месяцев) использовано для обучения модели, а 20% данных (4 месяца) - для тестирования модели. Программа python [4] автоматически осуществила нормализацию данных в соответствии с требованиями для подачи их на вход нейронной сети.

При проектировании нейронной сети использовалась формула, являющаяся следствием теорем Арнольда-Колмогорова-Хехта-Нильсена, определяющая необходимое число синаптических весов (первая формула). Это важно, так как количество синаптических весов напрямую влияет на производительность и точность работы нейронной сети. Понимание этой формулы помогает оптимизировать проектирование нейронных сетей, чтобы достичь лучших результатов при минимальном использовании ресурсов. С помощью данного результата, определено минимальное число нейронов (вторая формула), необходимых для приближения любой непрерывной функции на заданном компакте с заданной точностью [5] при  $N_x = 3$ ,  $N_y = 1$ ,  $q = 20$ , получены минимальные и максимальные значения  $n = 1$  и  $n = 9$ .

Архитектура модели включает в себя: входной слой с количеством нейронов, соответствующим количеству входных признаков (в данном случае 3: испарение, осадки, приток). Один скрытый слой с 1–9 нейронами (количество слоев можно изменить на основе экспериментов и оценки производительности). Функция активации `relu` (выпрямленная линейная единица) используется в скрытых слоях для нелинейных преобразований. Выходной слой с 1 нейроном для прогнозирования уровня воды, поскольку это задача регрессии (прогнозирование уровня воды), для выходного нейрона не указана функция активации, что подразумевает линейную активацию по умолчанию. Модель компилируется с использованием оптимизатора Adam и функции потерь среднеквадратической ошибки (MSE), которые являются стандартным выбором для задач регрессии, далее происходит обучение модели. Adam - это адаптивный метод оптимизации, который обычно работает хорошо на различных типах данных и задачах обучения. MSE как функция потерь позволяет оценить разницу между предсказанными и реальными значениями целевой переменной, таким образом, модель стремится минимизировать эту ошибку в процессе обучения. Этот подход позволяет модели находить оптимальные параметры для предсказания целевой переменной в задачах регрессии. Модель рассчитана на 200 тренировочных периодов с размером партии 4.

Предлагаемая нейронная сеть (перцептрон) обучена прогнозированию уровня воды на следующий временной шаг на основе входных характеристик текущего временного шага. Перцептрон (или нейронная сеть) изначально предназначен для прогнозирования следующего временного шага на основе текущих входных характеристик. Он по своей сути не учитывает различные горизонты прогнозирования. Используя рекурсивное прогнозирование, прогнозы расширяются на несколько временных шагов, корректируя

входные данные на основе предыдущих прогнозов, для получения прогнозов различных горизонтов.

**Опрос обученной сети и проверка ошибки прогноза на контрольной выборке.** Если значение ошибки находится в допустимых пределах, то задача считается решённой и обученная нейронная сеть допускается к дальнейшему практическому применению.

Согласно значениям MSE и  $R^2$ , представленным в таблице 1, линии тренда объясняют более 50% (50 - 62%) вариаций в данных, что означает, что прогноз является удовлетворительным [6,7]. Модель А из девяти нейронов в скрытом слое является лучшей среди других моделей и может рассматриваться как идеальная модель. Иными словами, прогнозируемые значения уровня воды соответствуют целевым значениям и, следовательно, достоверность моделей для прогнозирования уровня воды доказана.

Таблица 1- Модели искусственных нейронных сетей, рассмотренные в исследовании

Модели	Тип сети	Функция активации	Архитектура	Оптимизатор	MSE	$R^2$
A	MLP	RELU	3-9-1	ADAM	0.1	0.62
B	MLP	RELU	3-8-1	ADAM	0.12	0.57
C	MLP	RELU	3-7-1	ADAM	0.115	0.58
D	MLP	RELU	3-6-1	ADAM	0.12	0.56
E	MLP	RELU	3-5-1	ADAM	0.13	0.51
F	MLP	RELU	3-4-1	ADAM	0.13	0.50
G	MLP	RELU	3-3-1	ADAM	0.13	0.53
H	MLP	RELU	3-2-1	ADAM	0.1	0.61
I	MLP	RELU	3-1-1	ADAM	0.138	0.51

Значение  $R^2$  в диапазоне от 0,5 до 0,62 можно считать приемлемым в контексте прогнозирования уровня воды с использованием нейронных сетей, особенно при работе со сложными нелинейными гидрологическими процессами и ограниченными данными. Результаты соответствуют результатам других исследований в этой области и считаются достаточными для выявления основных закономерностей и тенденций, необходимых для практического применения.

Модель определяет, как уровень воды меняется от месяца к месяцу на основе предоставленных данных. После обучения в модель вводятся последние наблюдаемые значения для прогнозирования уровня воды на следующий месяц. Данный процесс можно повторять для прогнозирования на несколько месяцев вперед. Графики показывают (рис.1) тенденции, описывающие взаимосвязь между прогнозируемыми и фактическими значениями уровня воды в водохранилище за четыре месяца (сентябрь-декабрь).

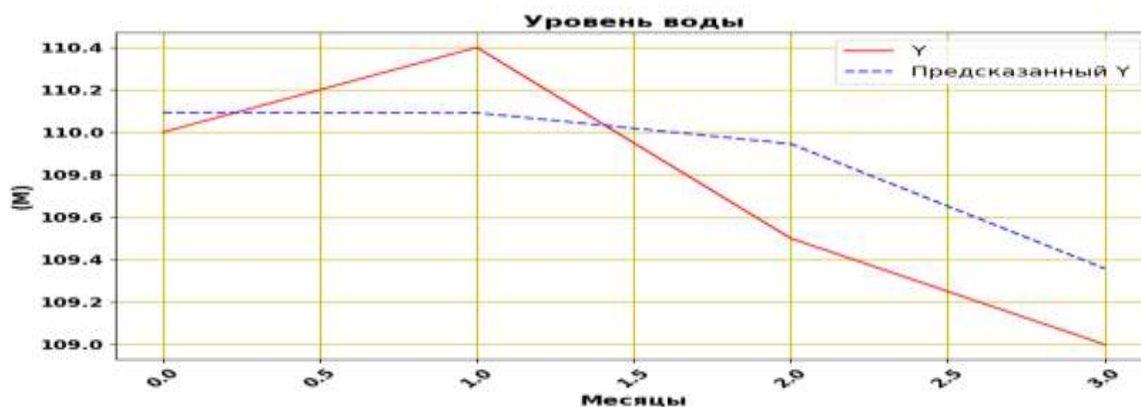


Рисунок 1 – Многослойная модель персептронов (Модель А)

В ходе исследования была разработана и обучена нейронная сеть, способная прогнозировать уровень воды в водохранилище на основе данных об испарении, осадках и притоке воды. Модель продемонстрировала удовлетворительные результаты, что

подтверждается статистическим анализом предсказания уровня воды на основе данных, собранных за два года. Важными аспектами построения нейронной сети стали оптимизация архитектуры и использование интеллектуальных методов, таких как адаптивный оптимизатор Adam и функция потерь MSE.

Модель A с девятью нейронами в скрытом слое была признана лучшей и проявила идеальное соответствие между прогнозируемыми и целевыми значениями уровня воды. Значение R2 в пределах 0,50 до 0,62 является приемлемым в контексте прогнозирования уровня воды с использованием нейронных сетей, особенно при работе со сложными нелинейными гидрологическими процессами и ограниченными данными. Эта приемлемость подтверждается различными исследованиями в области гидрологии и управления водными ресурсами. Результаты соответствуют результатам других исследований в этой области и считаются достаточными для выявления основных закономерностей и тенденций, необходимых для практического применения.

Модель демонстрирует способности к месячному прогнозированию уровня воды, и процесс может быть повторён для более долгосрочного предсказания. Графики, отображающие тенденции изменения уровня воды, подтверждают, что прогнозируемые значения соотносятся с фактическими данными. Таким образом, обученная нейронная сеть оказывается не только эффективным инструментом для решения задач прогнозирования уровня воды в водохранилищах, но и перспективным подходом для решения данной задачи и может быть применена в других случаях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилин А.Н., Коновалова Л.А., Богале М.А. Испаритель со стабилизацией горизонтальной плоскости воды. Глобальная ядерная безопасность. Издательство. Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2024. № 1(50). 37-42 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/uerasp> (дата обращения: 20.07.2024).
2. Макартичан С.В., Богале М.А., Коновалова Л.А., Вершинин А.В. Интеллектуальная поддержка выбора датчиков информационно-измерительных систем на примере уровнемеров. Вопросы электротехнологии. 2024. № 1(42). 43-53 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/uerasp> (дата обращения: 20.07.2024).
3. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. Под ред. Н.Н. КуССуль; пер. с англ. Н.Н. КуССуль, А.А. Шелестова. 2-е изд., испр. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
4. Ильичев В.Ю., Качурин А.В. Создание программ на языке Python для исследования множества Мандельброта. E-Scio. 2021. № 5 (56). 362-371 с.
5. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект: учеб. Пособие для студ. высш. учеб. заведений. Издательский центр «Академия», 2010. 176 с.
6. Хавамде, Алла, Аль Куиси. Модель искусственной нейронной сети для прогнозирования наводнений, пример Иордании. Твердотельные технологии. 64.2 (2021): 4704-4714 с.
7. Джеймс Г., Уиттон Д., Хасты Т., Тибширани Р. Введение в статистическое обучение с примерами на языке R. Springer. 2013. 444 с.

