# НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

# ВОЛГОДОНСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО УНИВЕРСИТЕТА «МИФИ»







XVII Международная научно-практическая конференция

# «Безопасность ядерной энергетики»

Волгодонск, 26 – 28 мая 2021 г. ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**Безопасность ядерной энергетики:** тезисы докладов XVII Международной научнопрактической конференции, 26-28 мая 2021 г. / НИЯУ МИФИ [и др.]. — Волгодонск: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2021.-132 с.

Сборник тезисов конференции составлен по материалам докладов XVII 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 978-5-7262-2783-2

Издается в авторской редакции

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2021

Ответственный за выпуск Н.И. Лобковская

Подписано в печать 20.05.2021. Формат  $60^x 84\ 1/16$  Печ. л. 132 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 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС

<b>Адаменков А.К., Малахов М.И., Ожерельев В.Д., Сурин В.И.</b> Результаты контроля сварных соединений машзала АЭС методами сканирующей контрактной потенциометрии и магнитной анизотропии	5
<b>Разуваев А.В.</b> Анализ работы паровой системы создания и поддержания повышенного давления теплоносителя в первом контуре ядерной энергетической установки	8
<b>Бондарчук Ю.А., Лапкис А.А.</b> Обоснование возможности применения нитридного ядерного топлива в реакторных установках ВВЭР-1000	10
<b>Швец Д.В., Микшин И.А., Шпицер В.Я.</b> Диагностика поворотно-регулирующей арматуры методом амплитудно-частотного анализа	13
<b>Плотников Д.А., Лачин В.И., Алджиязна В.К.М.</b> Цифровые технологии в системах вибромониторинга турбоагрегатов	16
<b>Аксенова К.С., Лапкис А.А.</b> Воспроизводящие свойства топлива ВВЭР-440 и ВВЭР с СКД теплоносителем при использовании в замкнутом ядерном топливном цикле	18
Будаев К.В. Градуировка токового канала СУЗ по тепловой мощности реактора ВК-50	23
<b>Конюшин М.В.</b> Оптимизация тепловых схем АЭС метаэвристическими алгоритмами: проблема выбора варьируемых параметров	26
<b>Нагибин А.А., Козлов Ю.И., Конюшин М.В.</b> Оценка длительности плановых остановов энергоблоков АЭС на основе векторно-координатного метода синтеза расписаний	29
<b>Молошная Е.С., Антонец И.М.</b> Возможность использования ветроэлектростанций в условиях приоритетного значения атомной энергетики	32
Секция ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС	
Юферов А.Г. Оценка неопределённости оценок техногенного риска	35
<b>Акобян М.Т., Ксенофонтов А.И., Саргсян С.</b> Оценка условий окружающей среды после течи эквивалентным диаметром 100 мм и разрыва дыхательной линии компенсатора давлений	38
<b>Родионов И.А., Елохин А.П.</b> Сравнительные характеристики БДК, используемых для оценки радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности	40
Юферов А.Г. Об уточнении некоторых понятий ядерной безопасности	42
<b>Аксенова К.С., Бубликова И.А., Цуверкалова О.Ф.</b> Динамика радиационных характеристик региона расположения Ростовской атомной электростанции	45
<b>Шевелев</b> Д.В., Свириденко И.И., Менюк Д.С., Московкина И.М. Обзор по перспективному комплексу пассивных систем безопасности энергоблока большой мощности класса ВВЭР (PWR)	48
<b>Епифанова А.Д., Попова А.Р., Бубликова И.А.</b> Содержание радионуклидов в донных отложениях водоемов территорий размещения атомных станций	51
Секция ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС	
Кравчук А.С., Томилин С.А., Кравчук А.И., Годунов С.Ф. Сейсмостойкость вспомогательных каркаснометаллических сооружений АЭС	54
<b>Подымкина Н.А., Бобкин А.А.</b> Проблемы развития и энергообеспечения территорий распространения вечномерзлых грунтов	57
<b>Пимшин Ю.И., Непримеров С.В., Заяров Ю.В., Ткачев В.Г., Науменко Г.А.</b> Анализ причин, влияющих на эксплуатационную пригодность вновь построенных многоэтажных зданий	59

#### Секция

# КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ: СОЦИОКУЛЬТУРНЫЙ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ АСПЕКТЫ

<b>Руденко В.А., Попова Т.С., Евдошкина Ю.А.</b> Обеспечение высокого уровня культуры безопасности при экспорте ядерных энергетических технологий за рубеж	63
<b>Головко М.В., Анцибор А.В., Рогачева Ж.С.</b> К вопросу о влиянии цифровых технологий на экономическую безопасность предприятий	66
<b>Локонова Е.Л., Железнякова А.В., Власова В.Д.</b> К вопросу об участии ГК Росатома в реализации региональных приоритетов национальных проектов (на примере Ростовской области)	69
<b>Хухлаев</b> Д.Г., Довбыш В.Е. Актуальные вопросы стратегического планирования и управления развитием муниципального образования (на примере города Волгодонска)	73
<b>Агапова С.П., Ухалина И.А., Ефименко Н.А.</b> К вопросу о целесообразности использования инструментов бережливого производства в научно-исследовательской деятельности студентов вуза	76
Дружинская О.И., Гришин К.С. Проблемы современной атомной энергетики и пути их решения	77
Лобковская Н.И., Недорубов А.Н. Исламизм как вызов безопасности объектов атомной энергетики	81
<b>Лыскова И.Е.</b> Роль Международной организации труда в обеспечении безопасности промышленного производства	84
Секция ИЗГОТОВЛЕНИЕ И РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС	
<b>Локтюшова Е.О., Щербак Ю.Е., Чернов А.В., Жидкова Р.Е.</b> Внедрение передовых методов неразрушающего контроля в условиях филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш»	88
<b>Алвахеба А.И., Бекетов В.Г., Дембицкий А.Е., Сурин В.И.</b> Особенности выявления дефектов в сварных соединениях методом сканирующей контактной потенциометрии	91
<b>Чернов А.В., Подрезов Н.Н., Сазонов И.С., Доронин Ю.В.</b> Программируемый источник питания для автоматической сварки под флюсом	95
<b>Лаврухин А.С., Бойко В.В.</b> Внедрение автоматической аргонодуговой сварки на узкощелевой разделке для сварных соединений главного циркуляционного трубопровода	98
<b>Кадыров С.Р., Бубликова И.А.</b> Производство сварочных работ в период эксплуатации на теплообменниках систем регенрации высокого и низкого давления для АЭС с реактором ВВЭР-1000	100
<b>Бурдаков С.М., Желецкий Д.И., Зокиров К.Д.</b> Анализ влияния комбинированного питания на физические характеристики сварочного дугового разряда	102
Абидова Е.А., Горбунов И.Г., Дембицкий А.Е., Елжов Ю.Н., Никифоров В.Н., Поваров П.В., Пугачёва О.Ю., Соловьев В.И. Результаты оперативного контроля технического состояния дизельгенераторных установок типа SULZER на АЭС РФ	105
<b>Подрезов Н.Н., Сазонов И.С., Попов Е.Ю., Гужавин А.А.</b> Анализ устойчивости ММА-процесса на базе источника питания ИНЕМ-200Т	108
<b>Олейников А.А., Коробейников В.А.</b> Производственный процесс изготовления оборудования для атомных электрических станций	110
Секция ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ	
Скоморохов A.O. Метод KNN-регрессии для предсказания критического теплового потока	113
<b>Абидова Е.А., Лапкис А.А., Прыткова Д.А., Хегай Л.С.</b> Анализ хаотических сигналов при диагностике перегрузочной машины реактора BBЭР- $1000$	11/
<b>Баршонь Саболч</b> Моделирование топлива с хромированным покрытием для реактора ВВЭР-1200 помощью пакета программ MCU	
<b>Хорцева А.Ч., Цвелик Е.А.</b> Цифровая трансформация процессов операционного контроля в филиале АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск	122
сигналов электрического контроля	120
<b>Ожерельев В.Д., Абидова Е.А.</b> Результаты применения алгоритма градиентного бустинга для классификации состояния силовых трансформаторов	
<b>Задорожнюк О.А., Абидова Е.А.</b> Метод повышение чувствительности диагностирования механических дефектов по электрическим параметрам	131

# = СЕКЦИЯ

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС

УДК 621.039.53: 620.179.118 (075)

# РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАШЗАЛА АЭС МЕТОДАМИ СКАНИРУЮЩЕЙ КОНТРАКТНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ И МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ

**А.К.** Адаменков\*, М.И. Малахов\*\*, В.Д. Ожерельев\*\*, В.И. Сурин\*\*\*

\*Дирекция по вводу в эксплуатацию АО ИК «АСЭ», Москва, Россия
\*\*Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», г. Волгодонск, Россия
\*\*\*Национальный исследовательский ядерный университет НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия

Проведены испытания электрофизической системы неразрушающего контроля на сварных соединениях трубопроводов АЭС, и получены первые экспериментальные результаты. Результаты проведённого исследования подтверждают, что основной металл сварных соединений находится в пластически деформированном состоянии. Представлено сравнение результатов контроля сварных соединений методами сканирующей контактной потенциометрии и магнитной анизотропии.

*Ключевые слова*: метод сканирующей потенциометрии, метод магнитной анизотропии, неразрушающий контроль сварных соединений.

Принцип обнаружения структурной неоднородности методом сканирующей контактной потенциометрии (СКП) основан на регистрации скачка разности электрических потенциалов на поверхности контролируемого объекта в случае излучения структурной неоднородностью волн механических напряжений.

Исследование сварных соединений методом СКП проводилось в турбинном отделении (TO-1) первого энергоблока Ростовской атомной станции (PoAЭC). Объекты диагностирования: сварные соединения (СС) технологических трубопроводов, находящиеся в машинном зале TO-1.

Перед измерениями сварные соединения были подготовлены: снята теплоизоляция, очищены, проведена профилометрия поверхностей, размечены. Измерения контактной разности потенциалов были выполнены ручным поточечным сканированием с помощью программно-аппаратного комплекса мобильной диагностической системы.

Распределение структурных неоднородностей в объемах сварных соединений рассматривалось на различных уровнях фиксации, которые определяются формулой (1):

$$SLS = |lg|\Delta\varphi||, \tag{1}$$

где  $\Delta \phi$  – амплитуда измеренного сигнала.

На рисунке 1 представлено распределение структурных неоднородностей по длине СС\_1. Распределение структурных неоднородностей можно считать равномерным. На потенциограмме присутствуют концентрические рефлексы правильной шестиугольной формы, а также концентрические рефлексы неправильной формы.

C увеличением SLS происходит разделение неоднородностей по условным горизонтальным направлениям, параллельным продольной оси CC. В увеличенном масштабе для SLS=2 можно увидеть рефлексы с высоким градиентом разности электрического потенциала. Такой рефлекс свидетельствует о наличии локального

объема с относительно высокими внутренними напряжениями. При увеличении *SLS* до 4 происходит «раскрытие» или «уширение» тонких линий, которые принимают вид отдельных пятен и полос. Вследствие большого количества таких пятен в горизонтальном направлении происходит их объединение и слияние в широкую полосовую структуру.

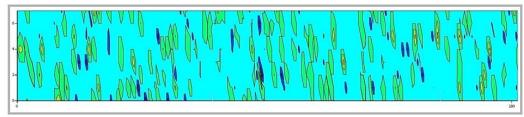


Рисунок 1 — Фрагмент потенциограммы для  $CC_1$ , SLS=1. Координатная ось x — число отсчетов; ось y — номера измерительных дорожек

Таким образом, постепенно начинает формироваться наиболее протяженный рефлекс структурной неоднородности СС, который проходит вдоль его оси. Формируются и другие рефлексы, соответствующие другим неоднородностям, которые излучают упругие волны в относительно узком диапазоне амплитуд.

На рисунке 2 показано распределение структурных неоднородностей по длине  ${\rm CC}\ 2.$ 

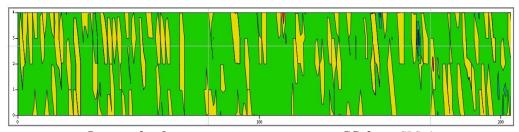


Рисунок 2 — Фрагмент потенциограммы для  $CC_2$  для SLS=1

Основной металл обоих сварных соединений находится в пластически деформированном состоянии. Данное состояние возникает при сварке в результате интенсивного местного разогрева сварного соединения.

После проведенного исследования сварные соединения были проконтролированы методом магнитной анизотропии (ММА) с помощью прибора *Stressvision Expert* [2, 3]. На рисунке 3 показаны результаты, полученные ММА и методом СКП.

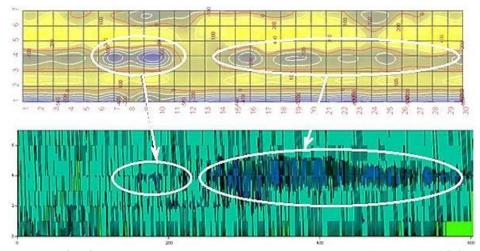


Рисунок 3 – Сравнение результатов, полученных методами МА и методом СКП

На рисунке 3 выделены структурные нарушения в области корня сварного соединения, видно заметное сходство локализации неоднородностей. Данные МА позволили определить тот амплитудный интервал сигналов для метода СКП и соответствующий уровень фиксации, на котором обнаружены структурные нарушения методом МА. Наблюдаемое соответствие позволяет установить важные корреляции, связанные с влиянием напряженно — деформированного состояния микрообъемов сварного соединения на его электрические и магнитные свойства. В обоих случаях видны структурные неоднородности в области корня сварного соединения, выделенные в белые овалы.

Результаты исследования показали высокую эффективность метода СКП и необходимость дальнейшей работы в этом направлении.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований и выделенным грантом по договору №19-08-00266/20 от 10.01.2019.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Абу Газал, А.А.* Экспериментальное исследование процесса разрушения стали ЭИ847 методами структурного анализа / А.А. Абу Газал [и др.] // Письма о материалах. 2019. Вып. 1, № 9. С. 33-38.
- 2. *Адаменков, А.К.* Обеспечение контроля термомеханической нагруженности узла приварки коллектора теплоносителя к патрубку Ду1200 парогенераторов ПГВ-1000 / А.К. Адаменков, И.Н. Веселова, И.В. Малахов // Глобальная ядерная безопасность. 2015. № 4(17). С. 84-89.
- 3. *Адаменков*, *А.К.* Оценка развития эррозионно-коррозионного износа с помощью метода измерения магнитной анизотропии // А.К. Адаменков, И.Н. Веселова, В.Я. Шпицер // Глобальная ядерная безопасность. 2019. № 1(30). С. 113-119.

# Results of Turbine Hall NPP Welded Connections Inspection by Methods of Scanning Contract Potentiometry and Magnetic Anisotropy

A.K. Adamenkov<sup>\*1</sup>, M.I. Malakhov<sup>\*\*2</sup>, V.D. Ozhereliev<sup>\*\*3</sup>, V.I. Surin<sup>\*\*\*4</sup>

\*\*Commissioning Directorate for Stock Company Engineering Company "ASE", Moscow, Russia

\*\*\*Rostov nuclear power plant, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

\*\*\*National Research Nuclear University NRNU «MEPhI», Kashirskoe shosse, 31, Moscow, Russia

1e-mail: anri\_61@ mail.ru

2e-mail: malahov-iv@vdnpp.rosenergoatom.ru

3e-mail: victorozhereliev@yandex.ru

4e-mail: VISurin@mephi.ru

**Abstract** – Tests of the electrophysical system of non-destructive testing are carried out on welded joints of NPP pipelines, and the first experimental results are obtained. The results of the study confirm that the base metal of the welded joints is in a plastically deformed state. A comparison of the results of testing welded joints by scanning contact potentiometry and magnetic anisotropy methods is presented.

Keywords: scanning contact potentiometry method, non-destructive testing of welded joints, magnetic anisotropy method.

# АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАРОВОЙ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

### А.В. Разуваев

Балаковский инженерно технологический институт НИЯУ МИФИ, Балаково, Саратовская обл., Россия

В работе представлен анализ параметров паровой системы поддержания повышенного давления теплоносителя в первом контуре ядерной энергетической установки. На основе проведенного анализа представлены обоснования и предложения для перехода на другую систему поддержания повышенного давления теплоносителя в первом контуре. Дан оценочный расчет экономической эффективности при ликвидации теплонагревающих элементов в корпусе компенсатора давления (КД). По литературным данным представлено изменение механических свойств металла от имеющихся при эксплуатации температур. В результате обоснованы практические выводы на основе проведенного анализа.

*Ключевые слова:* паровая система поддержания давления, ядерная энергетическая установка, температуры теплоносителя первого контура, механические свойства, оценочный экономический эффект.

Создание и работа ядерной энергетической установки (ЯЭУ) с водяным теплоносителем предусматривает создание различных систем для обеспечения ее высокой надежности в сочетании с экономичностью.

Одной из таких систем является система компенсации давления, схема которой представлена в работе [1]. Система компенсации давления необходима для ЯЭУ, где в качестве теплоносителя используется вода под давлением и предназначена для компенсации температурных изменений объема воды в первом контуре. Также она используется для создания давления в контуре ЯЭУ, для поддержания давления в условиях эксплуатации и ограничения отклонений давления в аварийных ситуациях. Компенсатор давления подключается к выходной ветви одной из петель реакторного контура в его неотключаемой части ближе к реактору.

А вот для обеспечения не вскипания воды – теплоносителя и при этом обеспечение гарантии целостности водяного потока в первом контуре ЯЭУ требуется величина давления 15,8 МПа, а как пишется в литературе примерно 160 кгс/см<sup>2</sup> [2]. Поэтому для обеспечения такого давления в первом контуре применяется «паровая подушка».

Для этого в нижней части КД расположены теплонагревающие элементы (ТЭНы). Электрическая мощность одного ТЭНа составляет 90 кВт, а суммарная электрическая мощность всей группы установленных ТЭНов составляет 2520 МВт. При работе первого контура в условиях нормальной эксплуатации включаются ТЭНы и прогревают воду в нижней части объема воды до  $619 \pm 2$  К ( $\sim 346 \pm 2$  °C) и соответственно получается давление пара 15,8 МПа ( $\sim 160$  кгс/см²).

На основании имеющихся параметров работы первого контура получается, что температура теплоносителя необходимая для его работы составляет с одной стороны с учетом теплотехнических параметров и теплопередачи теплоты от первого контуру второму составляет 593 К (320°С), а с другой – обеспечение требуемого давления пара в объеме КД необходимо иметь температуру 619 К (346 °С). Причем так же следует отметить, что такая температура теплоносителя 619 К (346 °С) в нижней части КД и соответственно температура пара в верхней части КД.

Тогда можно предположить, что температура самого корпуса КД по мере прогрева в условиях эксплуатации также будет равна  $\sim$  619 К (346  $^{\circ}$ C).

Оценим изменение теплоотвода от термоизолированной поверхности корпуса реактора.

Принимаем температуру окружающей среды в обоих случаях одинаковой, тогда отношение теплоотводов будет равно отношению разностей температур т.е.  $\Delta t$  при 346 °C и  $\Delta t$  при 320°C. В результате это отношение составит  $\sim 1.104$  ед. т.е. теплоотвод при 619 К (346 °C) увеличится и составит величину порядка 10 %.

Проведем анализ возможного изменения механических свойств применяемого материала КД при изменении его температуры.

Снижение уровня температур корпуса КД на режимах эксплуатации с 619 К (346 °C) до 593 К (320°C) позволит снизить и уровень внутренних термических напряжений между верхней и нижней частью корпуса КД, величины которых следует еще оценить.

Отметим достоинства паровой системы получения и поддержания необходимого давления в первом контуре двух контурной системы с водяным теплоносителем ЯЭУ:

- относительная простота и способ регулирования давления теплоносителя в первом контуре АЭУ и ряд других.
  - Далее отметим некоторые недостатки применяемой типовой паровой системы:
- наличие такой паровой системы поддержания необходимого давления теплоносителя первого контура предполагает наличие двух величин температур: 619 К (346 °C) для создания необходимого давления пара 15,8 МПа в свободном объеме корпуса КД, и 593 К (320°C) рабочая температура теплоносителя первого контура для производства рабочего тела пара для производства электроэнергии.
- наличие ТЭНов в нижней части корпуса КД для повышения температуры теплоносителя и создание при этом «паровой подушки» с необходимым давлением. К затратам следует отнести необходимость приобретение самих ТЭНов для их монтажа в корпусе КД. Наличие ТЭНов предусматривают место установки их в корпусе КД, а это дополнительная технология, так же требующая затрат. Кроме этого, учитывая не совсем надежную работу ТЭНов [3] следует, что это обстоятельство ведет так же к увеличению эксплуатационных затрат.
- как уже было сказано, что в нижней части КД расположены ТЭНы. Электрическая мощность одного ТЭНа составляет 90 кВт, а суммарная электрическая мощность всех групп этих ТЭНов составляет 2520 МВт. А это требует затрат электроэнергии на собственные нужды работы АЭС, мощностью 2,52 МВт, что составляет 0,252 % от производимой электрической мощности. Конечно эта относительная величина не значительная, но если допустить, что стоимость эл/энергии составляет ∼ 1 руб/кВт\*ч и работа ТЭНов составляет в течении года ~ 7000 часов, то можно оценить «не допущенную» величину эл/энергии составит ~ 5 040 000 кВт\*час, экономический эффект оценочно составит 5 040 000 рублей или порядка 5 млн рублей.

На основании проведенного анализа параметров работы паровой системы компенсации давления первого контура АЭУ, учитывая ее преимущества и недостатки предлагается перейти на другой принцип обеспечения необходимого давления, рекомендованный в работе [4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Маргулова, Т.Х.* Атомные электрические станции / Т.Х. Маргулова Издательство по атомной технике (ИздАТ), пятое издание, 1994, 269 с.
- 2. *Дмитриев*, *С.М.* Основное оборудование АЭС с корпусными реакторами на тепловых нейтронах / С.М. Дмитриев, Д.Л. Зверев, А.Г. Орлов [и др.] / под общ. ред. С.М. Дмитриева; НГТУ им. Алексеева Р.Е. Нижний Новгород, 2008. 458 с.
- 3. *Шевченко*, *В.В.* Анализ и разработка мероприятий по уменьшению аварийности электронаревателей. Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, 2009, выпуск 4 (78). С 177-183.
- 4. *Разуваев*, *А.В.* Анализ гидравлической схемы энергоустановок с двигателями внутреннего сгорания/ А.В. Разуваев // Глобальная ядерная безопасность. 2020. № 3(36). С. 73-77.

## Analysis of Steam System to Create and Maintain Elevated Pressure of the First Circuit Coolant of Nuclear Power Plant

#### A.V. Razuvaev

Balakovsky Engineering Institute of Technology NIIAU MIFI, Balakovo, Saratov region, Russia e-mail: vipdomik@mail.ru

**Abstract** – The work presents an analysis of the work and parameters of the steam system system to maintain the high pressure of the coolant in the first circuit of the nuclear power plant. Based on the analysis, there are justifications and suggestions for switching to another system to maintain the elevated pressure of the coolant in the first circuit. An estimate of the cost-effectiveness of the elimination of heat-heating elements in the KD hull has been given. According to literary data, the change in the mechanical properties of metal from the temperatures available in operation is presented. As a result, practical conclusions based on the analysis are substantiated.

Keywords: steam pressure maintenance system, nuclear power plant, temperature of the first circuit coolant, mechanical properties, estimated economic effect.

УДК 621.039.1

# ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НИТРИДНОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВКАХ ВВЭР-1000

## Ю.А. Бондарчук, А.А. Лапкис

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе произведена оценка возможности внедрения мононитрида урана в качестве топлива для водо-водяных энергетических реакторов на тепловых нейтронах. Выполнено сравнение тепломеханических характеристик мононитрида урана и диоксида урана. Проведен анализ изменения коэффициента размножения в процессе выгорания для нитридного и оксидного топлив с учетом наличия двух изотопов азота <sup>15</sup>N и <sup>14</sup>N. Выполнен теплогидравлический расчет, в ходе которого определены температурное распределение в теплоносителе и твэле, максимальная температура топлива и запас до кризиса теплообмена при работе реактора в номинальном режиме.

Ключевые слова: нитридное топливо, водо-водяные реакторы, коэффициент размножения.

Возможность получить с единицы массы топлива больше энергии реализуема посредством ввода новых технико-конструкционных решений либо внедрения новых композиций топливной загрузки. Широко распространенным ядерным топливом является диоксид урана, но ввиду имеющихся свойств  $UO_2$  совершенствование высокоэффективных энергетических установок на оксидном топливе усложняется. Одним из наиболее привлекательных видов высокотемпературного ядерного топлива, пригодного как для быстрых, так и для тепловых реакторов является мононитрид урана [1].

Рассматриваемое нитридное топливо имеет более привлекательные тепломеханические характеристики по сравнению с применяемым керамическим топливом (табл. 1). Его более плотная композиция позволяет получить более высокие теплотехнические показатели и повысить безопасность.

Таблица 1 – Сравнение характеристик мононитрида урана и диоксида урана

Сравниваемый параметр	Мононитрид урана (UN)	Диоксид урана (UO <sub>2</sub> )
Плотность, г/см <sup>3</sup>	14,32	11
Температура плавления, °С	2850	2750
Коэффициент теплопроводности при T=1000K, Вт/(м·°C)	14	11
Коэффициент температурного расширения при Т=1000 К, 1/К	8,4·10 <sup>-6</sup>	3,1·10 <sup>-5</sup>
Термостойкость, Вт/м	18	2
Пористость, %	11	7,8

Цель работы: оценить возможность внедрения мононитрида урана в качестве топлива для водо-водяных энергетических реакторов на тепловых нейтронах.

В качестве программного средства для расчетов был использован программный комплекс Serpent 2.0, реализующий метод Монте-Карло [2].

В программной среде была реализована бесконечная решетка, состоящая из бесконечных по высоте ТВС-2М модификации U49G6, окруженных водой в качестве замедлителя (рис. 1). Рассматриваемая ТВС отличается следующими характеристиками: количество твэлов 306 с обогащением по U-235 4,95 %; 6 твэгов с обогащением по U-235 3,6 % и концентрацией  $Gd_2O_3$  в твэге 5 %.

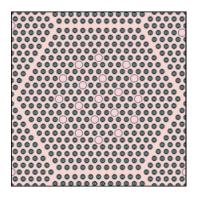


Рисунок 1 – Геометрия, реализуемая

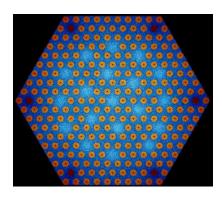


Рисунок 2 — Распределение энерговыделения в программной среде Serpent 2.0

Природный азот состоит из двух стабильных изотопов  $^{14}N - 99,635$  % и  $^{15}N - 0,365$ %. Расчет был проведен для трех видов топлива: UN (на  $^{15}N$ ), UN (на  $^{14}N$ ), UO<sub>2</sub>.

В ходе исследования было изучено изменение эффективного коэффициента размножения  $K_{9\varphi\varphi}$  в процессе выгорания для нитридного и оксидного топлив. Результаты представлены на рисунке 3.

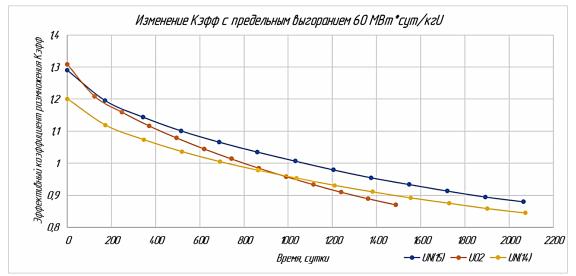


Рисунок 3 – График изменения эффективного коэффициента размножения с учетом выгорания

Коэффициент размножения мононитрида урана ниже аналогичного показателя диоксида урана, а значит, запас реактивности оксидного топлива выше; разница запаса реактивности для  $UN^{15}$  и  $UO_2$  в данном расчете составила 1,38 %, но стоит заметить, что нитридное топливо выгорает более медленно из-за более высокой плотности композиции. Вариант топлива  $UN^{14}$  имеет значительно более низкие показатели, чем его аналог  $UN^{15}$ . Это можно объяснить высоким сечением захвата нейтронов у изотопа  $^{14}$ N. Использование изотопа  $^{14}$ N приводит к увеличению объема газов примерно на 1 %, треть которого относится к водороду. Для  $^{15}$ N, эти реакции отсутствуют. Кроме того, большое беспокойство вызывает трансмутация  $^{14}$ N в  $^{14}$ C — долгоживущий радиоактивный изотоп, который влияет на нейтронную физику нитридного топлива [1, 3].

Также был проведен теплогидравлический расчет с целью обосновать теплотехническую надежность внедряемого топлива.

Температурное распределение в теплоносителе и твэлах, а также тепловые нагрузки находятся в пределах допустимых величин. Максимальная температура внутренней поверхности топливного сердечника ниже 2000 °C, предельно допустимая температура – температура плавления мононитрида урана – составляет 2850 °C.

Минимальный запас до кризиса теплообмена для максимально нагруженного тепловыделяющего элемента составил 1,5. Полученные значения запаса по температуре топлива и запаса до кризиса теплообмена, показывают, что реактор, работая на мононитриде урана, способен выдерживать значительные отклонения от расчетного режима работы.

Проведенное исследование показало, что мононитрид урана может быть применен в реакторах на тепловых нейтронах. Рассматриваемое топливо имеет выраженные тепломеханические преимущества перед оксидным топливом: более высокие показатели по плотности, теплопроводности, термостойкости. Более плотная композиция нитридного топлива имеет более медленный темп выгорания. Прирост длительности кампании водо-водяного реактора при переходе с оксидного топлива на мононитрид урана возможен только при использовании в топливе азота, обогащённого по <sup>15</sup>N. Внедрение мононитрида урана в качестве топлива для легководных реакторов требует решения вопроса по величине обогащения азота изотопом <sup>15</sup>N.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Алексеев*, *С.В.* Нитридное топливо для ядерной энергетики / С.В. Алексеев, В.А. Зайцев. Техносфера, 2013. 244 с.
- 2. Leppänen, J., et al. (2015) The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013. Ann. Nucl. Energy [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://montecarlo.vtt.fi/.
- 3. *Копырин, А.А.* Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива / А.А. Копырин, А.И. Карелин, В.А. Карелин. Атомэнергоиздат, 2006. 574 с.

# Justification of Possibility of Using Uranium Nitride as Nuclear Fuel for WWER-1000 Reactor

# Y.A. Bondarchuk, A.A. Lapkis<sup>1</sup>

National Research Nuclear University Moscow Engineering Physics Institute Volgodonsk Engineering Technical Institute (branch), Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

1e-mail: aalapkis@mephi.ru

**Abstract** – The report assesses the possibility of using uranium mononitride as a fuel for VVER reactors. The thermal and mechanical characteristics of uranium mononitride and uranium dioxide were compared. The analysis of changes in the multiplication coefficient during burnout for nitride and oxide fuels was performed with regard the presence of two nitrogen isotopes <sup>15</sup>N μ <sup>14</sup>N. A thermohydraulic calculation is performed, during which the temperature distribution in the coolant and fuel element, the maximum fuel temperature and the critical power ratio during the reactor at rated power operation are determined.

Keywords: nitride fuel, water water energy reactors, multiplication coefficient.

# ДИАГНОСТИКА ПОВОРОТНО-РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АРМАТУРЫ МЕТОДОМ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА

## Д.В. Швец, И.А. Микшин, В.Я. Шпицер

Волгодонский инженерно-технический институт НИЯУ МИФИ, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В исследовательской работе проанализирована проблема выхода из строя регулирующей арматуры при обрыве вала-шестерни в период нормальной эксплуатации. Для выявления типичных отклонений и причин выхода из строя электроприводной арматуры были проанализированы амплитудно-частотные спектры токового сигнала, снятые на одной или нескольких фазах электродвигателя. Принятый для анализа метод спектрального диагностирования позволяет обнаружить скрытые дефекты арматуры, не обнаруженные при других видах анализа. С целью обоснования проведенного исследования спектральный анализ проводился на регулирующих клапанах, установленных в системах основного конденсата и питательной воды энергоблоков ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200.

*Ключевые слова*: диагностика арматуры, спектральный метод, АЭС, электроприводная арматура, регулирующие клапана, дефект ходовой части, вал-шестерня.

Целью проведения исследовательской работы обозначены:

- выявить признаки в амплитудно-частотном спектре характерные для отклонений в работе ходовой части электроприводной арматуры (ЭПА) важной для безопасности в энергоблоках проекта B-320 и B-392M;
- вынесение рекомендаций по настройке арматуры исследуемых типоразмеров, для повышения ее надежности и срока эксплуатации.

Регулирующие клапаны DN 700 устанавливаются в энергоблоках водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР) типа В-320 и В-392М, и служат управляющими органами для регулирования расхода проходящей среды. Конкретно в проведенной работе будут рассмотрены арматуры системы основного конденсата с функцией регулирования уровня в подогревателе низкого давления— 2 и деаэраторе, а также регулирующие клапаны питательной воды второго контура.

Конструктивно вал-шестерня изготовлен из легированной, коррозионно-стойкой, жаропрочной стали 14X17H2[1]. Рабочий чертеж детали представлен ниже (рис. 1).

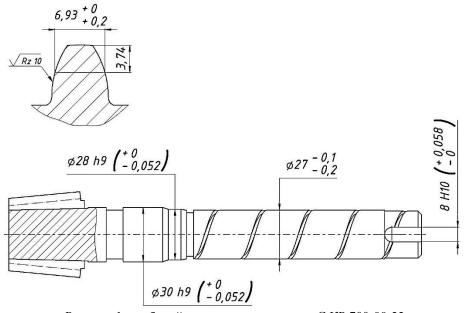


Рисунок 1 – рабочий чертеж вала-шестерни С.КР 700-00-22

Недостаточная надежность данного типа арматур обусловлена конструкцией ходового узла. Основными повреждающими факторами при этом считаются малоцикловая усталость материала, напряженно-деформированное состояние конструкции в местах концентрации напряжений, повышенная температура, давление и коррозионное влияние среды.

Выявление причин возможного технического отказа и поломки трубопроводной арматуры, а также обоснования продления межремонтного периода, может быть, возможно, при использовании современных методов оценки технического состояния арматуры, таких как техническая диагностика токовых сигналов, вибродиагностика, тепловизионный контроль (ТВК) [2].

Использования спектрального анализа [3] позволяет выявить дефекты, которые не могут быть обнаружены в результате использования анализа диагностических параметров временного сигнала и дает возможность уточнения оценки технического состояния ЭПА. Спектры фактически зарегистрированного сигнала могут быть использованы для сравнения с эталонами на данный типоразмер, для установления тенденции и прогнозирования изменения технического состояния арматуры в процессе эксплуатации.

Рассмотрим арматуру, установленную в системе основного конденсата энергоблоков BBЭР-1200 с типоразмером С.КР. 700-00-00-Э (рис. 2) [4].

Проанализировав спектр, были выявлены отклонения:

- появление модулирующих частот в районе «несущей» частоты fc=50 Гц;
- увеличение амплитуды частоты вращения ЭД;
- выявление горба «белого шума» в районе основной частоты электродвигателя;
- асимметрия спектра по основным частотам.

Обобщение результатов проведенного амплитудно-частотного анализа, позволяет обнаружить скрытые дефекты, приводящие в будущем к разрушению вала и останову энергоблока. Опишем характерные отклонения:

- значительная нагрузка на электродвигатель (износ упорно-радиальных подшипников);
  - начальная стадия образования дефектов резьбовой части ходового узла;
  - отклонения в настройке ограничителей момента на электроприводе;
- потеря формы (деформация) пружинных блоков и загрязнение смазки или ее недостаток в редукторе.

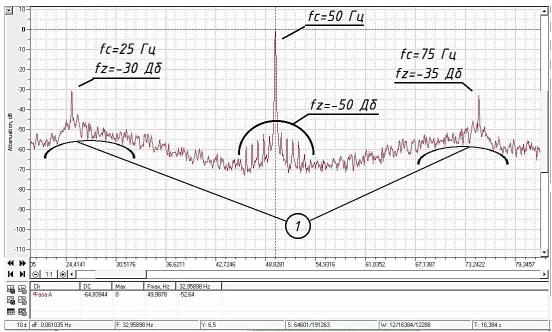


Рисунок 2 – Спектр токового сигнала с дефектом ходового узла (DN 700)

Данные отклонения являются следствием неправильного выбора материалов, недостаточным ТОиР и конструкцией регулирующего органа данного типа арматур. Как следствие, удается обнаружить проблемы с материалами и конструкций, например:

- усталостные трещины в металле шпинделя и обоймы, возникающие из-за повторно-переменных напряжений от вибрации клина, при движении рабочей среды в трубопроводе, во время нормальной эксплуатации;
- трещины и разрушения металла из-за неправильной настройки ограничителей момента ЭП и концевых выключателей;
- отсутствие в процедуре ТОиР контролям металла замкового узла шпинделя и обоймы, которое позволило бы заранее выявить и устранить обнаруженные дефекты.

Проведенная исследовательская работа позволят определиться с ключевыми моментами по применению спектрального анализа для обнаружения склонности регулирующей арматуры к появлению скрытых дефектов и недостаточной надежности. После изучения особенностей данного типа регулирующей арматуры, рекомендуется проводить диагностику токовыми сигналами после каждого осуществляемого ремонта с целью устранения и предотвращения последующих инцидентов с разрушением ходового узла и остановом блока.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. ГОСТ 5632-72 «Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки» ИПК Издательство стандартов, Москва, 2001. 64с.
- 2. МТ 1.2.3.02.999.0085 «Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры. Методика» ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2010. 127с.
- 3. Синельщиков П.В. Информационно-измерительная система для диагностирования электроприводной арматуры атомных станций на основе вейвлет-преобразования: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / П.В. Синельщиков. Волгоград, 2011. 18c.
- 4. СТО 1.1.1.01.0069 «Правила организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных станций» АО «Концерн Росэнергоатом», Москва, 2021. 112с.

#### Diagnostics of Rotary Control Valves by Amplitude-Frequency Analysis

D.V. Shvets<sup>1</sup>, I.A. Mikshin<sup>2</sup>, V.Ya. Shpicer<sup>3</sup>

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

> <sup>1</sup>e-mail: svecdima6@gmail.com <sup>2</sup>e-mail: mikshin89@mail.ru <sup>3</sup>e-mail: shpitser@mephi.ru

**Abstract** – The research work considers and analyzes the problem of failure of control valves in case of shaft-gear break during normal operation. In order to identify typical deviations and causes of failure of the electrically driven valves, the amplitude-frequency spectra of the current signal taken at one or more phases of the electric motor were analyzed. The method of spectral diagnostics adopted for analysis allows detecting hidden defects of reinforcement not detected in other types of analysis. In order to justify the study, spectral analysis is carried out on control valves installed in the main condensate and feedwater systems of power units VVER-1000 and VVER-1200.

*Keywords*: diagnostics of valves, spectral method, deviations in operation, electrically driven valves, undercarriage defect, shaft-gear, main condensate system.

# **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ВИБРОМОНИТОРИНГА ТУРБОАГРЕГАТОВ**

#### Д.А. Плотников, В.И. Лачин, В.К.М. Алджиязна

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Ростовская обл., Россия

В работе кратко изложены результаты исследований авторов в области разработки систем вибромониторинга (СВМ) турбоагрегатов. Приведена структура модульной СВМ на базе протокола *CANopen*, описаны средства моделирования коммуникационных процессов в системе. Представлены методы самодиагностики и взаимной диагностики элементов СВМ, а также метод уменьшения дополнительной температурной погрешности измерения параметров вибрации, основанный на определении текущего значения коэффициента преобразования пьезоакселерометра. Описаны методы повышения эффективности использования вычислительных ресурсов микропроцессорных средств в СВМ.

*Ключевые слова*: вибромониторинг, модульная система, пьезоакселерометр, повышение точности измерений, интеллектуальный датчик.

Возникновение и развитие дефектов в различных частях роторной машины в большинстве случаев сопровождается изменением параметров вибрации её элементов, а в некоторых ситуациях вибрация является не только индикатором, но и причиной развития дефектов. Поэтому одной из наиболее универсальных и совершенных методик диагностики роторных машин, к которым относятся и турбоагрегаты (ТА) электростанций, является вибродиагностика, т.е. выявление дефектов на основе анализа параметров вибрации элементов машины. Следовательно, разработка и внедрение высоконадёжных средств вибромониторинга и вибродиагностики позволит предотвратить аварии с катастрофическими последствиями, продлить срок службы ТА и сократить сроки ремонта за счёт обнаружения дефектов на самых ранних стадиях их возникновения.

Работа авторов в этой области ведётся по следующим направлениям:

- разработка масштабируемой модульной структуры цифровой системы вибромониторинга (СВМ) ТА;
- повышение отказоустойчивости СВМ за счёт внедрения средств самодиагностики;
- повышение точности измерения параметров вибрации;
- повышение эффективности использования вычислительных ресурсов микропроцессорных средств с целью улучшения технико-экономических показателей СВМ.

Остановимся коротко на каждом из этих направлений.

Модульная структура СВМ (рис. 1) обусловлена тем, что для ТА электрических станций характерна необходимость измерения однотипных групп параметров в нескольких точках, количество которых зависит от сложности ТА. Примерами таких групп могут служить ортогональные составляющие вибрации опор, шеек роторов и некоторые другие. В модульной СВМ каждый модуль обслуживает одну группу параметров, а количество модулей определяется сложностью ТА. Такой подход улучшает ремонтопригодность СВМ и упрощает масштабирование системы, однако требует организации надёжного и эффективного межмодульного взаимодействия, которое реализовано авторами с использованием протокола *CANopen* на базе интерфейса *CAN*. Для анализа коммуникационных процессов в сети передачи данных разработан метод оценки времени доставки сообщений, с его использованием создана программно-логическая модель CBM, позволяющая путём имитационного

моделирования оценить влияние количества модулей и параметров их настройки на уровень загрузки сети, а также подобрать параметры, обеспечивающие наиболее эффективное использование пропускной способности сети. В дальнейшем полученные результаты применяются при автоматизированном формировании части исходных текстов программного обеспечения СВМ, при этом практически исключается возможность возникновения ошибок.

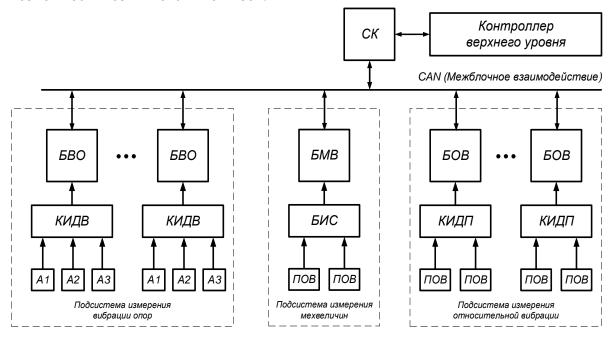


Рисунок 1 — Структура модульной СВМ (An –акселерометр; БВО – блок вибрации опор; БИС – блок измерения смещений; БМВ – блок мехвеличин; БОВ – блок относительной вибрации; КИДВ – контроллер интеллектуального датчика вибрации; КИДП – контроллер интеллектуального датчика перемещения; ПОВ – преобразователь относительной вибрации; СК – системный контроллер)

Повышение отказоустойчивости СВМ позволяет системе правильно работать (возможно, с частичной потерей функциональности) в случае отказа некоторых её элементов. При этом важно своевременно обнаружить отказавший элемент, исключить или минимизировать его влияние на работу других элементов и уведомить обслуживающий персонал об отказе. Для выявления отказов авторами предложены методы взаимной диагностики и самодиагностики элементов СВМ.

Метод логической диагностики основан на формировании множества логических признаков («вибрация в норме», «вибрация выше уровня 1», «вибрация выше уровня 2» и т.п.) для каждой контролируемой составляющей вибрации и последующем анализе согласованности этих признаков. Например, истинное значение признака «вибрация выше уровня 2» подразумевает истинность признака «вибрация выше уровня 1», в противном случае имеет место отказ соответствующего канала измерения. Кроме того, существенное повышение уровня какой-либо составляющей вибрации опоры ротора должно сопровождаться заметным увеличением уровней других составляющих вибрации этой же опоры и смежных опор. Если такое увеличение не обнаружено, формируется предупреждение о возможном отказе измерительного канала. Помимо выявления отказов, использование этого метода уменьшает вероятность ложного срабатывания защиты или сигнализации по вибрации в 2...3 раза в зависимости от числа контролируемых опор.

Метод определения исправности пьезоакселерометра (ПА) позволяет выявить отказ ПА в процессе нормального функционирования ТА и СВМ. Метод основан на возбуждении затухающих свободных колебаний чувствительного элемента (ЧЭ) ПА, выделении этих колебаний из сигнала вибрации и измерении их частоты — так

называемой частоты установочного резонанса (УР). Изменение частоты УР более чем на 15...20 % информирует о неисправности ПА, ослаблении его крепления или о недопустимом изменении коэффициента преобразования. Использование метода в интеллектуальных датчиках вибрации позволяет с необходимой периодичностью проверять исправность ПА без его демонтажа и без остановки ТА.

Повышение точности измерения параметров вибрации в рабочем диапазоне температур достигается путём использования метода дистанционного измерения коэффициента преобразования (КП) ПА. Метод основан на определении параметров функции  $q(t) = Qe^{-t/\tau}\cos(\omega t)$ , описывающей затухающие свободные колебания ЧЭ ПА. Можно показать, что КП ПА K связан с величиной Q выражением  $K = C\sqrt{Q}$ , где C – некоторая константа. Эталонное значение  $K_0$  измеряется традиционными способами в ходе регламентных работ, затем средствами СВМ определяется соответствующая величина  $Q_0$  и вычисляется C. В процессе работы СВМ периодически определяет текущее значение  $Q_i$  и вычисляет  $K_i = C\sqrt{Q_i}$ . Полученное значение  $K_i$  используется для автоматической коррекции коэффициента передачи измерительного канала с целью компенсации дополнительной температурной погрешности. Использование метода позволяет уменьшить дополнительную температурную погрешность измерения виброскорости с 7...12 % до 1...1.5 %.

Повышение эффективности использования вычислительных ресурсов позволяет либо уменьшить стоимость элементов СВМ за счёт применения более простых микроконтроллеров, либо реализовать дополнительные функции без увеличения стоимости аппаратных средств. С этой целью авторами разработан ряд методов и выполнены их экспериментальные исследования. Предложенный метод оптимизации поиска данных в объектном словаре устройства СА Nopen с использованием хештаблины основан выборе таких параметров хеш-функции  $h(k) = \{k \times a/2^{16}\} \times m$ , которые обеспечивают отсутствие коллизий для объектов, имеющих наибольшую вероятность обращения к ним. Метод позволяет более чем в 2.5 раза уменьшить среднее время поиска объекта по сравнению с поиском по двоичному дереву и на 17...20 % – по сравнению с поиском по хеш-таблице без оптимизации. Предложенный метод преобразования меток времени при реализации протокола NTP за счет использования арифметики с фиксированной точкой обладает в 7 раз большим быстродействием по сравнению с типовой реализацией. Выполненные экспериментальные исследования способов взаимодействия с последовательным сформулировать рекомендации приемопередатчиком позволили авторам применению прямого доступа к памяти или использованию прерываний в зависимости от размера передаваемого массива данных.

Описанные методы и средства внедрены в промышленную и опытную эксплуатацию более чем на 10 электростанциях  $P\Phi$ , а также используются авторами при разработке новых устройств и систем вибромониторинга и вибродиагностики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 *Плотников*, Д.А. Оценка времени отклика элементов в модульных информационноизмерительных и управляющих системах, использующих интерфейс CAN / Д.А. Плотников // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. − 2017. − № 1. − С. 13-18.
- 2 *Плотников, Д.А. и др.* Разработка модели межмодульного взаимодействия в системах контроля вибрации на базе протокола CANopen / Д.А. Плотников, В.И. Лачин, В.К.М. Алджиязна, К.Ю. Соломенцев // Изв. вузов. Электромеханика. 2020. Т. 63, № 2-3. С. 68-75.
- 3 Свид. о гос. рег. прогр. для ЭВМ 2020610500 РФ. Моделирование межмодульного взаимодействия в системах на базе протокола CANopen (CanOpenAnalyzer) / Д.А. Плотников, В.К.М. Алджиязна; Роспатент. № 2019667012; заявлено 19.12.19, зарег. 15.01.20.
- 4 *Плотников*, Д.А. и др. Реализация функций самодиагностики интеллектуальных датчиков вибрации / Д.А. Плотников, В.И. Лачин // Изв. ЮФУ. Техн. науки. 2012. № 3. С. 241-251.

- 5 Пат. 99182 РФ, МПК G01P15/09. Устройство дистанционного измерения резонансной частоты пьезоэлектрического акселерометра / Д.А. Плотников, А.К. Малина, В.И. Лачин. № 2010118405/28; заявлено 6.05.10, опубл. 10.11.10, Бюл. №31.
- 6 *Плотников*, Д.А. и др. Экспериментальное исследование метода повышения точности интеллектуального датчика вибрации / Д.А. Плотников, В.И. Лачин // Вестник Брянского государственного технического университета. 2012. № 3. С. 72-77.
- 7 Пат. 99158 РФ, 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, Бюл. №31.
- 8 D A Plotnikov, W K M Aljeazna, V I Lachin K Yu Solomentsev Peculiarities of NTP Protocol Realization for Microprocessor Systems with Limited Computing Resources / J. Phys.: Conf. Ser. 1661 012009, https://doi.org/10.1088/1742-6596/1661/1/012009.
- 9 Плотников, Д.А. и др. Повышение эффективности межмодульного взаимодействия в системах контроля вибрации путём использования прямого доступа к памяти. Часть 2 / Д.А. Плотников, В.И. Лачин, В.К.М. Алджиязна // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. − 2020. − № 1. − С. 18-24.

#### Digital Technologies in Vibration Monitoring Systems of Turbine Units

#### D.A. Plotnikov, V.I. Lachin, W.K.M. Aljeazna

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia e-mail: dpl68@mail.ru

**Abstract** – The paper summarizes the results of the authors' research in the development of turbine units' vibration monitoring systems (VMS). The structure of a modular VMS based on the CANopen protocol is presented, and the means of communication processes modeling are described. Methods of the VMS elements self-diagnostics and mutual diagnostics, as well as a method for reducing the additional temperature error in vibration parameters measuring, based on determining the current value of the piezoaccelerometer conversion coefficient are presented. Methods for increasing the efficiency of using the microprocessor means computing resources in the VMS are described.

Keywords: vibration monitoring, modular system, piezoaccelerometer, measurement accuracy improving, intelligent sensor.

УДК 621.039.516.4

# ВОСПРОИЗВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА ТОПЛИВА ВВЭР-440 И ВВЭР С СКД ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ЗАМКНУТОМ ЯДЕРНОМ ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ

#### К.С. Аксенова, А.А. Лапкис

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе проведено исследование воспроизводящих свойств активной зоны водоохлаждаемого реактора ВВЭР с теплоносителем сверхкритических параметров при использовании в замкнутом ядерном топливном цикле, в сравнении с теми же свойствами прототипа – ВВЭР-440. Актуальность исследования определяется потребностью повышения КПД, улучшением характеристик воспроизводства топлива в имеющихся проектах легководных реакторов. В работе представлена сравнительная динамика изотопного состава ОЯТ действующих ВВЭР и реакторов, охлаждаемых водой сверхкритического давления. Установлено, что спектральные, размножающие и воспроизводящие свойства топливных загрузок ВВЭР-440 и ВВЭР с теплоносителем сверхкритических параметров сближаются по

мере замещения урана плутонием в топливе при многократном рецикле. Ввиду того, что оксиды плутония используются в качестве энергетического источника для космической техники и топлива в ядерных реакторах, был выполнен анализ динамики изотопного состава плутония при многократном рецикле. Показано, что при выгорании топлива в реакторе, охлаждаемого водой сверхкритического давления, нарабатывается плутоний с меньшим содержанием старших изотопов.

*Ключевые слова*: ВВЭР, обогащение, топливная загрузка, ВВЭР-СКД, коэффициент полезного действия, коэффициент воспроизводства, воспроизводство топлива, рецикл топлива, плутоний.

Цель работы: определить воспроизводящие свойства активной зоны (АЗ) ВВЭР с теплоносителем сверхкритического давления (СКД) при использовании в замкнутом ядерном топливном цикле, в сравнении с теми же свойствами прототипа – ВВЭР-440.

Исследование проводилось с помощью программного комплекса Serpent версии 2.1.30, основанного на методе Монте-Карло [1]. В данной работе была использована библиотека JEFF-3.1.1 разработки NEA [2].

Расчёт исследуемых параметров выполнялся с учетом реальных характеристик A3 данного вида. Изначально топливная загрузка представляет собой диоксид урана  $UO_2$ . Практическое обогащение топлива реактора BBЭP-440 — 3,5% по U-235. Длина кампании — 30 месяцев с тремя перегрузками.

По итогу расчёта выгорания было установлено, что коэффициент размножения ( $K_{\infty}$ ) с исходного значения 1,34 снижается до единицы за 305 суток. Полученное выгорание топлива составило 26,7 МВт·сут/кг, что соответствует реальному эксплуатационному значению (среднее выгорание топлива ВВЭР-440 — 28 МВт·сут/кг [3]).

Длина кампании ВВЭР с СКД теплоносителем также должна быть равна 305 суток. Это значение достигается при обогащении 7,25% по U-235. Глубина выгорания равна  $26,7 \, \mathrm{MBt} \cdot \mathrm{сут}/\mathrm{kr}$ .

Для расчёта каждой последующей кампании учитывалась загрузка регенерированного плутониевого топлива, разбавленного ураном заданного обогащения. Обогащение разбавляющего урана в новом топливе подбиралась таким образом, чтобы сохранить заданную длину кампании. Доля регенерированном топливе была зафиксирована.

После каждой кампании в реакторе нарабатываются изотопы плутония, из которых в расчёте рецикла учтены семь: Pu-236, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242, Pu-243. В выходном файле получены их массовые плотности. Ввиду того, что на практике извлечение плутония производится химическим способом, и отсутствует возможность разделения, ищем средневзвешенную атомную массу плутония.

$$M_{Pu} = \frac{\sum A \cdot m_{di}}{\sum m_{di}},$$

где A — атомная масса изотопа;

 $m_{di}$  — массовая плотность изотопа в смеси.

Для загрузки следующей кампании нам необходимо знать массовые доли изотопов в топливе  $UO_2+PuO_2$ . Задаём обогащение плутония  $(x_{pu})$  и разбавляющего урана  $(x_{u235}$  и  $x_{u238})$  в смеси.

Теперь необходимо рассчитать средневзвешенную атомную массу уран-плутониевой смеси. Расчёт проводится по формуле:

$$M_{U-Pu} = x_{Pu} \cdot M_{Pu} + x_{U235} \cdot 235 + x_{U238} \cdot 238$$

Массовая доля кислорода находится следующим образом:

$$\omega_O = \frac{32}{M_{U-Pu} + 32}$$

Массовые доли U-235 и U-238 находим по формуле:

$$\omega_{Ui} = y \cdot (1 - \omega_O),$$

где y — доля каждого изотопа в уран-плутониевой смеси. Массовые доли каждого изотопа плутония:

$$\omega_{Pui} = \frac{x_{Pu} \cdot (1 - \omega_O) \cdot mdi}{\sum mdi}$$

По итогу моделирования был рассчитан эффективный коэффициент воспроизводства топлива за кампанию. Различия в коэффициенте воспроизводства топлива в данных АЗ несущественны.

В работе был выполнен анализ динамики концентрации актиноидов ОЯТ за шесть кампаний. Из-за того, что практически 90% в топливной загрузке занимает U-238, на графиках он отсутствует. На рисунках 1 и 2 представлены получившиеся распределения для топлива ВВЭР-440 и ВВЭР с СКД теплоносителем, где указанные на графике значения соответствуют концу каждой последующей кампании, а номер кампании указан на оси абсцисс.

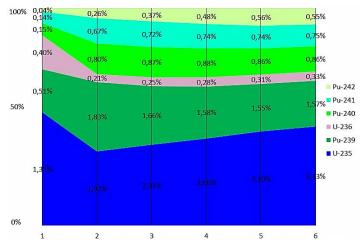


Рисунок 1 – Динамика изотопного состава ОЯТ с массовой долей более 0,1% в АЗ ВВЭР-440

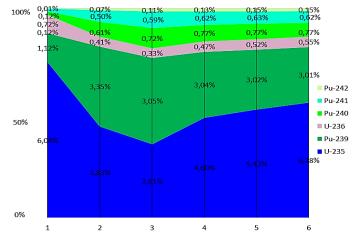


Рисунок 2 – Динамика изотопного состава ОЯТ с массовой долей более 0,1% в АЗ ВВЭР с СКД теплоносителем

Был выполнен анализ динамики изотопного состава плутония при многократном рецикле. В результате полученных распределений можно сделать вывод: в реакторе ВВЭР с теплоносителем сверхкритических параметров нарабатывается более «чистый» состав плутония с меньшим содержанием старших изотопов 240-243.

В ходе данной работы было установлено, что спектральные, размножающие и воспроизводящие свойства топливных загрузок ВВЭР с СКД теплоносителем и ВВЭР-440 сближаются по мере замещения урана плутонием в топливе при многократном рецикле. Различия в коэффициенте воспроизводства топлива в данных АЗ несущественны, при этом при заданных параметрах при выгорании вторичного топлива в реакторе ВВЭР с теплоносителем сверхкритического давления нарабатывается плутоний с более высоким содержанием Ри-239 и меньшим содержанием старших изотопов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. J. Leppänen, M. Pusa, T. Viitanen, V. Valtavirta, and T. Kaltiaisenaho. The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013. Ann. Nucl. Energy, 82 (2015) 142-150.
- 2. The JEFF-3.1.1 Nuclear Data Library, JEFF Report 22, NEA No. 6807, OECD 2009.
- 3. *Денисов, В.П.* Реакторные установки ВВЭР для атомных электростанций / В.П. Денисов, Ю.Г. Драгунов. Москва : ИздАТ, 2002. 480 с.

# Reproductive Properties of WWER-440 and WWER- SCWR When Used in a Closed Nuclear Fuel Cycle

# K.S. Aksenova<sup>1</sup>, A.A. Lapkis<sup>2</sup>

National Research Nuclear University Moscow Engineering Physics Institute Volgodonsk Engineering Technical Institute (branch), Volgodonsk, Rostov region, Russia

<sup>1</sup>e-mail: kseniya 08.26.2014@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: aalapkis@mephi.ru

Abstract – This work considers a study of the reproducing properties of the active zone of a water-cooled WWER reactor with a supercritical coolant when used in a closed nuclear fuel cycle, in comparison with the same properties of the prototype – WWER-440. The timeliness of this study is determined by the need to increase NPP thermal efficiency and improve the characteristics reproduce fuel in already known projects of light-water reactors. The paper presents the comparative dynamics of the isotopic composition is obtained for operating VVER and reactors cooled with supercritical water. In the course of this work, it was found that the spectral, multiplying, and reproducing properties of the WWER-440 and WWER reactor with a supercritical coolant converge as uranium is replaced by plutonium in the fuel during repeated recycling. In view of the fact that plutonium oxides are used as an energy source of energy for nuclear technology and fuel in nuclear reactors, therefore an analysis was made of the change of the plutonium isotopic composition during multiple recycling. It is shown that during fuel burnup the plutonium with a lower content of heavier isotopes is produced in supercritical watercooled reactor.

*Keywords*: VVER, enrichment, fuel loading, VVER-SCWR, efficiency, conversion ratio, fuel conversion, nuclear fuel recycling, plutonium.

# ГРАДУИРОВКА ТОКОВОГО КАНАЛА СУЗ ПО ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ РЕАКТОРА ВК-50

## К.В. Будаев

Димитровградский инженерно-технологический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Димитровград, Ульяновская обл., Россия

Приведены результаты градуировки аппаратуры СУЗ кипящего реактора ВК-50 по тепловой мощности.

*Ключевые слова:* тепловая мощность, реактор ВК-50, ионизационная камера КНК-4, аппаратура СУЗ, теплотехнические параметры теплоносителя.

Многоцелевой исследовательский кипящий реактор ВК-50, расположенный на площадке АО «ГНЦ НИИАР» в г. Димитровграде, был пущен в 1965 году и до сих пор является единственным представителем установок этого класс в России. В связи с широким кругом проводимых экспериментов весьма актуальной остается задача контроля эффективности органов управления и регулирования. В данной работе приведены результаты градуировки токового канала аппаратуры системы управления и защиты (СУЗ) по тепловой мощности на начало 49 кампании.

Метод градуировки основан на пропорциональной зависимости плотности нейтронного потока в месте установки ионизационной камеры КНК-4 аппаратуры СУЗ от энерговыделения в активной зоне реактора (тепловой мощности реакторной установки).

Между ионизационным током камеры и тепловой мощностью существует прямо пропорциональная зависимость:

$$I = f(N_m),$$

где I – значение тока ионизационной камеры, мA;

 $N_m$  – значение тепловой мощности реакторной установки, МВт.

Отклонение от линейного закона может быть обусловлено особенностями конструкции активной зоны кипяшего реактора, значительной неравномерностью распределения плотности потока нейтронов по высоте активной зоны и ее изменением из-за выдвижения групп рабочих органов ручного регулирования (РО РР) при выходе на новый уровень мощности реактора ВК-50, а также близостью расположения токовых камер к периферийному ряду тепловыделяющих сборок (ТВС) [1]. Токовые камеры расположены за корпусом реактора по периферии на расстоянии 2,2 м от центра активной зоны (от центральной ТВС) и 1 м от периферийной ТВС.

Метод расчета тепловой мощности реактора (ТМР) основан на балансовых соотношениях теплосодержаний расходов теплоносителя, поступающего в корпус реактора и отводящего из корпуса. Значение ТМР рассчитывают по детальному уравнению баланса расходов, учитывающему теплосодержание теплоносителя (воды деаэратора), поступающего в корпус реактора и на охлаждение приводов СУЗ, теплосодержание насыщенного пара, поступающего из корпуса реактора на турбину, а также насыщенной воды, выходящей из корпуса реактора в систему водоочистки для дальнейшего повторного использования, а также изменения теплосодержания теплоносителя в реакторе и металла корпуса в режиме работы РУ без кипения (режиме разогрева или расхолаживания реактора) [2].

При пуске реактора с выходом на номинальный уровень мощности, на каждом шаге изменения мощности (5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-80, 80-100, 100-

120, 120-140, 140-160, 160-180, 200 МВт) были измерены и зарегистрированы значения тока трёх ионизационных камер и тепловая мощность  $(N_m)$ , определяемая по теплотехническим параметрам реактора. Для каждой из трех ионизационных камер определены градуировочные характеристики в форме таблиц и графиков изменения тока камеры от мощности.

Погрешность результатов градуировки токового канала при доверительной вероятности 0,95 соответствует характеристикам, представленным в таблице 1.

Градуировочные характеристики токовых каналов аппаратуры СУЗ по тепловой мощности реактора ВК-50 на начало 49 кампании представлены на рисунках 1-3.

Зависимости силы тока от тепловой мощности реактора для каждой токовой камеры имеют вид, близкий к линейной аппроксимации, коэффициенты корреляции 1-го, 2-го и 3-го токовых каналов равны 0,99, 0,98, 0,99 соответственно.

Полученные результаты градуировки токовых каналов аппаратуры СУЗ используются оперативным персоналом управления реактором в качестве контрольной величины при пуске, выходе на новый уровень мощности и останове реактора ВК-50.

Таблица 1 – Значение погрешности МИ в зависимости от диапазона тепловой мощности и значений тока ионизационных камер

Диапазон значений мощности, МВт	тепловой	Диапазон значений тока, А			
		10 <sup>-9</sup>	$10^{-8}$ - $10^{-7}$	$10^{-6}$ - $10^{-4}$	
		Доверительные границы относительной неисключенной систематической погрешности при доверительной вероятности P=0,95			
2-65		6,5%	4,7%	3,5%	
65-200		7,4%	5,9%	5,0%	

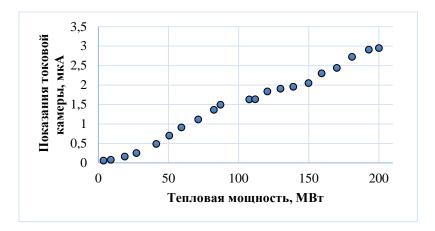


Рисунок 1 – Градуировочная характеристика 1-го токового канала аппаратуры СУЗ по тепловой мощности реактора ВК-50 на начало 49 кампании

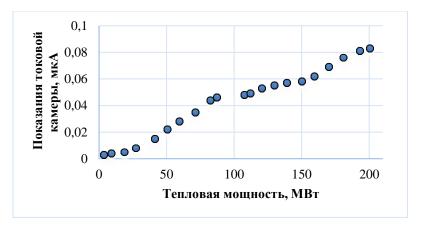


Рисунок 2 – Градуировочная характеристика 2-го токового канала аппаратуры СУЗ по тепловой мощности реактора ВК-50 на начало 49 кампании

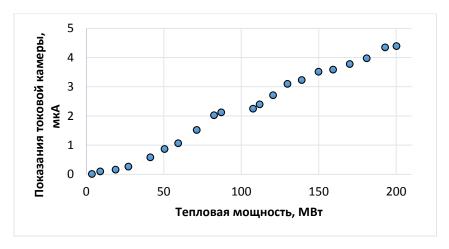


Рисунок 3 – Градуировочная характеристика 3-го токового канала аппаратуры СУЗ по тепловой мощности реактора ВК-50 на начало 49 кампании

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Ривкин, С.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. М.: Энергия, 1980. 364 с.
- 2. *Антонов, С.Н.* Нейтронно-физические характеристики и ядерная безопасность корпусного кипящего реактора (по результатам исследований реакторной установки ВК-50) / С.Н. Антонов, И.И. Семидоцкий, В.Е. Шмелев [и др.] // Сборник трудов ГНЦ НИИАР. Димитровград, 1996. Вып. 3. С. 29-46.

# Graduation of the Current Channel of the Control and Protection System Equipment at Thermal Power of the Boiling Water Cooled Reactor VK-50

#### K.V. Budaev

Dimitrovgrad engineering and technological Institute -branch of the National Research Nuclear University (Moscow Engineering Physics Institute), Dimitrovgrad, Russia e-mail: budayev-k@mail.ru

**Abstract** – The results of the calibration of the control and protection system equipmen of the boiling water cooled reactor VK-50 by thermal power are presented.

*Keywords:* Thermal power, VK-50 reactor, KNK-4 ionization chamber, equipment, heat engineering parameters of the coolant.

# ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ АЭС МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИМИ АЛГОРИТМАМИ: ПРОБЛЕМА ВЫБОРА ВАРЬИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

#### М.В. Конюшин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

В последнее время активно исследуется использование метаэвристических алгоритмов для решения оптимизационных задач в области атомной энергетики, например для оптимизации топливных загрузок ядерных реакторов или параметров тепловых схем энергоблоков атомных электрических станций (АЭС). Однако при использовании таких алгоритмов для решения задачи оптимизации параметров тепловых схем энергоблоков АЭС возникает проблема выбора набора варьируемых параметров, в связи с тем, что различные наборы параметров могут приводить к существенно различным результатам оптимизации, даже при условии близких значений критерия выбора оптимального решения. В работе проанализировано влияние различного набора варьируемых параметров на результаты решения задачи оптимизации для тепловой схемы энергоблока АЭС Бушер при использовании различных метаэвристических алгоритмов: генетический алгоритм, алгоритм гравитационного поиска, метод роя частиц и алгоритм стратегии охоты китов.

*Ключевые слова*: АЭС, тепловая схема, метаэвристические алгоритмы, варьируемые параметры, генетический алгоритм, алгоритм гравитационного поиска, метод роя частиц, алгоритм стратегии охоты китов, паровая турбина, эксергетический анализ

На современном этапе исследований в области оптимизации тепловых схем энергоблоков АЭС [1, 2] предлагается использование метаэвристических алгоритмов оптимизации для решения задачи оптимизации параметров и состава тепловой схемы. Главной особенностью данных алгоритмов оптимизации является получение искомого решения за приемлемое для исследователя время [3].

В основном исследователи сконцентрировали свое внимание на вопросе обоснования эффективности того или иного метаэвристического алгоритма оптимизации. Однако при анализе проведенных исследований, было выяснено, что в различных работах авторы использовали различные наборы варьируемых параметров (decision variables), которые изменялись с целью получения оптимального значения параметров тепловых схем. Более того, авторы не приводят в работах обоснование выбора варьируемых параметров. В результате этого возникает вопрос: насколько влияет выбор варьируемых параметров на результаты работы алгоритмов.

Для наиболее полного понимания влияния выбора варьируемых параметров на результаты работы метаэвристических алгоритмов оптимизации, необходимо сравнить результаты исследований, обладающими определенными критериями:

- рассмотрение оптимизации однотипной тепловой схемы АЭС с точки зрения состава и взаимосвязей схемы;
- использование одного и того же критерия нахождения оптимального решения (с точки зрения применения метавэристических алгоритмов оптимизации данный критерий называется функцией приспособленности);
- использование одновременно однотипных и различных метавэристических алгоритмов оптимизации;
- использование различных наборов варьируемых параметров, в том числе и различного количества параметров.

С учетом вышеуказанных критериев, были проанализированы две работы [1, 2] в связи с тем, что в обеих работах:

- рассматривается однотипная тепловая схема для АЭС Бушер;

- критерием нахождения оптимального решения является минимум потери эксергии в тепловой схеме;
- в обеих работах рассмотрены результаты использования генетического алгоритма (Genetic Algorithm, GA), но в тоже время и результаты использования других алгоритмов, например в работе [1] приведены результаты использования алгоритма гравитационного поиска (Gravitational Search Algorithm, GSA), а в работе [2] – метода роя частиц (Particle Swarm Optimization, PSO) и алгоритм стратегии охоты китов (Whale Optimization Algorithm, WOA);
- в работе [1] в качестве набора варьируемых параметров использованы следующие: давления пара в первых двух отборах цилиндра высокого давления паровой турбины (ЦВД), давления пара в отборах с первого по третий цилиндра низкого давления (ЦНД), температуры основного конденсата за подогревателями низкого давления ПНД-1, ПНД-2, ПНД-3, перед деаэратором и температура питательной воды за подогревателем высокого давления ПВД-5;
- с другой стороны в работе [2] в качестве набора варьируемых параметров были использованы другие параметры: давление генерируемого пара в парогенераторе, расход пара на пароперегреватель, расходы пара в трех отборах ЦВД, расходы пара в отборах с первого по третий ЦНД, температуры основного конденсата за подогревателями низкого давления ПНД-1, ПНД-2, ПНД-3, перед деаэратором и температура питательной воды за подогревателем высокого давления ПВД-5.

Как видно, среди выбранных варьируемых параметров авторами работ [1,2] есть пять общих параметров: температуры основного конденсата за подогревателями низкого давления ПНД-1, ПНД-2, ПНД-3, перед деаэратором и температура питательной воды за подогревателем высокого давления ПВД-5, остальные параметры отличаются. Общее количество параметров в работе [1] - 10, в работе [2] - 13.

В таблице 1 приведены результаты относительных отклонений параметров тепловой схемы от значений для базового варианта тепловой схемы АЭС Бушер при

TCHIJIODON	CACMIDI	or sha lennin	дли оазового	baphanna renn	JBOH CA		ушер при
использон	вании	различных	алгоритмов	оптимизации.	Были	сравнены	значения
относительно набора варьируемых параметров, использованных в работе [1].							
Тоблица 1	<b>В</b> озунт л	COTIL OTHOGHTANI	III IV OTEHOHAIHI	пороматров таппов	oŭ oveni	•	

Помолють	Работа [1]		Работа [2]		
Параметр	GA	GSA	WOA	GA	PSO
Давление, бар					
ЦВД отбор 1	0,07%	0,26%	5,03%	6,08%	8,12%
ЦВД отбор 2	-7,41%	-1,30%	18,30%	22,51%	30,43%
ЦНД отбор 1	9,34%	13,06%	230,56%	269,96%	337,91%
ЦНД отбор 2	9,74%	10,56%	1,66%	1,66%	1,66%
ЦНД отбор 3	-6,80%	-19,83%	1,51%	1,51%	1,51%
Температура, ℃					
Основного конденсата за ПНД-1	-2,05%	-6,50%	-1,88%	-0,75%	-3,99%
Основного конденсата за ПНД-2	-6,75%	-10,56%	-4,97%	-4,97%	-4,97%
Основного конденсата за ПНД-3	-4,66%	-3,91%	0,94%	0,97%	0,97%
Основного конденсата перед Д	-1,96%	-2,30%	-1,55%	0,11%	-1,55%
Питательной воды за ПВД-5	-0,22%	0,39%	0,64%	0,68%	0,05%
Функция приспособленности, МВт	-1,17%	-1,17%	-2,76%	-2,77%	-2,75%

Таблица 1 – Результаты относительных отклонений параметров тепловой схемы

Как видно из результатов, представленных в таблице 1, относительное отклонение значений функции приспособленности отличается не более чем на 3 %, что может говорить о том, что различные алгоритмы оптимизации дают приближенные результаты с точки зрения критерия нахождения оптимального решения. Таким образом, можно прийти к выводу, что различные наборы варьируемых параметров при использовании различных алгоритмов оптимизации могут дать приблизительно одинаковое оптимальное решение.

Однако если обратить внимание на значение давления пара в первом отборе ЦНД, то в случае использования набора варьируемых параметров из работы [2], относительное отклонение значения давления может достигать более 300% от значения для базового варианта, т.е. вместо значения для базового варианта 1,96 бар, в результате работы алгоритма получается, что оптимальным значением является 8,58 бар.

Такое существенное изменение в значении давления пара в отборе обусловлено тем, что из-за популяционной природы алгоритма, при задании варьируемых параметров необходимо выбирать диапазон значений для каждого из варьируемых параметров. В связи с тем, что в работе [1] именно давление пара в первом отборе ЦНД было выбрано в качестве варьируемого параметра, этой величине были заданы ограничения на значения от 1,9 бар до 2,25 бар, но в работе [2] давление пара в первом отборе ЦНД не являлось варьируемым параметром, в результате чего полученное в результате работы алгоритма значение вышло из диапазона значений давлений, принятых в работе [1].

Таким образом, использование метаэвристических алгоритмов оптимизации при решении задачи, выбора параметров тепловых схем энергоблоков АЭС может приводить к существенному изменению результатов оптимизации в случае выбора различного набора варьируемых параметров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Naserbegi*, A. A novel exergy optimization of Bushehr nuclear power plant by gravitational search algorithm (GSA) / A. Naserbegi, M. Aghaie, A. Minuchehr, Gh Alahyarizadeh // Energy. − 2018. − № 148. − P. 373-385.
- 2. *Ebrahimgol, H.* A novel approach in exergy optimization of a WWER1000 nuclear power plant using whale optimization algorithm / H. Ebrahimgol, M. Aghaie, A. Zolfaghari, A. Naserbegi // Annals of Nuclear Energy. − 2020. − T. 145. − № 107540.
- 3. *Пантелеев*, *А.В. и др.* Метаэвристические алгоритмы глобальной оптимизации / А.В. Пантелеев, Д.В. Скавинская. Москва : Вузовская книга, 2019. 332 с.

# The Optimization of Nuclear Power Plants Heat Balances by Metaheuristic Algorithms: Problem of Selecting Decision Variables

## M.V. Konyushin

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University , St. Petersburg, Russia e-mail: konyushin\_mv@spbstu.ru

**Abstract** – Recently, the use of metaheuristic algorithms for solving optimization problems in the field of nuclear energy, for example, for optimizing the fuel loads of nuclear reactors or the parameters of heat balances of power units of nuclear power plants (NPPs), has been actively studied. However, when using such algorithms to solve the problem of optimizing the parameters of heat balances of nuclear power units, the problem arises of choosing a set of decision parameters, due to the fact that different sets of parameters can lead to significantly different optimization results, even if the criteria for choosing the optimal solution are close. The paper analyzes the influence of a different set of decision parameters on the results of solving the optimization problem for the heat balances of the Bushehr NPP power unit using various metaheuristic algorithms: Genetic Algorithm, Gravitational Search Algorithm, Particle Swarm Optimization, and Whale Optimization Algorithm.

*Keywords:* NPP, heat balance, metaheuristic algorithms, decision parameters, Genetic Algorithm, Gravitational Search Algorithm, Particle Swarm Optimization, Whale Optimization Algorithm, steam turbine, exergy optimization.

# ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПЛАНОВЫХ ОСТАНОВОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНО-КООРДИНАТНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА РАСПИСАНИЙ

А.А. Нагибин\*<sup>\*,\*\*</sup>, Ю.И. Козлов<sup>\*\*</sup>, М.В. Конюшин<sup>\*</sup>

\*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
\*\*\*AO «АТОМПРОЕКТ», Санкт-Петербург, Россия

Оценка эксплуатационной готовности – неотъемлемый этап проектирования современных АЭС, позволяющая определить качество того или иного проекта АЭС. Однако, на сегодняшний день не существует логико-вероятностных методов расчета длительности плановых остановов – одной из составляющих годового проектного коэффициента готовности, который является основным эксплуатационным показателем готовности. Статистическая оценка не позволяет оценить длительность плановых остановов для новых энергоблоков на этапе проектирования. Для разработки методов и способов решения задачи оценки увеличения длительности плановых остановов энергоблоков нового поколения на стадии проектирования можно применить векторно-координатный метод синтеза расписаний, с помощью которого имеется возможность выполнить автоматизированное построение план-графика останова АЭС с учетом множества различных факторов. В результате многократного синтеза расписания ППР была получена кумулятивная функция распределения длительности ППР, а также само расписание ППР.

Ключевые слова: перепростой энергоблока при ППР, плановый останов, останов для ремонта, ППР, продолжительность ППР, ВВЭР-1200, эксплуатационная готовность, годовой проектный коэффициент готовности, теория расписаний, векторно-координатный метод синтеза расписаний.

Согласно РБ-100-15 [1], оценка эксплуатационной готовности является неотъемлемым этапом проектирования современных энергоблоков АЭС.

Целями и задачами оценки эксплуатационной готовности согласно [2] являются:

- демонстрация достаточности требуемых показателей готовности сооружений, систем и компонентов для удовлетворения целевых показателей производственной готовности АЭС;
- обеспечение достаточной надёжности станции, заложенной на стадии проектирования, для достижения целевых значений по общей готовности;
- обеспечение информации для использования будущим владельцем для проведения мероприятий по обеспечению надёжности АЭС (мероприятий, связанных с эксплуатацией и техническим обслуживанием);
- обеспечение удовлетворения целевых показателей в части продолжительности плановых остановов:
- сбалансированность проекта эксплуатационной готовности всей станции и предотвращение дорогостоящего проектирования сооружений, систем и компонентов с чрезмерным запасом прочности.

Согласно [3] продолжительность любых работ, в том числе выполняемых во время ППР, является случайной величиной, а, следовательно, и продолжительность плановых остановов является также случайной. Таким образом, время планового останова АЭС может быть как больше референтной продолжительности, так и меньше. Перепростой энергоблока во время планового останова не только влияет на экономические показатели работы энергоблока, но и значительно влияет на годовой проектный коэффициент готовности, который является важнейшим показателем качества проекта АЭС.

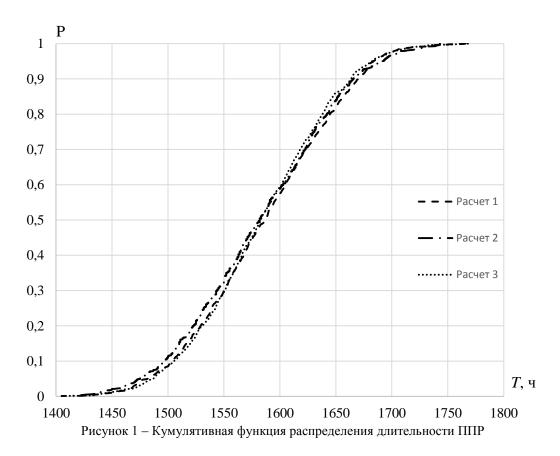
Статистическая оценка перепростоев позволяет оценивать перепростой энергоблоков старых проектов (ВВЭР-1000 и ВВЭР-440) но не позволяет выполнить

оценку перепростоев для новых энергоблоков на стадии проектирования. Поэтому необходимо разрабатывать способы и методы решения задачи оценки перепростоев энергоблоков нового поколения в плановых ремонтах на стадии проектирования.

Векторно-координатный метод синтеза расписаний [4] можно применить для расчета длительности плановых остановов энергоблоков АЭС, с помощью которого имеется возможность выполнить автоматизированное построение плана-графика останова с учетом следующих факторов:

- количество ресурсов;
- технологическая последовательности выполнения операций;
- вероятностный характер продолжительности работ;
- возможное появление нештатных ситуаций (пожары, затопления, отказы систем энергоблока, функционирующих во время остановов (охлаждение бассейна выдержки, вентиляция и т.д.)) которые приводят к изменению длительности работ планового останова.

В ходе многократного составления плана-графика проведения ППР по разработанным алгоритмам с применением векторно-координатного метода синтеза расписаний была получена кумулятивная функция распределения длительности ППР. Расчет был выполнен 3 раза, во время каждого расчета была выполнена генерация 1000 план-графиков ППР. На рисунке 1 представлена кумулятивная функция распределения длительности ППР.



Исходя из графика, представленного на рисунке 1, можно сделать заключение, что вероятность того, что длительность ППР, например, для значения менее 1548 часов составляет, приблизительно, 30%.

Получение оценки средней длительности планового останова энергоблока может быть основано на проведении многократного имитационного моделирования технологического процесса выполнения ремонта с учетом различных факторов. Тем самым может быть получена кумулятивная функция распределения длительности ППР.

С помощью данной методики также возможна оценка чувствительности длительности планового останова от принятых в рассмотрение факторов, путем вариации интересуемых величин. Выполнение расчетов длительности планового останова энергоблока позволит не только повысить качество оценки эксплуатационной готовности энергоблоков, но и обосновывать количество ресурсов, необходимых для проведения ППР, для обеспечения наименьших финансовых затрат.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. РБ-100-15 Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по порядку выполнения анализа надежности систем и элементов атомных станций, важных для безопасности, и их функций» / М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2015. 115 с.
- 2. European utility requirements for LWR nuclear power plants. Volume 2. Generic and nuclear island requirements. Chapter 18 Performance assessment methodology. Revision E. December 2016., P. A1-A5.
- 3. *Барсук, В. А. и др.* Математические методы планирования и управления в хозяйстве связи / В.А. Барсук, Н.М. Губин. Москва : Связь, 2014. 340 с.
- 4. *Козлов, Ю.И.* Автоматизация технологических процессов технического обслуживания и ремонта корабельных ЯЭУ: дис. канд. техн. наук [Текст] / Ю.И. Козлов. Санкт-Петербург, 1994 143 с.

# Estimation of the Duration of Planned Shutdowns of NPP Power Units Based on the Vector-Coordinate Method for the Synthesis of Schedules

A.A. Nagibin\*,\*\*, Yu I. Kozlov\*\*, M.V. Konyushin\*

\*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

\*\*OJSC «ATOMPROEKT», St. Petersburg, Russia

e-mail: konyushin\_mv@spbstu.ru

Abstract – The operational availability assessment is an integral stage in the design of modern nuclear power plants, which makes it possible to determine the quality of the nuclear power plant design. However, today there are no logical-probabilistic methods for calculating the duration of planned shutdowns - one of the components of the annual design availability factor, which is the main operational indicator of availability. Statistical evaluation does not allow to estimate the duration of planned shutdowns for new power units at the design stage. To develop methods and methods for solving the problem of assessing the increase in the duration of planned shutdowns of new generation power units at the design stage, it is possible to apply the vector-coordinate method for the synthesis of schedules, with the help of which it is possible to perform an automated construction of a NPP shutdown schedule considering many different factors. As a result of multiple schedule synthesis of the planned shutdown, the cumulative distribution function of the planned shutdown duration was obtained, as well as the planned shutdown schedule itself.

*Keywords:* Unscheduled duration extensions, planned shutdown, shutdown for repair, preventive maintenance, duration of preventive maintenance, VVER-1200, operational availability, annual design availability factor, scheduling theory, vector-coordinate method for the synthesis of schedules.

# ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПРИОРИТЕТНОГО ЗНАЧЕНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

### Е.С. Молошная, И.М. Антонец

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия ООО «Анториус», г. Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе приведены основные моменты развития ветроэнергетики в целом, а так же текущая энергетическая ситуация в Ростовской области. Плюсы и минусы ветроэнергетики. Устройство и принцип работы современных ветроэнергетических установок. Приведено и посчитано основное потребление потребителей в процентном соотношении. Возможность и рентабельность строительства ветроэлектростанций в южном регионе согласно климатических условий.

*Ключевые слова*: ветроэлектростанция, ветроустановка, электрические потери, потребление электроэнергии в южном регионе, производство электроэнергии в южном регионе, ветропарки Ростовской области.

На настоящий момент суммарная установленная мощность электростанций в Ростовской области (без учета ветроэлектроустановок), 7000 МВт. В процентном соотношении по выработке мощности занимает Ростовская АЭС – 56% далее ТЭС – 41%, ГЭС 3% и малые предприятия 0,08%. Следует понимать, что Новочеркаская ГРЭС мощностью 2200 МВт работает в режиме вынужденной генерации, то есть стоимость выработанной электроэнергии не покрывает расходов на её производство.

Безусловно, мощность атомной электростанции имеет приоритетное значение. Однако в существующих местных и районных энергосистемах имеет место быть дефициту электроэнергии. В этих условиях удобно, совместно с атомной электростанцией, локально размещать альтернативные источники электроэнергии без использования углеводородов.

За 2020 год выработка электроэнергии составила 3,1 миллиард кВт·ч. Кроме того, электроэнергия транспортируется в Астраханскую область, Ставропольский и Краснодарские края, Республики Калмыкии и в Крым. Потребление в Ростовской области составило же 1,9 миллиард кВт·ч. При этом основное потребление по потребителям составило:

37% - промышленость;

22% - другие виды экономической деятельности;

20%-население;

14%- потери;

7% - транспорт и связь. [1]

Анализируя график прогноза потребления электроэнергии (рис. 1), можно видеть тенденцию её роста. Это обуславливается развитием экономики и увеличением населения.



Рисунок 1 – График прогноза потребления электроэнергии

Ввиду вышесказанного, в Ростовской области принят план модернизации региональной электрической системы и строительства шести ветропарков общей мощностью 900 МВт. Почему ветроэнергетика? Дело в том, что ветер является возобновляемым ресурсом, так как Солнце дает нам миллиарды гигаВатт энергии и всего лишь около одного процента затрачивается на поддержание движения воздушных масс, однако этого достаточно, что бы перекрыть наши нужды в части потребления электроэнергии на ближайший век.

Таким образом, к 2024 году планируется ввести 3,27 ГВт электроэнергии от ветроэлектростанций, что составит 2,5% от производимой электроэнергии в России. Современные технологии ветроэнергетики вышли на уровень, позволяющий конкурировать с углеводородами. Стоит заметить, что Нидерланды к 2050 году планируют полностью перейти на возобновляемые источники энергии [2].

В СССР были попытки развития ветровой электроэнергетики. В частности были построены такие комплексы ВЭС «Радуга-1» мощностью 1МВт при стартовой скорости ветра 5 м/с. Но в виду несовершенства технологий программа была закрыта.

Новый этап развития возобновляемых источников электроэнергии стал одним из приоритетных федеральной энергетической стратегии и Южный регион оказался одним из наиболее подходящих для локализации проектов. Климатические условия Ростовской области вполне соответствуют требованиям ветроустановок по напору ветра. Для генерации электроэнергии ветроэлектроустановкой стартовый порог скорости ветра 2,1 м/с, а номинальная скорость ветра составляет 13 м/с, что является среднегодовым показателем на высоте 50 м. В Ростовской области введены в эксплуатацию или находятся на этапе строительства семь ветропарков общей мощностью 675,2 МВт.

Выработка энергии осуществляется путем вращения ветроколеса потоками ветра, в свою очередь ветроколесо приводит в движение ротор синхронного многополюсного генератора. Трехфазное напряжение промышленной частоты на выходе получают силовым инверторным преобразователем тока. Выходное напряжение параллельно включенных ветрогенераторов составляет 600В, и подается на вводное устройство подстанции, где повышается до уровня 35 кВ и затем включается в региональную энергосистему 35-110 кВ.

Развитие Ветроэнергетики позволит улучшить надежность и качество электроснабжения районных и региональных энергетических систем Южного региона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Лозин, В.В.* Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Ростовской области на 2021 2025 годы [Электронный ресурс] / Лозин, В.В. // Официальный портал Правительства Ростовской области. Режим доступа: https://www.donland.ru/activity/1133/.
- 2. *Галиева*, *Ю.А.* Атомный Эксперт [Электронный ресурс] / Галиева, Ю.А // Технологии. #6\_2018. Режим доступа: https://atomicexpert.com/novawind rosatom.

# Possibility of Using Wind Power Plants in Conditions of Priority Importance of Nuclear Power

E.S. Moloshnava<sup>\*1</sup>, I.M. Antonets<sup>\*\*2</sup>

\*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360 \*\*LLC «Antorius» Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360 <sup>1</sup>e-mail: VITIkafAE@mephi.ru <sup>2</sup>e-mail: antonec777@rambler.ru

**Abstract** – The work presents the main points of development of wind power in general, as well as the current energy situation in the Rostov region. The pros and cons of wind power. Design and operating principle of modern wind power plants. The main consumption of consumers in percentage ratio is given and calculated. Possibility and profitability of construction of wind power plants in the southern region according to climatic conditions

*Keywords:* Wind power plant, wind plant, electric losses, electricity consumption in the southern region, electricity production in the southern region, wind parks of the Rostov region.

## == СЕКЦИЯ

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС

УДК 62.91.25(006.91)

# ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ОЦЕНОК ТЕХНОГЕННОГО РИСКА

## А.Г. Юферов

Обнинский институт атомной энергетики – филиал НИЯУ «МИФИ», г. Обнинск, Калужская обл., Россия

Сравнивается ряд возможных оценок неопределённости техногенного риска - среднее квадратическое отклонение, вероятностная квантильная характеристика, энтропийная оценка интервала неопределенности.

Ключевые слова: техногенный риск, оценка непределённости.

Современные методики оценки техногенных рисков [1] опираются на алгоритмы, предложенные достаточно давно [2]. Однако ряд аспектов, которые полезно учитывать при оценке, в рамках классических подходов не проработан в достаточной степени. Это касается выбора шкал для представления оценок риска и характеризации неопределённости оценок в этих шкалах. В настоящее время неопределённость рисков как величина рассматривается применительно только к КОР - количественной оценке риска [3]. Это обусловлено отчасти тем, что решения, предлагаемые современными метрологическими стандартами для описания интервала неопределенности [4], применимы только к количественным шкалам, в которых допустимы арифметические операции. Имеют место следующие подходы.

- 1. Среднее квадратическое отклонение (СКО) трактуется как «стандартная неопределенность». СКО удобно тем, что различные источники неопределённости учитываются посредством суммирования дисперсий (возможно, с учётом корреляционного вклада). Применительно к оценке риска как среднего ущерба для каждого узла дерева событий это означает, что неопределённость оценки в узле есть среднеквадратичное «неопределённостей» инцидентных данному узлу ветвей.
- 2. Вероятностная квантильная характеристика указывает интервал неопределённости и доверительную вероятность долю попаданий в этот интервал. Для многих законов распределения установлена простая связь СКО и ширины интервала неопределённости при доверительной вероятности 90%:  $d_{0.9}=1.6\sigma$ . Это соотношение можно использовать для квантильной оценки, когда закон распределения не известен (что характерно для практических ситуаций оценки рисков).
- 3. Очевидно, при назначении доверительной вероятности имеет место определённый произвол. Для его исключения предлагается [5] использовать энтропийную оценку интервала неопределенности  $d_{\mathfrak{g}} = \exp(H)$ , где H энтропия распределения. При этом для различных распределений вычисление энтропии приводит к соотношению  $d_{\mathfrak{g}} = K_{\mathfrak{g}} \sigma$ , где  $K_{\mathfrak{g}}$  энтропийный коэффициент, зависящий от конкретного распределения.

Как видим, среднее квадратическое отклонение фигурирует во всех схемах описания интервала неопределенности. Оно содержательно интерпретируется и применимо как в вероятностных, так и в детерминированных моделях погрешности. Поэтому представляется целесообразным именно его использовать для описания

неопределённости оценки риска. Рассмотрим, например, многоуровневую формулу Фарбера, выражающую итоговый риск как взвешенную сумму ущерба по иерархии источников или моментов появления ущерба

$$Q = \sum_{j_1=1}^{n_1} p_{j_1} \sum_{j_2=1}^{n_2(j_1)} p_{j_1 j_2} \cdots \sum_{j_r=1}^{n_r(j_1, \dots, j_{r-1})} p_{j_1 j_2 \dots j_r} q_{j_1 j_2 \dots j_r}$$

Здесь, при равновероятности и некоррелированности источников, неопределённость конечного ущерба выражается средним квадратическим первичных ущербов. С другой стороны, СКО складываются алгебраически при большой коррелированности источников. Это даёт существенно отличающиеся значения неопределённости. Иные значения будут иметь место и при учёте временных и стохастических свойств величин p и q [6].

Таким образом, СКО пригодно как характеристика неопределённости количественной оценки риска, но для сопоставимости оценок необходимо указывать использованные модель и алгоритм расчёта. Однако СКО неприменимо в порядковых шкалах, используемых при экспертном ранжировании событий.

Описанные выше меры неопределённости характеризуют разброс единичной оценки риска (ущерба). Но понятие неопределённости применимо и для характеристики совокупности событий в целом. Так, очевидно, что для равновероятных событий (источников риска) неопределённость максимальна в отношении выбора наиболее важного (наиболее опасного) события. Здесь мерой неопределённости может выступать энтропия

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i ,$$

принимающая максимальное значение в случае равновероятности событий  $(p_i=1/n)$  и равная нулю при наличии единственного события.

События могут быть ранжированы по степени опасности, то есть «измерены» в порядковой шкале. Необходимость такого упорядочения обусловлена тем, что опасность (возможный ущерб) не всегда может быть выражен количественно. Конечная цель подобных ранжирований направлена, как правило, на выявление «наиболее важного» события, в отношении которого необходимо провести дополнительные исследования, внедрить предупредительные меры и т.п. Качество или результат ранжирования также может характеризоваться в терминах неопределённости. Максимальная неопределённость ранжирования имеет место, когда все события имеют один ранг, минимальная — когда каждое событие характеризуется своей степенью опасности — событиям присвоены разные ранги. Множество возможных распределений событий по n рангам изоморфно множеству разбиений числа событий n на 1,2,...,n слагаемых. В таком случае в качестве меры неопределённости можно использовать нумерующую функцию разбиений [7], равную нулю на разбиении n=n (все события имеют один ранг) и принимающую максимальное значение на разбиении n=1+1+...+1 (каждому событию присвоен свой ранг, отличный от прочих).

Предметом дальнейших обсуждений здесь может быть учёт распределения конкретных событий (например, с определённой вероятностью реализации) по конкретным рангам, а также введение такой характеристики как удалённость события во времени. Последняя косвенно отражает существенность отдалённых последствий исходного события, которые с течением времени могут тем или иным образом нивелироваться. В таком случае имеем векторную оценку события из трёх компонент: вероятность, ранг, момент наступления события. Такой подход представляется

полезным обобщением традиционного понимания риска как частоты реализации опасностей. При этом для временной характеристики — удалённости от исходного события, измеряемой в интервальной шкале, применимы обычные дисперсионные или энтропийные оценки неопределённости.

В отношении векторных оценок возникает вопрос о сравнительной важности компонент. Если компоненты не ранжированы (одинаково важны), то, очевидно, имеет место максимальная неопределённость в отношении важности оценок. Упорядоченность компонент по важности индуцирует, в свою очередь, аналогичную упорядоченность всей совокупности рассматриваемых событий — сначала по первой, наиболее важной компоненте, затем по второй и третьей. Степень неопределённости ранжирования событий по важности, полученного на основе векторных оценок, может быть выражена указанной выше нумерующей функцией или же векторной оценкой неопределённости, компоненты которой вычислены по соответствующим компонентам векторных оценок отдельных событий.

Описанные конструкции и виды неопределённости могут обобщаться в различных направлениях, обеспечивая многоаспектный анализ рисков и предоставляя возможность совместного рассмотрения количественных и качественных (экспертных) оценок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов РД 03-418-01. Москва : Госгортехнадзор России, 2010. 40 с.
- 2. *Хенли, Э.Дж.* Надежность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото ; перевод с английского В. С. Сыромятников. Москва : Машиностроение, 1984. 528 с.
- 3. *Колесников*, *Е.Ю.* Способы количественной оценки неопределенности параметров техногенного риска / *Е.Ю. Колесников* // Безопасность труда в промышленности. -2013. -№ 1. C. 56.
- 4. ГОСТ 34100.3-2017 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Москва : Стандартииформ, 2017. 114 с.
- 5. *Новицкий*, *П.В.* Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. Ленинград : Энергоатомиздат, 1991. 304 с.
- 6. *Острейковский, В.А.* Модели показателей риска в теории техногенной безопасности сложных систем / В.А. Острейковский, С.П. Саакян // Фундаментальные исследования. 2012. № 9. С. 162-166.
- 7. *Юферов, А.Г.* О построении нумерующих функционалов на комбинаторных множествах / А.Г. Юферов // Кибернетика. 1980. № 5. С. 28.

# **Estimation of Uncertainty of Technogenic Risk Estimates**

#### A.G. Yuferov

Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia e-mail: anatoliy.yuferov@mail.ru

**Abstract** – A number of possible estimates of the uncertainty of technogenic risk are compared: the mean square deviation, the probabilistic quantile characteristic, and the entropy estimate of the uncertainty interval.

Keywords: technogenic risk, uncertainty assessment.

# ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПОСЛЕ ТЕЧИ ЭКВИВАЛЕНТНЫМ ДИАМЕТРОМ 100 ММ И РАЗРЫВА ДЫХАТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ КОМПЕНСАТОРА ДАВЛЕНИЙ

**М.Т. Акобян**\*\*, **А.И. Ксенофонтов**\*, **С. Саргсян**\*\*

\*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия
\*\*\*Армянская атомная электростанция, Мецамор, Армения

Параметры аттестации на условия окружающей среды (AУОС) определяются для всех областей/участков, где находится электрическое оборудование, которое должно функционировать в неблагоприятных условиях окружающей среды во время и после аварий, в том числе с потерей теплоносителя и разрыва высокоэнергетического трубопровода, важными при ликвидации аварии, чей отказ может привести к проблемам оборудования. Температура и давление в любой важной области/зоне блока — основные параметры аттестации на условии окружающей среды. Целью данной работы заключается в определении параметров (давление, температура, влажность, радиационный фон) для аттестации оборудования на условия окружающей среды в пределах гермообъема (ГО) и граничащих с ним помещениях Армянской АЭС.

Ключевые слова: радиационный фон, ядерная безопасность, окружающая среда.

Теплогидравлические расчетные коды используются для определения выбросов массы и энергии, возникающих в результате разрыва трубопровода, а также для определения конечных значений температуры, давления и уровней влажности в подвергнутых воздействию областях/зонах блока как внутри, так и за пределами гермообъема с учетом задействованных станционных противоаварийных систем и оборудования. Рассчитанные условия окружающей среды могут существенно отличаться в зависимости от проекта и конфигурации блока. Эти расчетные коды используют консервативные предположения, которые максимально увеличивают выброс массы и энергии в окружающую среду и уменьшают теплоперенос и охлаждение в окружающей среде. Предположения приводят к консервативным значениям температуры, давления и влажности, используемые для аттестации оборудования.

В исследовании процесс аттестации оборудования определение параметров АУОС является одним из основных шагов. На рисунке 1 представлен один из возможных подходов к аттестации оборудования, а также подчеркивается положение и роль идентификации параметров АУОС в процессе.

Основная цель анализа представленных сценариев переходных процессов для АУОС, заключается в том, чтобы исследовать вопрос: приведут ли аварийные ситуации, возникшие вследствие развития исходных событий с потерей запаса теплоносителя систем 1-го контура к превышению максимальных температур оболочки ТВЭЛ, нарушению проектного давления 1-го или/и 2-го контура, а также к превышению регламентированных условий работ персонала. Результаты (массовый расход в течь и соответствующая энтальпия) расчетов RELAP были использованы в качестве исходных данных для анализа поведения ГО с помощью кода MELCOR.

Расчеты выполняются для оценки надежности охлаждения активной зоны реактора ВВЭР-440/270 (ААЭС, блок 2) и эффективности системы аварийной подпитки во время аварии с уменьшением запаса теплоносителя в системе 1-го контура.

Для расчетов, использовался компьютерный код RELAP5/Mod3.2.

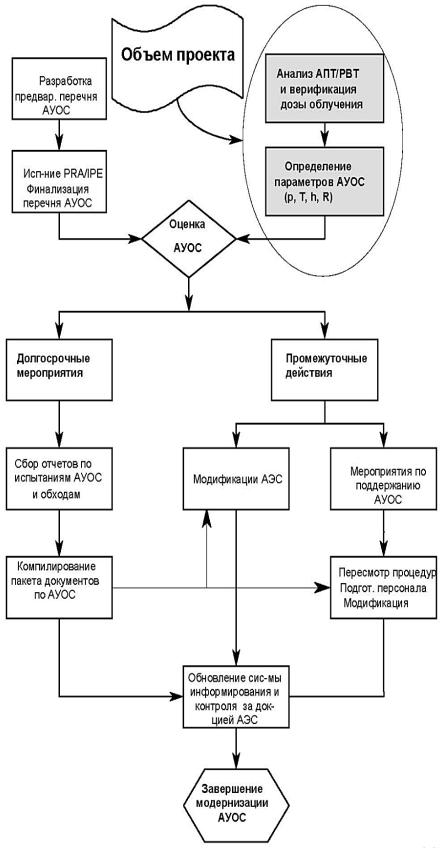


Рисунок 1 – Расположение зон определяемый параметров в процессе АУОС

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. CFR 50.49, EQ Rule, «Environmental qualification of electric equipment important to safety of nuclear power plants», Nuclear Regulatory Commission, 2016, p. 11681-11686.
- 2. CFR 50, Appendix A, «General Design Criteria for Nuclear Power Plants», Nuclear Regulatory Commission, 2011, p. 1-9.

3. NUREG-0588 "Interim Staff Position on Environmental Qualification of Safety-Related Electrical Equipment".

# Assessment of Environmental Conditions after a Leak with an Equivalent Diameter of 100 mm and a Rupture of Pressure Compensator Breathing Line

M.T. Hakobyan\*\*1, A.I. Ksenofontov\*2, S. Sargsyan\*\*3

\*National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

\*\*Armenian nuclear power plant, Metsamor, Armenia

le-mail: marine\_h@mail.ru

e-mail: aiksenofontov@mephi.ru

e-mail: sossargsyan@yahoo.com

Abstract – The environmental assessment parameters (EAS) are defined for all areas / sites where electrical safety equipment is located, which must function in adverse environmental conditions during and after accidents, including with loss of coolant and rupture of a high-energy pipeline, important in the elimination of an accident, whose failure may lead to equipment problems. The temperature and pressure in any important area/area of the unit are the main parameters of the certification on the environmental condition. The purpose of this work is to determine the parameters (pressure, temperature, humidity, radiation background) for the certification of equipment for environmental conditions within the hermetic volume and adjacent premises of the Armenian NPP.

Keywords: radiation background, nuclear safety, environment.

УДК 504.5: 614.876: 629.73-519

# СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БДК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

**И.А.** Родионов\*, А.П. Елохин\*\*

\*НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия
\*\*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В работе проводится краткий анализ применения беспилотных дозиметрических комплексов (БДК) для поиска и оценки степени радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности. На примере выполненных работ на территории России и зарубежья, показан спектр задач БДК и рассмотрены возможные его модернизации и усовершенствования, а также перспективы развития. Применение БДК позволит не только сократить негативные риски переоблучения персонала, ведущего радиационную разведку, но и позволит получить в кратчайшие сроки качественную информацию о радиационной обстановке. Внимание в работе уделено программе полета беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), составу дозиметрического комплекса, математическому обеспечению и выбору БПЛА.

*Ключевые слова:* радиационный мониторинг, радиоактивное загрязнение, окружающая среда, БПЛА, БДК.

На сегодняшний день, практика применения традиционных методов прогнозирования, при наличии фиксированных (проектных) источников радиационной опасности (выбросы из вентиляционных труб, брызгальных бассейнов и т.д.), в целом показала свою эффективность. Однако, накопленный опыт аварий на различных объектах ОИАЭ (НПО «МАЯК», Чернобыльская АЭС, АЭС Фукусима и т.д.) показал

необходимость в развитии (модернизации) и/или дополнения имеющихся систем новым — дистанционным (бесконтактным) методом радиационного контроля окружающей среды (ОС). Одним из методов дистанционного контроля ОС является использование беспилотного дозиметрического комплекса (БДК).

В данной работе:

- был проведен обзор использования БДК для различных задач, таких как поиск источника загрязнения [1], установление степени загрязнения площадки [2] и поиск множества «горячих точек на протяженной территории [3];
- была проведена сравнительная характеристика беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для использования в качестве носителя дозиметрического комплекса (ДК);
- была проведена сравнительная характеристика ДК, устанавливаемая на БПЛА;
- приведена математическая модель оценки концентрации радионуклида на поверхности в зависимости от высоты полета БДК [4];
- обсуждены возможные перспективы развития БДК и предложены пути решения проблем, связанных с дальностью и длительностью полета, полезной нагрузкой.

При проведении сравнительного анализа характеристик БДК были рассмотрены практики применения БДК в России и в странах зарубежья.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Калиберда, И.В.* Дистанционные измерения радиационного загрязнения территорий с помощью беспилотного дозиметрического комплекса / И.В. Калиберда, Ф.Ф. Брюхань // Вестник МГСУ. 2012. № 4. С. 186-194.
- 2. Ondřej Šáleka, Milan Matolína, Lubomír Grycb. Mapping of radiation anomalies using UAV miniairborne gamma-ray spectrometry // Journal of Environmental Radioactivity 182 (2018) 101–107.
- 3. Yuki Sato, Shingo Ozawa, Yuta Terasaka, Kojiro Minemoto, Satoshi Tamura, Kazutoshi Shingu, Makoto Nemoto & Tatsuo Torii. Remote detection of radioactive hotspot using a Compton camera mounted on a moving multi-copter drone above a contaminated area in Fukushima. JOURNAL OF NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY 2020, VOL. 57, NO. 6, 734–744.
- 4. *Елохин*, *А.П.* Метод бесконтактной оценки радиоактивного загрязнения подстилающей в поверхности в следе радиоактивного выброса / *А.П. Елохин*, *М.В. Жилина*, *П.А. Пархома* // Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2010.

# Comparative Characteristics of the UAV Mini-Airborne Gamma-Ray Spectrometry Used to Assess the Radioactive Contamination of the Surface

I.A. Rodionov\*1, A.P. Elokhin\*\*2

\*National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia

\*\*National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

le-mail: uxanson@bk.ru

e-mail: elokhin@yandex.ru

**Abstract** – This paper shows the brief analysis of use UAV mini-airborne gamma-ray spectrometry for search ionising radiation source and degree evaluation of radiation contamination of the surface. Using the example of work performed on territory Russia and foreign the scope of UAV mini-airborne gamma-ray spectrometry was showed also analized development potential and upgrading of this method. The UAV mini-airborne gamma-ray spectrometry allow to reduce negative influence of radiation on the workers and complete of the short period of time quality information of the surface contamination. In this work attention is paid to route of UAV, composition of dosimetric system, mathematical model and UAVs choose.

Keyword: UAV, UAV mini-airborne gamma-ray spectrometry, radiation contamination, radiation monitoring, environment.

# ОБ УТОЧНЕНИИ НЕКОТОРЫХ ПОНЯТИЙ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

### А.Г. Юферов

Обнинский институт атомной энергетики – филиал НИЯУ «МИФИ», г. Обнинск, Калужская обл., Россия

На основе элементарного анализа уравнений точечной кинетики показана необходимость уточнения содержания и физического смысла ряда понятий, используемых в сфере ядерной безопасности — СЦР, реактивности, мгновенной критичности, эффективной доли запаздывающих нейтронов.

*Ключевые слова*: реактивность, мгновенная критичность, эффективная доля запаздывающих нейтронов

Практическую необходимость и направленность уточнения содержания и физического смысла некоторых понятий ядерной безопасности поясним вначале на примере такого важного понятия как СЦР — «самоподдерживающаяся цепная ядерная реакция». Согласно определению, данному ГОСТом [1], содержание понятия СЦР охватывает два существенно различных (с точки зрения безопасности) состояния системы, в которой возникла реакция деления: стационарное состояние и неконтролируемый разгон. В нормативных документах при рассмотрении вопросов, связанных с СЦР, можно добавить необходимые пояснения, указывающие, о каком состоянии идёт речь. Но очевидно, что в реальных производственных ситуациях оповещение «СЦР» должно восприниматься однозначно. Хотя история ядерных аварий [2] свидетельствует, что «СЦР» практически всегда понимается как «вспышка», но, тем не менее, если традиционное понятие СЦР охватывает состояния, радикально отличающиеся по своим последствиям, то представляется необходимым ввести в нормативные документы и в практический оборот уточняющие понятия и термины, детализирующие состояние и поведение размножающей среды.

Аналогично, обнаруживается, что требуется содержательное и терминологическое уточнение ряда базовых понятий динамики ядерных реакторов, которые широко используются при рассмотрении вопросов ядерной безопасности:

- реактивность,
- мгновенная критичность,
- критичность на мгновенных нейтронах,
- критичность на запаздывающих нейтронах,
- эффективная доля запаздывающих нейтронов.

На необходимость уточнений указывает элементарный анализ исходной модели, где вводятся эти понятия, – стандартных уравнений точечной динамики ЯР

$$dn/dt = (\rho/\Lambda)n - (\beta/\Lambda)n + \sum_{j=1}^{J} \lambda_{j} c_{j} + Q,$$
(1)

$$dC/dt = (\beta/\Lambda)n - \sum_{j=1}^{J} \lambda_j c_j, \ C = \sum_{j=1}^{J} c_i.$$
 (2)

Здесь все обозначения общеприняты. Второе уравнение описывает суммарную репродукцию предшественников запаздывающих нейтронов (ПЗН) — баланс процессов генерации и потери ПЗН. Первое слагаемое в уравнении (1) есть скорость репродукции

мгновенных нейтронов  $v_{_{\mathrm{MH}}}^{\mathrm{p}}=rn$ . Коэффициент r связан с традиционными параметрами кинетики ЯР следующими соотношениями:

$$r \equiv \rho/\Lambda = \frac{1}{\Lambda} - \frac{1}{1} = \frac{1}{\Lambda} \left(\frac{k-1}{k}\right) = \left(\frac{k-1}{1}\right)$$
 (3)

и имеет смысл реактивности в  $\Lambda$ -шкале. В такой форме реактивность приобретает (по сравнению с традиционным определением  $\rho = (k-1)/k$ ) более содержательную интерпретацию как относительная скорость или вероятность репродукции мгновенных нейтронов:  $r \equiv v_{_{\mathrm{MH}}}^{\mathrm{p}} / n$ . Понимание реактивности как относительной скорости репродукции мгновенных нейтронов обеспечивает необходимую однозначность и согласованность при введении понятия реактивности в рамках различных приближений уравнения переноса. Выражения реактивности в данных приближениях следует рассматривать не в качестве определений реактивности, как это иногда практикуется, а как оценки этой величины.

Согласно уравнению (2) слагаемое  $v_{_{\Pi 3H}}^{^{\Gamma}}=(\beta/\Lambda)n$  есть суммарная по всем группам скорость генерации ПЗН. Но величина  $v_{_{MH}}^{^{\Gamma}}=n/\Lambda$  есть скорость генерации мгновенных нейтронов. Поэтому параметр  $\beta \equiv v_{_{\Pi 3H}}^{^{\Gamma}}/v_{_{MH}}^{^{\Gamma}}$  имеет смысл выхода ПЗН на один мгновенный нейтрон. Следовательно, этот параметр нельзя трактовать как «эффективную долю запаздывающих нейтронов». Хотя распад ядра ПЗН даёт один запаздывающий нейтрон, но скорость генерации ПЗН не равна скорости генерации запаздывающих нейтронов:  $v_{_{\Pi 3H}}^{^{\Gamma}} \neq v_{_{3H}}^{^{\Gamma}}$ . Последняя, согласно уравнениям (1), (2), равна

скорости распада ПЗН: 
$$\mathbf{v}_{_{\mathbf{3H}}}^{_{\Gamma}} = \sum_{_{j=1}}^{J} \lambda_{_{j}} c_{_{j}}$$
.

Далее, состояние  $\rho = \beta$  принято называть «мгновенной критичностью». Однако в таком случае уравнение (1) принимает вид:

$$dn/dt = \sum_{j=1}^{J} \lambda_{j} c_{j} + Q,$$

означающий, что *прирост мощности обеспечивается только генерацией запаздывающих нейтронов* (и вкладом независимого источника Q). Причём это имеет место на всём интервале  $0<\rho\leq\beta$ , поскольку, согласно модели (1),(2), при  $\rho<\beta$  скорость потребления нейтронов на генерацию ПЗН превосходит скорость репродукции мгновенных нейтронов:  $v_{\text{пзн}}^{\Gamma}=(\beta/\Lambda)n>(\rho/\Lambda)n=v_{_{\text{МН}}}^{p}$ . Таким образом, трактовка состояния  $\rho=\beta$  как «мгновенной критичности» не отвечает реальному соотношению скоростей процессов в ЯР. Фактически при  $0<\rho\leq\beta$  имеет место разгон на запаздывающих нейтронах (РЗН). Поэтому состояние ЯР на интервале изменения реактивности  $0<\rho\leq\beta$  следует так и именовать - РЗН.

Термин «мгновенная критичность» или «критичность на мгновенных нейтронах» уместно относить только к состоянию  $\rho=0$ , когда имеет место стационарная реакция деления — равновесие процессов генерации и потери мгновенных нейтронов. При  $\rho=0$ 

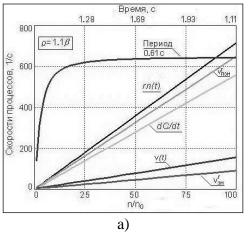
из уравнений (1),(2) следует, что 
$$\frac{d}{dt}\left(n(t)+\sum_{j=1}^{J}c_{i}\right)=0$$
 или  $n(t)+C(t)=n(0)+C(0)$ . Это

означает, что критичность реактора в смысле  $\rho = 0$  эквивалентна стационарности всех учитываемых процессов. Поэтому фактически достаточен только термин «критичность», указывающий на нулевую скорость репродукции мгновенных

нейтронов, при которой имеет место и «мгновенная критичность»:  $\rho = 0$ , и «критичность на запаздывающих нейтронах»:  $(\beta/\Lambda)n = \sum_{j=1}^J \lambda_j c_j$  . В силу

тождественности этих состояний термин «критичность на запаздывающих нейтронах» лишен специфического смысла и должен быть исключен из употребления.

Вклад запаздывающих нейтронов остаётся заметным и при  $\rho > \beta$ . Так, при  $\rho = 1.1\beta$  скорость генерации запаздывающих нейтронов, составляя 13% от скорости репродукции мгновенных нейтронов, даёт, однако, более половины (58%) вклада в скорость репродукции полной популяции нейтронов v(t)=dn/dt (рисунок 1,а). Это означает, что значение  $\rho = \beta$  не является точкой качественных изменений в балансе скоростей процессов.



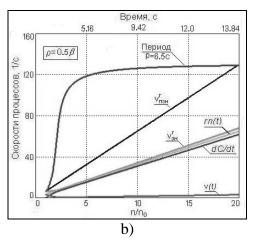


Рисунок 1 — Баланс скоростей процессов и период реактора при  $\rho = 0.5\beta$  и  $\rho = 1.1\beta$ 

С другой стороны, в состояниях с реактивностью  $\rho > 0.4\beta$  (рисунок 1,b) устанавливается период, не превышающий 10 секунд - стандартной уставки на срабатывание аварийной защиты. Отсюда следует, что значение реактивности, равное  $\beta$ , нельзя трактовать как «границу безопасности» или «границу управляемости», поскольку недопустимый разгон реактора наблюдается при существенно меньших значениях введённой реактивности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. ГОСТ 26392 84: Безопасность ядерная. Термины и определения.
- 2. A Review of Criticality Accidents / McLaughlin T.P., Monahan S.P., Pruvost N.L., Frolov V.V., Ryazanov B.G., Sviridov V.I. Los Alamos National Laboratory, LA-13638. 2000. 158 p.

## **Clarifying Some Concepts of Nuclear Safety**

#### A.G. Yuferov

Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia e-mail: anatoliy.yuferov@mail.ru

**Abstract** – Based on the elementary analysis of the equations of point kinetics, it is shown that it is necessary to clarify the content and physical meaning of a number of concepts used in the field of nuclear safety: SCR, reactivity, prompt criticality, and the effective fraction of delayed neutrons.

Keywords: reactivity, prompt criticality, effective fraction of delayed neutrons.

# АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ РОСТОВСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

### К.С. Аксенова, И.А. Бубликова, О.Ф. Цуверкалова

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе проведен анализ влияния Ростовской АЭС на радиационные параметры территории ее размещения. Результаты исследования могут быть полезны населению региона, опасающемуся негативных последствий эксплуатации атомной станции, и специалистам в области радиационной экологии.

*Ключевые слова*: Ростовская АЭС, регион размещения, суммарная β-активность выпадений, погодные факторы, планово-предупредительные ремонты.

Цель работы: установить наличие влияния эксплуатации Ростовской АЭС на радиационные характеристики территории ее размещения.

В данной работе использовались результаты государственного мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и производственного контроля метеопараметров. Был использован регрессионный и статистический анализ данных в MS Excel.

Первоначально была выдвинута гипотеза о влиянии эксплуатации Ростовской АЭС таким образом, что при изменении устойчивости ветра, дующего от атомной электростанции, соответственно меняется динамика суммарной бета-активности атмосферных выпадений. Помимо этого, при наличии осадков вблизи Ростовской АЭС, максимальное количество исследуемого параметра будет осаждаться возле радиационного объекта.

В качестве одного из анализируемых параметров была выбрана суммарная  $\beta$ -активность атмосферных выпадений. Был выполнен анализ среднемесячных суточных величин  $\Sigma\beta$  активности выпадений в приземном слое воздуха в пяти населенных пунктах, расположенных на разной удаленности от Ростовской АЭС, поразному ориентированных от атомной станции по сторонам света. Анализ данных выполнялся для следующих территорий: г. Ростов-на-Дону [1], г. Волгоград [1], г. Котельниково [5], п. Зимовники [5], г. Цимлянск [5]. Зависимость  $\Sigma\beta$  активности выпадений была исследована по двум метеорологическим факторам: устойчивость направления ветра [4] и среднемесячное количество осадков [4]. Период анализа динамики данных с января 2009 г. по декабрь 2018 года. Пример динамики данных для г. Волгоград представлен на рисунке 1.

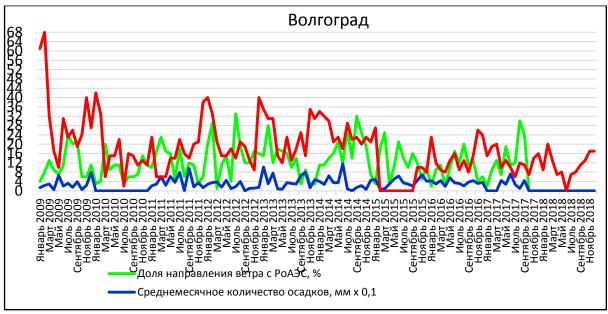


Рисунок 1 — Зависимость суммарной бета-активности атмосферных выпадений от устойчивости ветра (%) и количества осадков (мм),  $\text{Бк/(м}^2 \times \text{сут.})$ 

Проверка предполагаемых гипотез проводилась с помощью регрессионного анализа. Уравнения трендов оказались статистически не значимы.

С позиции консервативного подхода, используемого в атомной энергетике, был выполнен анализ не только среднемесячных, но и максимальных суточных величин  $\Sigma \beta$  активности атмосферных выпадений. Показатели рассматривалась по тем же населенным пунктам за тот же период времени. Характер динамики данных по максимальным значениям  $\Sigma \beta$  активности атмосферных выпадений повторяет динамику среднемесячных значений.

Помимо суммарной бета-активности выпадений были проанализированы объемные активности  $^{137}$ Cs и  $^{90}$ Sr в приземном слое воздуха в г. Цимлянск [5], в сравнении с допустимыми объемными активностями (ДОА) [3]. Период анализа динамики данных с 2005 по 2018 гг. Пример динамики данных представлен на рисунке 2.

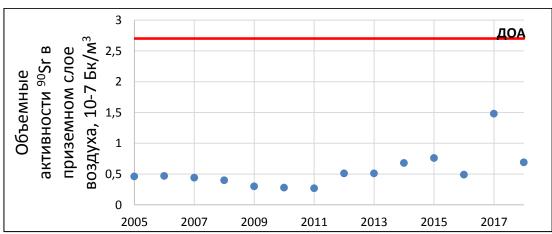


Рисунок 2 – Динамика объемной активности <sup>90</sup>Sr в приземном слое воздуха в г. Цимлянск

Регрессионный анализ данных позволил получить следующие выводы: уравнение регрессии для  $^{90}{
m Sr}$  статистически значимо, модель является надежной. Прослеживается тенденция к увеличению параметра во времени. Уравнение тренда для  $^{137}{
m Cs}$  статистически не значимо.

Большая часть годовых выбросов радионуклидов с экслуатирующейся атомной станции приходится на период планово-предупредительных, капитальных и внеплановых ремонтов (ППР), на время энергетических пусков энергоблоков. Был выполнен анализ среднемесячных суточных величин суммарной  $\beta$ -активности атмосферных выпадений в периоды пусков блоков и ППР [2] за тот же период по тем же населенным пунктам.

Для проверки гипотезы также использовался регрессионный метод анализа данных. По полученным уравнениям регрессии можно сделать вывод об отсутствии зависимости исследуемого показателя региона от метеоусловий в период проведения планово-предупредительных ремонтов.

В результате исследования можно сделать вывод: влияние эксплуатации Ростовской АЭС на радиационные характеристики региона ее размещения не обнаружено. Зависимость между погодными условиями на промплощадке АЭС и суммарной β-активностью атмосферных выпадений населенных пунктов региона не выявлена. Зависимость исследуемого показателя региона от метеоусловий в период проведения планово-предупредительных ремонтов не выявлена. Объемные выпадения радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr находятся ниже допустимых удельных активностей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации / Справки, ежегодники по загрязнению ОС. URL: http://egasmro.ru (дата обращения: 15.02.2020).
- 2. Отчеты по экологической безопасности Ростовской АЭС. URL: http://rosenergoatom.ru/stations\_projects/sayt-rostovskoy-aes/bezopasnost-i-ekologiya/ekologicheskie -otchety/ (дата обращения: 20.02.2020).
- 3. Санитарные правила и нормативы: СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): 2.6.1. ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Москва, 2009. 225 с.
- 4. Технические отчеты АО ИК «АСЭ» «О натурных гидрометеорологических наблюдениях» за 2009- 2018 г. Волгодонск: Ростовская АЭС.
- Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды / Научнопроизводственное объединение «Тайфун» // Радиационная обстановка на территории Россиии и сопредельных государств. – URL: http://egasmro.ru/ru/data/overal/anrep/radsituation (дата обращения: 16.02.2020).

# Analysis of Dynamics of Radiation Characteristics of Rostov Nuclear Power Plant Territory

# K.S. Aksenova<sup>1</sup>, I.A. Bublikova<sup>2</sup>, O.F. Tsuverkalova<sup>3</sup>

National Research Nuclear University Moscow Engineering Physics Institute Volgodonsk Engineering Technical Institute (branch), Volgodonsk, Rostov region, Russia

<sup>1</sup>e-mail: kseniya 08.26.2014@gmail.com <sup>2</sup>e-mail: IABublikova@mephi.ru <sup>3</sup>e-mail: OFTsuverkalova@mephi.ru

**Abstract** – A study is conducted to assess the impact of the Rostov NPP on the radiation parameters of its location. The results of the study may be useful to the population of the region, fearing the negative consequences of the operation of the nuclear power plant, and to specialists in the field of radiation ecology.

*Keywords*: Rostov NPP, location region, total  $\beta$ -activity of precipitation, weather factors, preventive maintenance.

# ОБЗОР ПО ПЕРСПЕКТИВНОМУ КОМПЛЕКСУ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ КЛАССА ВВЭР (PWR)

### Д.В. Шевелев, И.И. Свириденко, Д.С. Менюк, И.М. Московкина

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

Данная работа имеет своей целью провести обзор по перспективному комплексу пассивных систем безопасности энергоблока большой мощности класса ВВЭР (PWR), включающему 3 компоненты:— система пассивного теплоотвода / пассивного расхолаживания РУ типа ВВЭР (а также PWR) — непосредственно через 1-й контур без участия парогенераторов;— система пассивного теплоотвода от приреакторного бассейна выдержки ОЯТ (на примере блока с РУ типа ВВЭР-1000); — система пассивного теплоотвода из гермообъёма (также на примере блока с ВВЭР-1000). Данные системы должны предотвратить переход запроектных аварий в тяжёлую фазу. Основное исходное событие — полное длительное обесточивание станции с зависимым отказом всех активных систем безопасности, требующих электроснабжения — САОЗ ВД и НД РУ, теплоотвода от БВ, спринклерной ГО. Также возможно наложение доп. отказов — малая течь 1-го контура или разрыв паропроводов острого пара внутри гермообъёма.

*Ключевые слова:* АЭС с ВВЭР, отвод остаточных тепловыделений, бассейн выдержки отработавшего ядерного топлива, СПОТ, расчетная модель, двухфазный термосифон, запроектная авария, проектная авария

Для находящихся в эксплуатации АЭС с ВВЭР-1000 (и аналогичные им по мощности PWR), а также в эволюционных проектах РУ с ВВЭР, средства для предотвращения повреждения отработавшего ядерного топлива в бассейне выдержки при условии продолжительного обесточивания не всегда предусмотрены в полной мере. Потому актуальной задачей является создание пассивной системы отвода остаточного тепла (СПОТ) отработавшего ядерного топлива в БВ и реализация в эксплуатации энергоблоках АЭС, и в проектах перспективных реакторных установок.

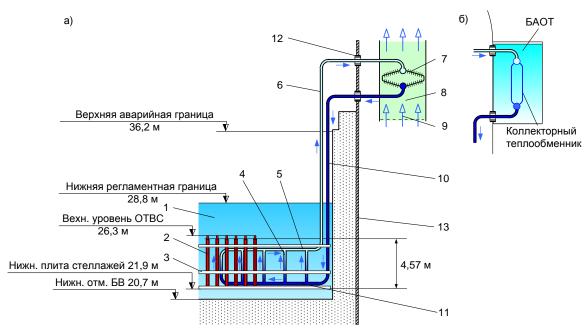


Рисунок 1 – Схема автономной СПОТ БВ ОЯТ на основе кольцевого ДТС

Также актуальна проблема отвода тепла из-под ГО при условии отключения на долгое время энергоснабжения блока. В случае нарушения теплоотвода из-под ГО, параметры атмосферы ГО могут превысить проектные пределы. Сие может повлечь потерю герметичности ГО и выбросу активности из-под ГО во внешнюю среду. Наличие СПОТ ГО предотвратит такую угрозу как в условиях запроектных аварий с отказом всех каналов спринклерной системы, так и, по крайней мере, на протяжении всей внутриреакторной фазы гипотетических тяжёлых аварий.

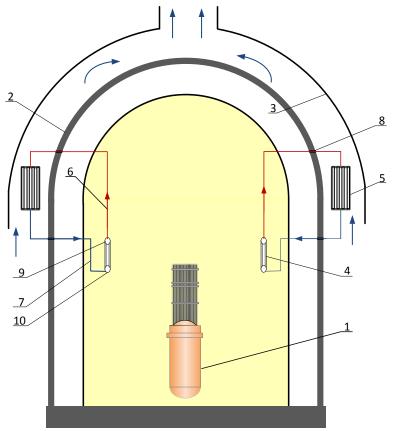


Рисунок 2 – Схема автономной СПОТ ГО на основе кольцевого ДТС

Длительное обесточивание является одной из наиболее вероятных запроектных аварий (ЗПА) АЭС, приводящей к повреждению активной зоны реактора. Как результат, работа энергозависимых активных систем безопасности оказывается невозможной. В первую очередь это относится к системам аварийной подпитки парогенераторов (ПГ), ввода бора высокого давления в первый контур, аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ ВД и НД). Авария опасна тем, что невозможна подпитка ПГ и теряется теплоотвод от первого контура ко второму. Из-за роста давления, начнется невосполнимая утрата теплоносителя (ТН) первого контура посредством импульсно-предохранительного устройства (ИПУ) компенсатора давления (КД), в итоге происходит постепенное осушение активной зоны с расплавлением топлива при высоких параметрах в первом контуре. Устранение данной аварии решается посредством снижения давления в первом контуре. С целью создания непосредственного теплоотвода от первого контура и активной зоны к конечному поглотителю в ситуации аварии с продолжительным обесточиванием представлена СПОТ по принципу низкотемпературных двухфазных термосифонов (ДТС).

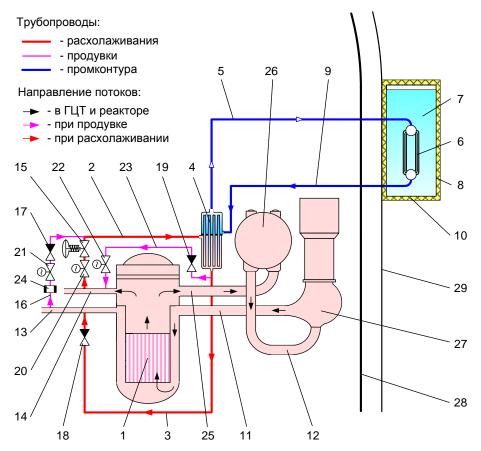


Рисунок 3 — Схема СПОТ РУ с пассивной тепловой защитой конечного поглотителя от замерзания в режиме ожидания

Ee осуществимость эффективность были подтверждены расчётным И моделированием отвода остаточных тепловыделений автономной термосифонной результатов расчетного моделирования отвода Анализ остаточных тепловыделений автономной термосифонной СПОТ показал, что без ввода жидкого поглотителя реактор может достичь повторной критичности, при снижении температуры теплоносителя в активной зоне менее 225 °C. Это происходит, примерно, через 17000 секунд после срабатывания аварийной защиты и начала расхолаживания РУ посредством СПОТ. При включении СПОТ в состав систем безопасности АЭС с ВВЭР необходимо принять дополнительные меры, по обеспечению достаточной подкритичности при расхолаживании РУ. Это возможно осуществить посредством контура расхолаживания дополнительного автономного КД. принципиально аналогичного петле СПОТ. Как показали выполненные расчёты, в результате в первый контур своевременно будет подан борный концентрат из гидроемкостей САОЗ, что обеспечит достаточный запас подкритичности.

Кроме того, поскольку второй контур РУ не участвует в её расхолаживании, такая система может быть применена и на водо-водяных реакторах под давлением (PWR) зарубежных проектов с вертикальными парогенераторами. Это также было подтверждено посредством численного моделирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Пат. № 83014 Україна, МПК<sup>8</sup> G21C15/18. Басейн выдержки отработанного ядерного топлива Свириденко І.І., Москаленко О.Ю.; Заявник і патентовласник СевНТУ. № а 2005 05436; заявл. 07.06.2005; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.
- 2. *Свириденко*, *И.И.* СПОТ бассейна выдержки ОЯТ / И.И. Свириденко, Д.В. Шевелев, Н.И. Власенко // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: Тез. докл. 8-й Межд. научн.-техн. конф. Москва: ОАО «Росэнергоатом», 23-25 мая 2012. С. 234-235.

# Overview of Promising Complex of Passive Safety Systems for a High-Power Power Unit of the WWER Class

# D.V. Shevielov, I. Sviridenko, D.S. Menyuk<sup>1</sup>, I.M. Moskovkina<sup>2</sup>

Sevastopol State University Institute of Nuclear Energy and Industry, Sevastopol, Russia

<sup>1</sup>e-mail: d.menyuk@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: moskovkina.200020000@mail.ru

**Abstract** – This work aims to review a promising complex of passive safety systems for a high-power power unit of the WWER class (PWR), which includes 3 components: – a passive heat removal / passive cooling system of the WWER type (as well as PWR) - directly through the 1st circuit without the participation of steam generators; - the system of passive heat removal from the spent fuel storage pool (on the example of the unit with a WWER-1000).); – the system of passive heat removal from the containment (also on the example of the unit with WWER-1000). These systems should prevent the transition of beyond design based accidents into a severe phase. The main initial event is a complete long-term blackout of the station with a dependent failure of all active safety systems that require power supply – emergency core cooling system with a high-pressure pump and a low-pressure pump of the reactor, heat removal from the spent fuel storage pool, spray system. It is also possible to impose some additional failures – a small leak of the 1st circuit or a break of the steam lines inside the containment.

*Keywords:* NPP with WWER, residual heat removal, spent fuel storage pool, PRHRS, numerical model, two-phase thermosiphon.

УДК 621.039

# СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОЕМОВ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

### А.Д. Епифанова, А.Р. Попова, И.А. Бубликова

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе рассмотрена динамика содержания радионуклидов в донных отложениях водоемов, расположенных в непосредственной близости от эксплуатирующихся АЭС с реакторами разных типов. Накопления  $^{137}$ Cs и  $^{60}$ Co в донных отложениях в период с 2008 по 2019 гг. выявлено не было.

*Ключевые слова:* радионуклиды, донные отложения, измерения, накопление, удельная активность, АЭС.

Технологический процесс на АЭС организован таким образом, что жидкие радиоактивные среды не имеют контакта с объектами гидросферы. Но такая возможность не исключается, и поэтому происходит радиоактивный контроль не только сбросов АЭС, но и самих водных объектов. При поступлении радионуклидов в водоемы они перераспределяются между водой и биотой, но часть депонируется в донных отложениях [1]. Потенциально этот процесс может привести к формированию источника ионизирующих излучений в водном объекте.

Целью работы является: установление — происходит ли накопление радионуклидов в донных отложениях водоемов территории размещения АЭС.

В качестве исходных данных для анализа использовалась информация о водоемах, расположенных в непосредственной близости от Белоярской, Билибинской,

Ростовской и Смоленской АЭС [2, 3]. Выбор данных станций обусловлен тем, что все они эксплуатируют энергоблоки с разными типами реакторов, соответственно: БН, ЭГП-6, ВВЭР и РБМК. Анализ выполнялся по радионуклидам <sup>137</sup>Cs и <sup>60</sup>Co. Другие радионуклиды имели содержание меньше нижнего предела обнаружения. Чтобы установить наличие факта накопления радионуклидов в донных отложениях, изучался временной промежуток с 2008 года по 2019 год с построением линий трендов.

Для всех рассмотренных АЭС и использованных для анализа радионуклидов не выявлено роста их содержания. Поэтому были определены средние значения и среднеквадратичные отклонения рассмотренных параметров.

В качестве примера, приведем данные по Ростовской АЭС (табл. 1, рис. 1 и 2).

Таблица 1 – Статистический анализ

Место сбора проб	Математическое ожидание		Среднеквадратическое отклонение	
	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Цимлянское	0,1045	0,0947	0,4378	0,4152
водохранилище				
Водоем-охладитель	0,2537	0,1129	0,5771	0,3323



Рисунок 1 — Активность  $^{137}$ Cs в донных отложениях, Бк/кг в -с.



Рисунок 2 — Активность  $^{60}$ Со в донных отложениях, Бк/кг в -с.

Для Ростовской АЭС рассматривались два водоема: Цимлянское водохранилище и водоем-охладитель. За рассмотренный период  $^{137}$ Cs и  $^{60}$ Co изменялись практически в

одном числовом диапазоне (0,4-4 Бк/кг). Кроме того, сравнение удельной активности <sup>137</sup>Cs с данными нулевого фона (рис.3), полученными при обследовании территории Ростовской АЭС до ее пуска в период с 1980 по 1990 года, показал, что в рассматриваемый нами период его содержание упало практически в 4-5 раз. Более высокая удельная активность для <sup>137</sup>Cs в начале девяностых годов прошлого века объясняется Чернобыльской катастрофой 1986 года.

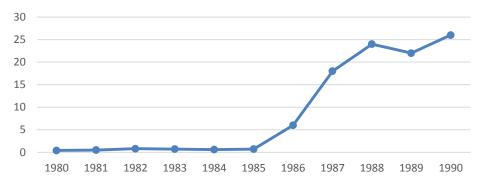


Рисунок 3 – Активность <sup>137</sup>Cs в донных отложениях Цимлянского водохранилища (Нулевой фон), Бк/кг в -с.

По итогам выполненной работы были сделаны следующие выводы:

- 1. Наибольшая загрязненность донных отложений водоемов радионуклидами наблюдается на Билибинской АЭС с энергоблоком типа ЭГП-6. Активность <sup>60</sup>Со варьируется от 0,5 до 70,24 Бк/кг, <sup>137</sup>Cs распределен в довольно узком диапазоне: 0,4-5 Бк/кг.
- 2. Наименьшая загрязнённость донных отложений радионуклидами наблюдается на Ростовской АЭС с реактором ВВЭР-1000. Удельная активность  $^{60}$ Со и  $^{137}$ Сs варьируется в диапазоне: 0,4-2,1 и 0,6-3,5 Бк/кг соответственно.
  - 3. Накопительный эффект не выявлен.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Белозерский, Г.Н. Радиационная экология / Г.Н. Белозерский. Москва, 2019. 418 с.
- 2. ЕГАСМРО [Электронный ресурс]. URL: http://egasmro.ru/ru/data (дата обращения: 18.03.2021).
- 3. Экологические отчеты АО «КОНЦЕРН РОСЭНЕРГОАТОМ» [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosenergoatom.ru/safety\_environment/vozdeystvie-na-okruzhayushchuyu-sredu/ ekologicheskie-otchety-ao-kontsern-rosenergoatom/ (дата обращения: 25.03.2021).

## Content of Radionuclides in the Bottom Sediments of Reservoirs in Nuclear Power Plant Territories

# A.D. Epifanova<sup>1</sup>, A.R. Popova<sup>2</sup>, I.A. Bublikova<sup>3</sup>

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhl», Volgodonsk, Rostov region, Russia

<sup>1</sup>e-mail: epifanowa5525@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: epifanowa5525asunauki13@yandex.ru

<sup>3</sup>e-mail: epifanowa5525iabublikova@ mephi.ru

Abstract – The paper considers the dynamics of the content of radionuclides in the bottom sediments of reservoirs located in the immediate vicinity of operating nuclear power plants with different types of reactors. No accumulation of 137Cs and 60Co in the bottom sediments was detected in the period from 2008 to 2019.

Keywords: radionuclides, bottom sediments, measurements, accumulation, specific activity, NPP.

# = СЕКЦИЯ =

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС

УДК 539.3

# СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ КАРКАСНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ АЭС

А.С. Кравчук<sup>\*</sup>, С.А. Томилин<sup>\*\*</sup>, А.И. Кравчук<sup>\*\*\*</sup>, С.Ф. Годунов<sup>\*\*</sup>

\*Белорусский государственный экономический университет, Минск, Беларусь
\*\*Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Россия
\*\*\*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Необходимо предъявлять повышенные требования к сейсмостойкости не только АЭС, но и отдельно стоящих вспомогательных сооружений, разрушение или повреждение которых может привести к повреждению или приведению в полную негодность запасного и ремонтного оборудования, находящегося в них на хранении, а также к сбоям в работе станции или даже послужить вторичной причиной аварии на АЭС. Широкое распространение среди подобных вспомогательных сооружений в последнее время приобрели легкие металлические каркасные конструкции, обшитые листовым металлом или профнастилом (ангары). При составлении расчетной схемы ангара предполагалось, что он отдельными точками основания (углами) оперяется на столбчатый фундамент. Поскольку жесткая связь между отдельными элементами данного вида фундамента отсутствует, то это взывает необходимость учета при сейсмическом расчете разнонаправленных как горизонтальных, так и вертикальных перемещений опорных узлов конструкции. Особенностью предлагаемого расчета является также то, что он учитывает влияние на прочность и жесткость не только каркаса ангара, но и наличие листовой обшивки, которая выступает в качестве усиливающего элемента.

*Ключевые слова:* сейсмическое воздействие, каркасно-металлическое сооружение, ангар, вертикальные и горизонтальные составляющие сейсмических перемещений поверхности земли.

Сейсмостойкость зданий и сооружений — это их способность противостоять сейсмическим воздействиям. Требуемая сейсмостойкость зависит от сейсмичности района строительства и назначения здания и сооружения. Как правило, комплекс антисейсмических мероприятий предусматривает обеспечение сохранности несущих конструкций, выход из строя которых угрожает обрушением здания или его частей.

Повышенные требования к сейсмостойкости АЭС прежде всего обусловлены потенциальной опасностью самого объекта в случае его повреждения или разрушения [1, 2]. Однако следует отметить, что недостаточно предъявлять повышенные требования к конструкции и оборудованию самой станции, также необходимо предъявлять повышенные требования к сейсмостойкости вспомогательных сооружений, разрушение или повреждение которых может привести к повреждению или приведению в полную негодность запасного и ремонтного оборудования, находящегося в них на хранении, а также к сбоям в работе станции или даже послужить вторичной причиной аварии на АЭС.

Широкое распространение среди конструкций вспомогательных сооружений в последнее время приобрели легкие металлические каркасные конструкции, обшитые листовым металлом или профнастилом (ангары). Характерной чертой подобных сооружений является наличие столбчатого фундамента. Именно эта специфика возведения данного типа сооружений делает непригодным существующую методику

динамического расчета на сейсмостойкость в случае возведения подобного сооружения не на скальном основании.

Согласно существующей концепции расчета на сейсмостойкость при проведении исследований особое внимание уделяется доминирующим горизонтальным перемещениям поверхности земли, при этом предполагается, что во всех точках крепления каркаса сооружения к фундаменту эти перемещения одинаковы. Эта гипотеза верна только в случае наличия монолитного фундамента под всем сооружением. Однако многие виды сооружений, в частности, металлические ангары, не имеют ни монолитного, ни даже ленточного фундаментов.

Кроме того, в связи с наличием поверхностных волн при землетрясениях и низкую массу конструкций ангаров необходимо также учитывать возможную разнонаправленность не только горизонтальных, но и вертикальных перемещений.

При составлении расчетной схемы металлического ангара предполагалось, что он отдельными точками основания (углами) опирается на столбчатый фундамент. Поскольку жесткая связь между элементами данного вида фундамента отсутствует, то это взывает необходимость учета как горизонтальных, так и вертикальных перемещений опорных узлов конструкции.

Кроме того, особенностью предлагаемого расчета является также то, что он учитывает влияние на прочность и жесткость его каркаса, но и наличие листовой обшивки, которая выступает в качестве усиливающего элемента.

В связи с этим особенностью решения данной задачи является применение нескольких типов конечных элементов: балочных — для разбиения каркаса и оболочечных — для разбиения листовой обшивки. Предполагается, что обшивка непрерывно скреплена (сварена) с каркасом по всей длине ребер жёсткости сооружения.

К угловым точкам каркаса приложены нагрузки, которые можно интерпретировать как несогласованные вертикальное и горизонтальное смещение грунта при землетрясении в условиях отсутствия ленточного фундамента под всей конструкцией.

Процесс решения задачи определения перемещений и напряженного состояния состоит из нескольких этапов: создания твердотельной модели, построения конечно-элементного разбиения, приложения действующих нагрузок, собственно решения и визуализации полученных результатов средствами постпроцессора.

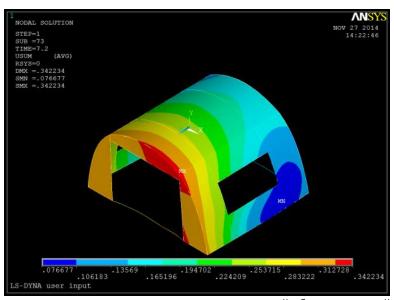


Рисунок 1 — Перемещение каркаса ангара с учетом усиливающей обшивки при действии нагрузок имитирующих разнонаправленное перемещение земной коры в угловых точках опоры каркаса на столбчатый фундамент

Расчеты выполнены с помощью бесплатного программного обеспечения ANSYS 10 ED / LS-DYNA [3]. Установлено, что прочность и жесткость конструкции металлического ангара существенно зависит от усиливающей листовой обшивки.

Важную роль в определении прочности и жесткости конструкции играет форма ангара. Так, например, модель полукруглой формы является более надежной, в сравнении с моделью прямоугольной формы, хотя несколько более трудоемка при построении геометрии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Сааков*, Э.С. Повышение эффективности расчетноэкспериментальной оценки сейсмостойкости оборудования АЭС с применением базы данных / Э.С. Сааков и др.// Атомная энергия, 2015. Том 118. Вып. 3. С. 137-141.
- 2. *Казновский, А.П.* Анализ собственных динамических характеристик трубопроводной арматуры АЭС при оценке ее сейсмостойкости с учетом влияния параметров жесткости / А.П. Казновский и др. // Электрические станции. № 9, 2014, с. 2-7.
- 3. *Чигарев, А.В.* ANSYS для инженеров / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк Москва : Машиностроение, 2004. 512 с.

#### Seismic Resistance of Auxiliary Frame-Metal Structures of Nuclear Power Plants

A.S. Kravchuk<sup>\*1</sup>, S.A. Tomilin<sup>\*\*2</sup>, A.I. Kravchuk<sup>\*\*\*3</sup>, S.F. Godunov<sup>\*\*2</sup>

\*Belarusian State Economic University, Minsk, Belarus

\*\*Volgodonsk Engineering and Technology Institute - a branch of the National Research Nuclear

University MEPhI, Volgodonsk, Rostov region, Russia

\*\*\*Belarusian State University, Minsk, Belarus

1e-mail: ask\_belarus@inbox.ru

2e-mail: satomilin@mephi.ru

Abstract – It is necessary to impose increased requirements for the seismic resistance of not only nuclear power plants, but also stand-alone auxiliary structures, the destruction or damage of which can lead to damage or render completely unusable spare and repair equipment stored in them or even serve as a secondary cause of an accident at a nuclear power plant. Light metal frame structures, sheathed with sheet metal or corrugated board (hangars), have recently become widespread among the structures of free-standing auxiliary structures. When drawing up the calculation scheme of the hangar, it was assumed that it is supported by separate points of the base (corners) on the columnar foundation. Since there is no rigid connection between the individual elements of this type of foundation, this calls for the need to take into account multidirectional both horizontal and vertical displacements of the supporting nodes of the structure in seismic calculations. A feature of the proposed calculation is also that it takes into account the effect on the strength and rigidity of not only the hangar frame, but also the presence of sheet sheathing, which acts as a reinforcing element.

Keywords: seismic impact, frame-metal structure, hangar, vertical and horizontal components of seismic displacements of the earth's surface.

# ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

#### Н.А. Подымкина, А.А. Бобкин

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Глобальные изменения климата, быстрые темпы и характер промышленного освоения северных и восточных территорий нашей страны, участков распространения вечной мерзлоты, выдвигают перед наукой весь ряд актуальных как теоретических, так и прикладных проблем. Эти проблемы объединены с исследованием зональных и региональных закономерностей криолитозоны, мониторингом развития криогенных изменением подходов К производству инженерных совершенствованием геодезических методов получения информации об объектах, разработкой новых конструкций фундаментов и технологий возведения зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах, совершенствованием системы энергообеспечения промышленных и жилых объектов.

*Ключевые слова:* глобальные изменения климата, зона распространения вечномерзлых грунтов, деградация вечной мерзлоты, мониторинг развития криогенных процессов, социально-экологические проблемы северных городов, ресурсное обеспечение, восстановление эксплуатационной надежности зданий и сооружений.

По разным данным, от 55 до 65 % площади нашей страны приходится на районы распространения вечномерзлых грунтов. Здесь залегают более 30 % разведанных запасов нефти, около 60 % запасов природного газа, каменный уголь, торф, богатые месторождения цветных металлов, золота и алмазов. Это по-настоящему важные, стратегические для России, территории, которые не только необходимо сохранить для активной хозяйственной деятельности людей, но и развивать, создавая комфортные условия проживания в них [1].

Инженерное освоение территорий распространения вечной мерзлоты неминуемо влечет за собой масштабное изменение ландшафтов, нарушение растительного покрова, нарушение режима поверхностных и грунтовых вод, изменение микроклимата, состава поверхностного слоя грунта, антропогенное загрязнение окружающей среды и т.п. Все это неминуемо приводит к природной катастрофе – деградации вечной мерзлоты.

Нельзя рассматривать это явления только с точки зрения опасности для природной среды. Отрицательно оно сказывается на человеке. Само проживание здесь под угрозой, представляет собой определенный риск. Любая хозяйственная деятельность становится не безопасной. Суровые, порой экстремальные в отдельных районах, природно-климатические условия оказывают влияние на состояние здоровья, уклад, образ и продолжительность жизни населения, проживающего на территориях распространения вечной мерзлоты. Выполняя тяжелую работу, люди сегодня пребывают в условиях постоянного психологического стресса. Низкий уровень благоустройства, жилые дома, требующие срочных капитальных ремонтов и продления остаточного ресурса эксплуатации, изношенные объекты инфраструктуры, низкий уровень мощности ресурсоснабжающих предприятий – далеко не полный перечень проблем, с которыми сталкивается население.

Огромные территории распространения вечной мерзлоты нуждаются в системе энергообеспечения. Здесь эксплуатируются более 12 тысяч дизельных электростанций (ДЭС), почти такое же количество мелких котельных, две атомные станции – Кольская и Билибинская. Свыше 70% электростанций используют экологически «грязные», органические виды топлива (уголь, мазут, дрова). Но сохранение экосистемы

способствует сохранению вечной мерзлоты, поэтому необходим переход на энергоресурсы, получаемые на основе возобновляемых источников, не имеющие выбросов продуктов сгорания, в частности, ветроэлектростанции, геотермальные ТЭС и малые атомные источники ПАТЭС.

Деградация вечной мерзлоты влечёт за собой деформирование зданий, аварийное состояние тепловых и электростанций, погружение участков дорог после 2-3 лет эксплуатации в грунты основания, выход из строя опор сетей электроснабжения, линий связи и водопроводов.

Создание новых регламентов для строительства, реконструкции и капитального ремонта в криолитозоне должно стать первостепенной задачей для соответствующих министерств и ведомств. И, учитывая влияние техногенных факторов на устойчивость фундаментов строений, несомненно, назрела необходимость введения новых правил эксплуатации зданий и сооружений.

Одним из основных факторов, резко снижающих эксплуатационную надежность зданий и сооружений, является их тепловое воздействие на грунты. При оттаивании вечномерзлого основания свайные фундаменты получают различные перемещения в нем. Это неизбежно приводит к деформациям зданий, изгибанию и дальнейшему разрыву любого рода инженерных коммуникаций. Последнее влет за собой нарушение безопасной эксплуатации зданий и сооружений и чревато экологическими катастрофами, о чем есть многочисленные факты и подтверждения [2]

Получать качественную информацию о состоянии грунтов, изучать, анализировать, делать какие-либо прогнозы возможно лишь в один период – летний, когда происходит оттаивание деятельного (верхнего) слоя. Обо всех процессах, происходящих в толще мерзлых грунов в другие периоды года, можно только предполагать и стараться адекватно оценивать. Поэтому для дальнейшего развития территорий необходимо создавать сети постоянного инструментального (в т.ч. дистанционный) мониторинга как локальные, так и глобальные.

В программу мониторинга должны быть обязательно включены комплекс специальных инженерных и геодезических работ. Их задачами должны стать:

- -постоянные наблюдения за состоянием вечной мерзлоты;
- -мероприятия по сбору и обработке данных о строениях проектного и эксплуатационного характера,
- -разработка методики выполнения топографической съемки, ландшафтноструктурного анализа,
- разработка проекта инженерной подготовки территории для обеспечения проведения мелиоративных мероприятий, проектирования сетей ливневых стоков, сбора и отведения талой воды комплексно от всех зданий и сооружений,
- разработка методики обследования технического состояния строений и сооружений: рекогносцировка (визуальное обследование) района работ, освидетельствование (инструментальное определение геометрии зданий (сооружений) и степени износа и дефектов конструкций), испытание (определение напряженно-деформированнгого состояния), инженерное моделирование, прогнозирование, определение уровня безопасности, восстановление, усиление и реконструкция.

На каждом этапе ставятся инженерные задачи, от решения которых зависит срок увеличения остаточного ресурса эксплуатируемых объектов. Разрабатывается комплекс мер по инженерной зашите территорий, принимаются решения о необходимости проведения обследования и оценки технического состояния зданий и сооружений и принятия срочных мер по восстановлению их эксплуатационных характеристик.

Система мониторинга будет способствовать обеспечению устойчивого социально-экономического развития и обеспечения региона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Шац, М.М.* Эколого-геокриологическая специфика при недропользовании на Севере Сибири // Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова. URL:elibrary.ru/item.asp?id=42620469 (дата обращения: 29.04.2021).
- 2. *Киселева*, *M*. Деградация вечной мерзлоты: чем она грозит северным городам и предприятиям // BBC news, 2020. URL: https://www.bbc.com/russian/features-53077398 (дата обращения: 29.04.2021).

### Problems of Development and Energy Supply of Permafrost Soils Areas

N.A. Podymkina<sup>1</sup>, A.A. Bobkin<sup>2</sup>

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

le-mail: podymkinanatali@yandex.ru

e-mail: artem.bobkin.03@mail.ru

**Abstract** – Global climate changes, the rapid pace and nature of industrial development of the northern and eastern territories of our country, permafrost areas, put forward a whole range of relevant theoretical and applied problems before science. These problems are combined with the study of zonal and regional patterns of the cryolithozone, monitoring of the development of cryogenic processes, changing approaches to the production of engineering surveys, improving geodetic methods of obtaining information about objects, developing new foundation structures and technologies of erecting buildings and structures on permafrost soils, improving the energy supply system of industrial and residential facilities.

Keywords: global climate change, permafrost soils area, permafrost degradation, monitoring of cryogenic processes, social and environmental problems of northern cities, resource supply, restoration of operational reliability of buildings and structures.

УДК.528.48

# АНАЛИЗ ПРИЧИН, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ ПРИГОДНОСТЬ ВНОВЬ ПОСТРОЕННЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

#### Ю.И. Пимшин, С.В. Непримеров, Ю.В. Заяров, В.Г. Ткачев, Г.А. Науменко

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

В статье рассмотрены общие вопросы снижения эксплуатационной пригодности зданий.

Ключевые слова: здания, эксплуатационная пригодность, факторы.

Техническая диагностика зданий является одной из важнейших составляющих сторон строительного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства [1-10]. Здания, будучи правильно запроектированными и качественно возведенными на момент сдачи в эксплуатацию ( $T_0$ ) характеризуются техническим состоянием  $U_0$ 

$$U_0 = F_{t_0}(x_1, x_2, x_3 ... x_n), (1)$$

отвечающим условиям (или требованиям) обеспечивающим безаварийную эксплуатацию здания на расчетный период ( $T_{pac}$ ).

В процессе эксплуатации здания происходит снижение его эксплуатационной надежности в соответствии с неизбежным влиянием нескольких групп факторов. Рассмотрим две основные группы, влияющие на техническое состояние зданий. Первая совокупность явлений  $\Psi_{(t)}$  снижающих эксплуатационную пригодность здания связанна с функцией времени

$$\Psi_{(t)} = f_{(1)_{t_i}}(y_1, y_2, y_3...y_n)$$
(2)

к таким факторам относятся: коррозия металла, усталостные свойства металла, процесс выветривания, гниение деревянных строительных конструкций и т.д.

Существующие методики расчета эксплуатационной пригодности зданий на весь срок ( $T_{pac}$ ) исходят из того, что техническое состояние  $U_{(t)}$  в текущий момент времени  $T_i$  определяется:

$$U_{(t)} = U_0 - \Psi_{(t)},$$

$$F_{t_i}(x_1, x_2, x_3...x_n) = F_{t_0}(x_1, x_2, x_3...x_n) - f_{(1)t_i}(y_1, y_2, y_3...y_n).$$
(3)

Таким образом, в течение эксплуатационного периода ( $T_{pac}$ ), начиная с момента сдачи-приемки ( $T_0$ ), эксплуатационная пригодность  $U_{(t)}$  здания снижается. Текущее техническое состояние  $U_{(t)}$  может быть изменено компенсирующими мероприятиями в смысле повышения эксплуатационной пригодности, если компенсирующие мероприятия недостаточны, то с течением времени здание переходит в состояние ветхого строения см. рис.1. Если компенсирующие мероприятия достаточны для восстановления эксплуатационной пригодности, тогда техническое состояние здания  $U_{(t)}$  на всё время эксплуатации ( $T_{pac}$ ) и даже превышающего нормативные сроки будет выше, чем предельно допустимое техническое состояние  $U_{(np/\partial on)}$  объекта.

Однако в реально существующих условиях присутствуют не только факторы являются функцией времени, но и факторы, не являющиеся в явном виде продуктом значимых временных интервалов. Совокупная функция этого фактора может быть в формальном виде представлена как

$$\Omega_{(t)} = f_{(2)t_i}(z_1, z_2, z_3...z_n)(a_1, a_2, a_3...a_n). \tag{4}$$

Рассматривая влияние функции  $\Omega_{(t)}$  на техническое состояние  $U_{(t)}$  здания отметим то, что функция  $\Omega_{(t)}$  проявляет себя, как правило, слабо коррелируемые со временем эксплуатации здания, а порой и вовсе не зависящей от данного фактора.

В формальном виде совокупное влияние функций  $\Psi_{(t)}$  ,  $\Omega_{(t)}$  будет представлено (рис.1).

$$U_{(t)} = U_0 - \Psi_{(t)} - \Omega_{(t)}.$$

Следствием влияния  $\Omega_{(t)}$ , могут быть быстро развивающие процессы, снижающие эксплуатационную пригодность  $U_{(t)}$  здания, в некоторых случаях – катастрофическое, вплоть до разрушения. Текущее техническое состояние  $U_{(t)}$  может быть изменено специальными компенсирующими мероприятиями, учитывающими специфику регистрируемого процесса относящегося к факторам функции  $\Omega_{(t)}$  см. рис.1. В этом случае так же если компенсирующие мероприятия достаточны (адекватны) для восстановления эксплуатационной пригодности, тогда техническое состояние здания U

(t) на всё время эксплуатации  $(T_{pac})$  и даже превышающего нормативные сроки будет выше, чем предельно допустимое техническое состояние  $U_{(np/\partial on)}$  объекта. Описывая явления, которые могут быть отнесены к факторам, детерминирующим проявление функции  $\Omega_{(t)}$  отметим, что всю их совокупность во-первых, можно разделить на две группы к первой из которых отнесем факторы  $f_{\phi y h \phi}$  влияющие на состояние фундаментов и оснований  $(z_1, z_2, ... z_n)$ , ко второй отнесем факторы  $f_{3\phi}$  влияют непосредственно на надземные строения  $(a_1, a_2, ... a_n)$  контролируемого объекта.

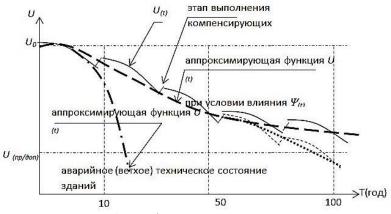


Рисунок 1 — График технического состояния  $U_{(t)}$  здания

Влияние факторов  $(z_1, z_2,...z_n)$  и  $(a_1, a_2,...a_n)$ , как правило, не предусмотрено проектными решениями, а их влияние (наличие), как правило, определяется в процессе эксплуатации по факту их проявления или, что значительно реже, при технической диагностики здания, по результатам которой оценивается техническое состояние исследуемого объекта и разрабатываются комплексные мероприятия для обеспечения эксплуатационной его пригодности.

Во-вторых, факторы, детерминирующие проявление функции  $\Omega_{(t)}$  можно классифицировать и представить блок-схемой, в графическом виде представленной на рисунке 2. По происхождению факторы можно разделить на две основные группы природные и техногенные.



Рисунок 2 – Блок схема классификации факторов, детерминирующих проявление функции

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Пимшин Ю.И., Гайрабеков И.Г.* Техническая экспертиза зданий // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2006.(Матер. конф. Состоян. и персп. строит. и безоп. экспл. ВоАЭС) Прил. №16 С. 153-162.
- 2. Пимиин Ю.И., Губеладзе А.Р., Калайда А.В., Богданов А.Н. Обследование аварийных зданий и оценка их технического состояния // Современные проблемы геодезии и оптики: Сб. научных статей по материалам LIV научно-технической конференции, 19 23 апреля 2004 г., Новосибирск. Новосибирск: СГГА. 2005. С.60-64.
- 3. *Пимшин Ю.И., Губеладзе А.Р., Яговкина Е.Н., Дегтярев А.М.* Промышленная санитария зданий и инженерных сооружений //Сборник научных трудов «Прикладная геодезия». Ростов н/Д: РГСУ, 2001. Деп. ВИНИТИ №1878-В2001 от 16.08.01.

# Analysis of the Reasons Affecting Operational Suitability of Newly Constructed Multi-Storey Buildings

# Yu.I. Pimshin<sup>1</sup>, S.V. Neprimerov, Yu.V. Zayarov, V.G. Tkachev, G.A. Naumenko

\*\*Volgodonsk Engineering and Technology Institute - a branch of the National Research Nuclear
University MEPhI, Volgodonsk, Rostov region, Russia

1 e-mail: YIPimshin@mephi.ru

**Abstract** – The article deals with general issues of reducing the operational suitability of buildings.

Keywords: buildings, operational suitability, factors.

# === СЕКЦИЯ

# КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ: СОЦИОКУЛЬТУРНЫЙ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ АСПЕКТЫ

УЛК 331.453

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОГО УРОВНЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПОРТЕ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ЗА РУБЕЖ

## В.А. Руденко, Т.С. Попова, Ю.А. Евдошкина

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе рассмотрены понятие и основополагающие принципы культуры безопасности, которые наряду с высоким профессионализмом обслуживающего персонала в России и за рубежом, а так же надежной работой всех производственно-технических систем, являются необходимыми условиями ядерной и радиационной безопасности предприятий энергетического комплекса. Учет влияния национальной культуры на культуру безопасности, обучение эффективному применению инструментов предотвращения ошибок персонала наравне с высоким качеством образования иностранных студентов будет способствовать формированию принципиальной позиции в сфере безопасности и эффективности функционирования объектов атомной отрасли.

Ключевые слова: экспортоориентированная стратегия ГК «Росатом», национальная культура и культура безопасности, ключевые принципы сильной/здоровой культуры безопасности.

Проводимая ГК «Росатом» активная экспансия на международные рынки требует соответствующей кадровой поддержки. Это становится одним из основных вопросов планирования экспортоориентированной стратегии ГК «Росатом». В качестве перспективного направления в работе с иностранными студентами проректор по международной деятельности АНО ДПО «Техническая академия Росатома» В. Артисюк обозначил исследования в сфере культуры безопасности, работу на обеспечение восприятия и следования единым нормам и правилам, принятым на уровне международного сообщества, в различных национальных культурах. Несмотря на то, что сформирована нормативно-правовая и организационно-методическая основа обеспечения безопасности, есть ряд специфических особенностей, которые необходимо учитывать при обучении иностранных студентов и специалистов. Речь идет о различиях в национальных культурах, традициях, стереотипах поведения [1].

На объектах так называемой «критической инфраструктуры», которыми и являются предприятия атомного энергопромышленного комплекса, охрана труда и промышленная безопасность имеют высший приоритет при принятии стратегических решений. Благополучие всех сотрудников, подрядчиков, населения, проживающего в месте сосредоточения таких предприятий, зависит от общей траектории безопасного поведения, а также от личной ответственности каждого за соблюдение норм и правил. Именно соблюдение культуры безопасности и следование ее принципам позволяет продолжать безопасно работать и жить.

Общие усилия всех производственных предприятий и их коллективов по обеспечению безопасности и развитию культуры безопасного поведения — это своеобразный «шаблон, стандарт, эталон» работы в промышленном секторе экономики. В настоящее время в организациях, деятельность которых критична с точки зрения

опасности, сформирована своего рода единая «философия безопасности», которая включает в себя концепцию «культуры безопасности», как её главную составляющую, раскрывающую роль человеческого фактора в обеспечении безопасности потенциально опасных видов человеческой деятельности.

Внедрение в практику концепции культуры безопасности — это реальный шанс преодолеть «реактивный» (запаздывающий) характер традиционных систем обеспечения безопасности, нередко лишь отвечающих на уже состоявшиеся неприятности. Упреждающая же политика безопасности должна быть направлена в будущее, и уже в силу этого формирование «безопасного» специалиста является ее важнейшей составной частью. Среди тех, кто сегодня является идеологическими лидерами этого направления, находятся психологи, инженеры и организаторы производственных процессов.

Культура безопасности на предприятиях ядерной энергетики — это система норм и образцов поведения, а также организационные ценности, смоделированные руководителями организации и перенимаемые ее членами, которые служат установлению наивысшего приоритета ядерной безопасности. В качестве ключевых принципов сильной/здоровой культуры безопасности можно выделить следующие [2]:

- каждый лично должен быть в ответе за культуру безопасности;
- каждое решение должно быть критически взвешенным;
- руководители должны на своем примере демонстрировать приверженность сформулированным принципам безопасности;
- процедуры взаимодействия, должностные полномочия и обязанности в коллективе должны гарантировать приоритетную важность безопасности;
  - организация должна быть на всех уровнях и подсистемах пронизана доверием;
- принятие любого рода решений должно отражать в качестве приоритета безопасность;
- в организациях энергетического комплекса должно иметь место постоянное организационное обучение, в том числе основам и новшествам в вопросе культуры безопасности;
- предприятия должны регулярно проходить проверки на соблюдение норм безопасности.
- те решения, которые связаны с формированием и соблюдением культуры безопасности либо же влияют на нее, должны быть завершенными, системными, четкими и реалистичными;
- в организации должна быть обеспечена рабочая обстановка взаимного уважения;
- безопасность должна находиться под пристальным вниманием со стороны внешних и внутренних «контролеров»;
- в случае обнаружения проблем, потенциально влияющих на безопасность, их необходимо всесторонне проанализировать и попытаться устранить в кратчайший срок.

Руководители структурных подразделений предприятий ядерной энергетики за рубежом обязаны научиться создавать необходимые условия, поддерживать и давать оценку политике и процессам, позволяющим персоналу свободно выражать свою обеспокоенность в вопросах культуры безопасности их деятельности. Планирование, организация и контроль производственной деятельности должны быть такими, при которых всегда обеспечивалась бы культура безопасности.

В 2015 г. по инициативе ГК «Росатом» на базе ВИТИ НИЯУ МИФИ и предприятий ГК «Росатом», расположенных в г. Волгодонске был создан Ресурсный центр НИЯУ МИФИ. В Ресурсном центре осуществляется практико-ориентированное обучение иностранных студентов на действующих установках и полномасштабном оборудовании, расположенном на производственных площадках предприятий ГК «Росатом» (Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, Филиал АО

«Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция» и др.) и предприятий Волгодонского промышленного кластера атомного машиностроения [3]. Именно для решения вышеуказанных задач в рамках практико-ориентированной подготовки иностранных студентов сформирован интерактивный модуль «Культура безопасности при эксплуатации АЭС». Помимо обучения на производственных площадках указанных предприятий, работа Ресурсного центра ведется в формате тренингов, направленных на командообразование и эффективную коммуникацию с учетом специфики национального компонента, грамотное использование в своей деятельности инструментов предотвращения ошибок персонала. Такими методами обучения можно принципов культуры безопасности, которыми следует обеспечить внедрение руководствоваться при принятии решений И формировании ориентированного на безопасность, минимизировать проявление национальной культуры, которые могут негативно сказаться на устойчивости систем и оборудования к событиям, вызванным ошибками человека.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Кадры. Пройти не поскользнуться [Текст] // Росэнергоатом. 2017. № 7. С. 27.
- 2. Ключевые вопросы практики повышения культуры безопасности: INSAG-15 [Текст] / Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности. Вена : Международное агентство по атомной энергии, 2002. 24 с.
- 3. *Руденко, В.А.* К вопросу об эффективных практиках подготовки кадров для реализации экспортоориентированной стратегии ГК «Росатом» [Текст] / М.В. Головко, Ю.А. Евдошкина, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. 2019. № 1 (30). С. 124-135.

# Ensuring a High Level of Safety Culture When Exporting Nuclear Power Technologies Abroad

# V.A. Rudenko, T.S. Popova<sup>1</sup>, Yu.A. Evdoshkina

Volgodonsk Engineering and Technology Institute – a branch of the National Research Nuclear University

MEPhI, Volgodonsk, Rostov region, Russia

1 e-mail: tanya930@rambler.ru

**Abstract** – The paper considers the concept and fundamental principles of safety culture, which, along with the high professionalism of service personnel in Russia and abroad, as well as the reliable operation of all production and technical systems, are necessary conditions for nuclear and radiation safety of energy enterprises. Taking into account the influence of national culture on safety culture, training in the effective use of tools for preventing personnel errors along with the high quality of education of foreign students will contribute to the formation of a principled position in the field of safety and efficiency of functioning of nuclear facilities.

Keywords: export-oriented strategy of Rosatom State Corporation, national culture and safety culture, key principles of a strong / healthy safety culture.

# К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ

**М.В.** Головко\*, **А.В.** Анцибор\*\*, Ж.С. Рогачева\*\*

\*НАН ЧОУ ВО «Академия маркетинга и социально-информационных технологий – ИМСИТ», Краснодар, Россия

В тезисах представлены основные направления исследования влияния цифровых технологий на экономическую безопасность предприятий. Рассмотрен дихотомичный характер цифровизации, проявляющийся в том, что она одновременно формирует и возможности, и угрозы развитию компаний. Ключевым ресурсом в этой ситуации остается человек, обладающий актуальными компетенциями и профессиональными навыками.

Ключевые слова: цифровизация, экономическая безопасность, бизнес-процессы, угрозы информационной безопасности, экономическая эффективность, ГК «Росатом», базы данных, профессиональные компетенции.

Возможности современных тенденций цифровизации, как правило. рассматриваются с позиции их положительного влияния на производительность труда, снижение издержек, создание новых рабочих мест и в целом на конкурентоспособность предприятий и территорий [1, 2]. В то же время все более очевидным становится, что повышение эффективности менеджмента также во многом зависит от того, насколько активно и, что важно, адекватно применяются информационные технологии. Так, например, многие исследователи проводят оценку влияния цифровых инноваций на эффективности функционирования организации, повышение уровня конкурентоспособности, анализируют опыт интеграции цифровых технологий во все сферы деятельности предприятий – управление цехами, маркетинг, финансы, управление человеческими ресурсами, финансовые операции и прочее [3-6].

Процессы цифровизации трансформируют экономические процессы, способы и формы коммуникаций между инсайдерами и аутсайдерами компании, алгоритмы производственных и коммерческих процессов, схемы получения доходов и прибыли, формируют новые угрозы экономической безопасности предприятия. Следовательно, должна меняться и система управления организацией, а также компетенции сотрудников. Положительный опыт в данной сфере демонстрирует Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». Так, например, цифровизация охватывает вопросы импортозамещения, информационной безопасности, создания единой корпоративной систем и сервисов для обеспечения эффективного взаимодействия стейкхолдеров проектов и процессов с помощью информационных технологий. При этом ГК «Росатом» не только активно внедряет цифровые технологии, но и сама является их производителем, что ложится в основу стратегического управления конкурентоспособностью корпорации на международном уровне. Так, на начало 2021 года разработано и внедрено 128 «цифровых решений» в управление производством, проектирование и строительство, моделирование и НИОКР, городские сервисы (на основе взаимодействия с органами власти) и проч.

В то же время, следует отметить, что одной из специфических особенностей цифровизации становится смещение акцента с материальных ресурсов информационные, нуждающиеся в более тщательной защите от недобросовестных пользователей и посягательств извне, а также контроль качества информации, pecvpcax и способной повлиять на имиджевые размещаемой внешних Существенной характеристики предприятия. угрозой информационной,

<sup>\*\*</sup>Волгодонский инженерно-технический институт — филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»»

следовательно, и экономической безопасности предприятий становятся кибератаки. Как видно из рисунка 1, проблемы кибератак и хищения данных находятся в числе 10 самых актуальных угроз современности, уступая место только экологическим проблемам. По данным [8] удельный вес преступлений в сфере информационной безопасности (либо с использованием информационно-коммуникационных технологий, либо в сфере компьютерной информации) в общем объеме зарегистрированных преступлений в России вырос с 8,8% в 2018 г. до 19,9%. 2020 г.

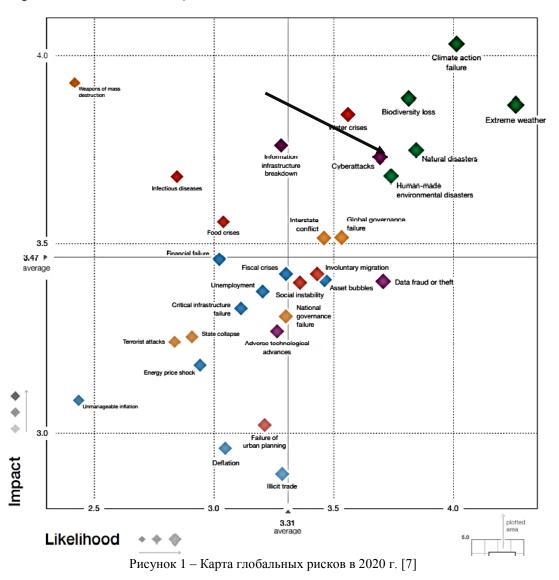


Figure II: The Global Risks Landscape 2020

Последствиями угроз информационной безопасности, приводящими к снижению экономической устойчивости бизнеса, можно отнести следующие:

- потеря деловой репутации;
- потеря финансовых ресурсов;
- использование недобросовестными инсайдерами корпоративной информации в целях личного обогащения;
- потеря уникальной технологии производства и прочих конкурентных преимуществ компании.

Информация — это тот ресурс, источником которой является человек и его деятельность. Именно субъект ее формирует, собирает, хранит и анализирует, с помощью цифровых технологий или без таковых. Следовательно, цифровизация

компаний должна предъявлять повышенные требования к навыкам и компетенециям сотрудников, меняя тем самым подходы к обеспечению кадровой безопасности. Например, решить проблему распространения заведомо ложной информации потенциальными контрагентами, необходимо путем повышения квалификации сотрудников, ее обрабатывающих. Это даст возможность обнаруживать потенциальные [9]. В этих целях рекомендуется предприятия специализированных онлайн-сервисов, позволяющих аккумулировать практически все сведения о компании, размещенные как в специфических базах данных (например, финансовая отчетность недобросовестных закупщиков, руководители, попавшие в реестр лиц, уволенных в связи с утратой доверия), а также в проводить мониторинг СМИ на негативные новости, получать полную информацию о компаниях, находить связи, биографические данные физических лиц, юридическую историю (по архивам судебных разбирательств), проверять по спискам санкций и политически значимых лиц (PEP Desk Database, World Compliance). Автоматизированным информационным системам в механизме комплаенс-контроля отводится значительное место [10]. Так, в марте 2020 г. ФАТФ опубликовала доклад Digital Identity, посвященный проблеме использования электронных идентификационных систем национальными регуляторами и предприятиями, позволяющими исследовать благонадежность контрагентов по методике, рекомендованный ФАТФ [11].

Перечисленными инструментами не исчерпывается полный перечень возможностей цифровизации ДЛЯ обеспечения экономической безопасности предприятий. Очевиден их экономический эффект за счет минимизации рисков и оптимизации бизнес-процессов. Цифровизация – противоречивый процесс, способный приносить выгоду и провощировать угрозы. Поэтому ее инструменты и возможности нужно использовать и для роста эффективности, и для преодоления угроз.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Доклад Всемирного Банка о мировом развитии «Цифровые дивиденды». [Электронный ресурс] Режим доступа: https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/ 10986/23347/210671RuSum.pdf (дата обращения 12.05.2021)
- 2. Стратегия развития информационного общества в России на 2017-2030 годы, утвержденная Указом Президента РФ от 09.05.2017 г. № 203 [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919 (дата обращения 12.05.2021)
- 3. Amy Van Looy, A quantitative and qualitative study of the link between business process management and digital innovation, Information & Management, Volume 58, Issue 2, 103-113 (2021) doi.org/10.1016/j.im.2020.103413.
- 4. Assunta Di Vaio, Rosa Palladino, Alberto Pezzi, David E. Kalisz, The role of digital innovation in knowledge management systems: A systematic literature review, Journal of Business Research, Volume 123, 220-231 (2021) doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.042.
- 5. Alyssa Meißner, Felix Grunert, Joachim Metternich, Digital shop floor management: A target state, Procedia CIRP, Volume 93, 311-315 (2020) doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.083.
- 6. Kyung Hoon Kim, Hakil Moon, Innovative digital marketing management in B2B markets, Industrial Marketing Management, Volume 95, (1-4) (2021), doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.01.016.
- 7. Карта глобальных рисков-2020. Всемирный экономический форум. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020 (дата обращения 12.05.2021)
- 8. Статистический сборник Генеральной Прокуратуры Российской Федерации «Состояние преступности в России за январь-март 2020 г.» [Электронный ресурс] Режим доступа: https://genproc.gov.ru/stat/data/1798306/ (дата обращения 12.05.2021)
- 9. *Головко*, *М.В.* Возможности цифровизации для формирования культуры экономической безопасности // Безопасность ядерной энергетики: тез. докл. XVI междунар. науч.-практ. конф., 12-13 ноября 2020 г. ВИТИ НИЯУ МИФИ. Волгодонск : [б. и.], 2020.
- 10. Guidance on Digital Identity. FATF, Paris, 2020. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.fatf-gafi.org/publications/documents/digital-identity-guidance.html (дата обращения 21.12.2020)
- 11. Официальный сайт компании «Lexis Nexis» [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.lexisnexis.ru/- (дата обращения 12.10.2020).

### Impact of Digital Technologies on the Economic Security of Enterprises

M.V. Golovko<sup>\*1</sup>, A.V. Antzibor<sup>\*\*2</sup>, J.S. Rogacheva<sup>\*\*3</sup>

\*Non-state accredited non-profit private educational institution of higher education «Academy of Marketing and Social and Information Technologies – IMSITЭ»

Krasnodar, Russia

\*\* Volgodonsk Engineering and Technology Institute – a branch of the National Research Nuclear University MEPhI, Volgodonsk, Rostov region, Russia

<sup>1</sup>e-mail: golovko178@mail.ru <sup>2</sup>e-mail: AVAntsibor@mephi.ru <sup>3</sup>e-mail: ZSRogacheva@mephi.ru

**Abstract** – The abstracts present the main areas of research into the impact of digital technologies on the economic security of enterprises. The dichotomous nature of digitalization is considered, which is manifested in the fact that it simultaneously forms both opportunities and threats to the development of companies. The key resource in this situation is a person with relevant competencies and professional skills.

*Keywords:* digitalization, economic security, business processes, information security threats, economic efficiency, Rosatom State Corporation, databases, professional competencies.

УДК 621.039: 316.334.3 (470.61)

# К ВОПРОСУ ОБ УЧАСТИИ ГК РОСАТОМА В РЕАЛИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРИОРИТЕТОВ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

#### Е.Л. Локонова, А.В. Железнякова, В.Д. Власова

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

Особую роль в социально-экономическом и стратегическом развитии страны занимают Национальные проекты, предусматривающие решение системных проблем, особенно инвестиционного и научно-технического характера. Активная роль в достижении запланированных результатов национальных проектов закреплена за субъектами Российской Федерации. В работе выявлены проблемы, возникающие в ходе реализации Национальных проектов во взаимосвязи с выполнением региональных государственных программ с участием ГК «Росатом», а также представлена оценка эффективности участия Ростовской области как субъекта Российской Федерации в реализации национальных проектов через формат региональных проектов.

Ключевые слова: региональные приоритеты, Национальные проекты, государственные программы,  $\Gamma K$  «Росатом», Ростовская область.

Особую роль в социально-экономическом и стратегическом развитии страны занимают Национальные проекты, которые направлены на конкретные сферы общественных отношений и предусматривают достижение конкретных целей в этих сферах. Для повышения устойчивости региональной экономики и выравнивания социально-экономического развития территории значимыми становятся программно-целевые методы управления. Решение системных проблем, особенно инвестиционного и научно-технического характера, предлагается государством через реализацию национальных проектов[3; 4].

Активная роль в достижении запланированных результатов национальных проектов закреплена за субъектами Российской Федерации.

Необходимо отметить, развитие России во многом зависит от экономики, в том числе и от того, как будет идти развитие самых крупных компаний, концернов и корпораций.

Целью настоящего исследования является оценить эффективность и выявить проблемы, возникающие в ходе реализации национальных проектов во взаимосвязи с выполнением региональных государственных программ с участием ГК «Росатом».

Участие Ростовской области как субъекта Российской Федерации в реализации национальных проектов осуществляется через формат региональных проектов (табл. 1). На территории Ростовской области реализуется 11 национальных проектов по таким направлениям как «Человеческий капитал», «Комфортная среда для жизни», «Экономический рост» [1, 2].

Таблица 1 – Реализация национальных проектов через формат региональных проектов (финансовое обеспечение)

Национальные проекты	Региональные проекты	Бюджет региональных проектов до 2024 (млн руб.)
	ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ КАПИТАЛ	
Демография	Финансовая поддержка семей	33029,7
	Содействие занятости женщин-доступность	
	дошкольного образования для детей в возрасте до	
	трех лет	7259,2
	Старшее поколение	8611,3
	Укрепление общественного здоровья	0,0
	Спорт-норма жизни	1808,4
	Итого	50708,6
Здравоохранение	Первичная медико-санитарная помощь	1972,9
	Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями	4198,8
	Борьба с онкологическими заболеваниями	39842,2
	Детское здравоохранение	4874,7
	Медицинские кадры	71,0
	Цифровой контур здравоохранения	2511,1
	Экспорт медицинских услуг	0,0
	Итого	53470,7
Образование	Современная школа	5042,9
·	Успех каждого ребенка	268,5
	Поддержка семей, имеющих детей	5,0
	Цифровая образовательная среда	767,2
	Учитель будущего	112,1
	Молодые профессионалы	52,1
	Социальная активность	121,6
	Итого	6369,4
Культура	Культурная среда	525,6
	Творческие люди	0,0
	Цифровая культура	8,0
	Итого	533,6
	КОМФОРТНАЯ СРЕДА ДЛЯ ЖИЗНИ	
Безопасные и	T =-	43052,0
качественные	Общесистемные меры дорожного хозяйства	1587,2
автомобильные	Безопасность дорожного движения	1592,4
дороги	Итого	46231,6
Жилье и городская		1131,6
среда	Формирование комфортной городской среды	9224,5
-	Обеспечение устойчивого сокращение	9688,8
	непригодного для проживания жилищного фонда	,
	Итого	20044,9
		7

Продолжение таблииы 1

_Продолжение таблицы	1				
Экология	Сохранение уникальных водных объектов	346,1			
	Сохранение лесов	347,3			
	Чистая вода	18078,5			
	Комплексная система обращения с твердыми	7941,8			
	коммунальными отходами				
	Чистая страна	484,0			
	27197,7				
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ					
Малое и среднее	Улучшение условий для бизнеса	27,0			
предпринимательство	Финансовая поддержка малого и среднего	2693,4			
и поддержка	предпринимательства				
индивидуальной	Акселерация субъектов малого и среднего	1475,1			
инициативы	предпринимательства				
	Популяризация предпринимательства	201,0			
	Создание системы поддержки фермеров и развитие	361,6			
	сельской кооперации				
	Итого	4758,1			
Цифровая экономика	Цифровая экономика Цифровые технологии				
	Цифровое государственное управление	970,9			
	Кадры для цифровой экономики	0,0			
	Информационная инфраструктура	370,8			
	Информационная безопасность	60,8			
	Итого	1402,5			
Производительность	Системные меры по повышению	0,5			
труда и поддержка	производительности труда				
занятости	Адресная поддержка на предприятиях	211,4			
	Поддержка занятости	135,2			
	Итого	347,1			
Международная	Системные меры развития международной	12,4			
кооперация и экспорт	кооперации и экспорта				
	Экспорт услуг	0,0			
	Экспорт продукции агропромышленного комплекса	707,6			
	эконорт продукции игропромению	, .			

В сфере взаимодействия с регионами присутствия предприятий Госкорпорации «Росатом», в частности в Ростовской области, имеются примеры положительного решения вопросов реализации национальных проектов через формат региональных проектов. Так, например, в рамках национального проекта «Экология» направления «Комфортная среда для жизни» «Концерном Росэнергоатом» в рамках разработанной и утвержденной комплексной программы мероприятий по выполнению рекомендаций и предложений Государственной экологической экспертизы по проекту Ростовской АЭС, реализуется «Программа комплексного экологического мониторинга на площадке и в районе размещения Ростовской АЭС». Такие мероприятия как наблюдение за гидрологическим и метеорологическим режимом; за режимом уровня подземных вод; наблюдение за сейсмичностью; за микродеформациями грунтового массива площадки; за креном и осадкой, состоянием наземных и водных экосистем; контроль за радиационными параметрами в окружающей среде и т.д., служат примером реализации вышеуказанной программы. Также, следует отметить, что ГК «Росатом» в рамках программы благотворительности ежегодно выделяет средства, на которые оказывается помощь, например, городским учреждениям здравоохранения, приобретается необходимое дорогостоящее оборудование для больниц и т.д.

Таким образом, можно сделать вывод, что в целом реализация Национальных проектов на территории Ростовской области находится на высоком уровне. Хотя следует обратить внимание на то, что согласно паспортам региональных проектов, реализуемых в Ростовской области по состоянию на 4 сентября 2020 года, денежные средства не были выделены на такие региональные проекты как «Укрепление

общественного здоровья», «Экспорт медицинских услуг», «Творческие люди», «Цифровые технологии», «Кадры для цифровой экономики», «Экспорт услуг». Наиболее дорогостоящими проектами являются «Демография» и «Здравоохранения». ГК «Росатом» оказывает значительную поддержку в развитии областей присутствия атомной отрасли, что способствует эффективному развитию регионов по вопросам реализации региональных приоритетов национальных проектов [5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Яковлева, Е.А., Титова Е.В. Региональные приоритеты реализации национальных проектов (на примере Воронежской области)// Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. ISSN 1999-2645.-№2 (62). Номер статьи: 6210. URL: https://eee-region.ru/article/6210/ (дата обращения: 03.05.2021)
- 2. *Воробьева*, *Е.И.* Государственные финансы России и реализация национальных проектов // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2019. № 1(46). С. 16-24.
- 3. *Голубев, С.С., Елфимов, О.М.* Повышение эффективности реализации национальных проектов и государственных программ на основе внедрения принципов проектного управления // На страже экономики. 2019. № 3(10). С. 16-24.
- 4. *Гродская, Г.Н., Валяева, Е.С.* Государственные программы в системе стратегического планирования: механизм интеграции и реализация принципов проектного управления // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2019. Т. 2. № 3. С. 31-41.
- 5. *Иванов О.Б., Бухвальд, Е.М.* Национальные проекты России: региональное измерение // Этап: экономическая теория, анализ, практика. 2019. № 1. С. 37-53.

# Issue of State Corporation Rosatom Participation in Regional Priorities Implementation of National Projects (on the example of Rostov Region)

# E.L. Lokonova<sup>1</sup>, A.V. Zheleznyakova<sup>2</sup>, V.D. Vlasova<sup>3</sup>

Volgodonsk Engineering and Technology Institute – a branch of the National Research Nuclear University

MEPhI, Volgodonsk, Rostov region, Russia

<sup>1</sup>e-mail: ELLokonova@mephi.ru

<sup>2</sup>e-mail: AVZheleznyakova@mephi.ru;

<sup>3</sup>e-mail: VDVlasova@mephi.ru

**Abstract** – A special role in the socio-economic and strategic development of the country is played by National Projects, which provide for the solution of systemic problems, especially investment, scientific and technical issues. An active role in achieving the planned results of national projects is assigned to the constituent entities of the Russian Federation. The paper identifies the problems that arise while implementing National Projects together with the regional state programs with the participation of the State Corporation Rosatom. The paper also provides the participation effectiveness assessment of the Rostov Region as a constituent entity of the Russian Federation in the implementation of national projects through the regional projects format.

Keywords: regional priorities, National projects, state programs, State Corporation Rosatom, Rostov region.

# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОЛГОДОНСКА)

### Д.Г. Хухлаев, В.Е. Довбыш

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл. .Россия

Статья посвящена вопросам построения эффективной сбалансированной стратегии развития муниципального образования в условиях факторов, характерных для города Волгодонска. В рамках исследования определен круг проблемных аспектов стратегического планирования муниципального образования: необходимость выделения проектов экономической направленности, составление иерархии проектов в рамках стратегического развития города, критичность вопроса финансирования данных проектов и др. Авторами сделаны выводы и предложения касательно принципов планирования стратегического развития муниципального образования на примере города Волгодонска

*Ключевые слова*: стратегический менеджмент, стратегическое планирование, стратегия развития города

В настоящее время эффективное функционирование системы стратегического планирования имеет ключевое значение в развитии государства, поскольку позволяет решать задачи повышения качества жизни населения, роста экономики и обеспечения безопасности страны. На сегодняшний день муниципальные образования, в которых качественно поставлена работа по стратегическому планированию, добиваются высоких показателей уровня социально-экономического развития и обладают большой инвестиционной привлекательностью.

Вопросы стратегического развития муниципальных образований поднимаются регулярно по причине необходимости постоянного процесса планирования будущего развития городов.

Стратегическое управление и планирование базируется на учете уникальных для каждого региона характеристик [1]:

- географическое положение и наличие природных ресурсов;
- экономические условия, состав и характеристика экономических субъектов;
- уровень экономической активности хозяйствующих субъектов;
- социальный уровень жизни населения;
- эффективность системы местного управления.

Город Волгодонск своим развитием всецело обязан системе планового хозяйствования, являясь одновременно элементом различных стратегических планов развития народного хозяйства СССР. Можно сделать вывод о том, что г. Волгодонск имеет свои хозяйственные контуры не в результате естественного развития, а в результате воздействия на территорию и экономическое пространство в ходе реализации стратегических планов.

Собственники практически всех ключевых производств в городе находятся за его пределами, а зачастую и за пределами Ростовской области. Это имеет два негативных следствия:

- 1) собственники не являются налогоплательщиками нашего региона;
- 2) собственники в основном не имеют принципиальной заинтересованности в комплексном развитии муниципального субъекта.

Рассмотрим основные этапы построения стратегии развития города с учетом специфики г. Волгодонска.

Стратегическое видение представляет собой идеальное состояние объекта управления в представлении руководства города, и всего общества в целом.

Определение (постановка) цели как конечного результата имеет общие правила, выражаемые в экономической литературе как SMART. Технология SMART – современный подход к постановке работающих целей. Система постановки smart — целей позволяет на этапе целеполагания обобщить всю имеющуюся информацию, установить приемлемые сроки работы, определить достаточность ресурсов, предоставить всем участникам процесса ясные, точные, конкретные задачи. Академик, бизнесмен Н.Р. Базиян указывает и на дополнительные требования к цели конкретного проекта, а именно дать возможность реализовывать дополнительные проекты и соответствовать требованиям инвесторов [2].

В данной статье мы пропустим вопрос о миссии, поскольку она играет исключительную роль только для хозяйствующего субъекта.

Рассмотрим выбор стратегии и концепции (модели) развития города.

В процессе стратегического планирования необходимо решить ряд противоречий, обусловленных вышеперечисленными факторами:

1) Выбор концепции развития города.

Наиболее трудным при разработке концепций является даже не оценка различных концепций, не выбор из них лучшей, а само формирование нескольких различных концепций, логически вытекающих из проблем города и его возможностей. Решение этого вопроса является вводной для решения следующей задачи

2) Выбор драйвера развития города Волгодонска.

Уникальность города Волгодонска, заключается в наличие предприятий и учреждений всех дивизионов АО «Концерн Росэнергоатом».

3) Баланс между экономическими и социальными проектами.

Отмечая важность социальной сферы, считаем, что базисом устойчивого развития города является все-таки экономика.

4) Концентрация и диверсификация целей экономического развития.

С одной стороны, руководство города должно решать вопросы комплексного развития экономики муниципального образования. С другой, существуют предпосылки развития отдельных отраслей и предприятий. Необходимо отметить, что избыточная диверсификация целей неизбежно приведет к распылению финансовых и других ресурсов.

5) Финансирование стратегического развития города.

Ситуация является наиболее острой для городов, не являющимися региональными центрами, и по составу определяемые как малые города [2]. На достижение целей бюджетной политики могут оказать существенное влияние изменения в бюджетном и налоговом законодательстве Российской Федерации, перераспределение доходных источников между уровнями бюджетной системы Российской Федерации, уточнение расходных полномочий, применение новых механизмов в межбюджетных отношениях между субъектами Российской Федерации и федеральным центром.

6) Определение уровня текущей конкурентоспособности города и мер по его повышению.

Конкуренция является атрибутом любой экономической системы, которая не только определяет эффективное распределение ограниченных ресурсов между субъектами экономики, но и определяет в зависимости от условий внешней среды наиболее рациональное их использование.

В результате рассмотрения нашей научной проблемы мы можем резюмировать ряд сделанных выводов и подтвердить ранее известные выводы:

1) При формировании целей должны соблюдаться правила.

- 2) При составлении иерархии проектов, главные определяются исходя из показателей экономической эффективности (прибыльности). Аргументируется данная позиция тем, что любой проект (например, социальный или образовательный) не являющийся самоокупаемым требует источник финансирования.
- 3) При составлении проектов необходимо их дифференцировать по источникам финансирования, используя дополнительный критерий надежность источника (вероятность получения финансирования).
  - 4) При разработке стратегии вопрос финансирования является первоочередным.
- 5) При составлении стратегического плана развития города необходимо отделять реальные цели от политических и популистских лозунгов.
- 6) При составлении стратегии развития города необходимо четко выделять социальные и экономические проекты.
- 7) При составлении стратегии развития города необходимо уделять реализации преимуществ, создаваемых драйвером развития города, в нашем случае предприятиями АО «Концерн Росэнергоатом».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Селезнева, Ж.В. Стратегическое планирование развития городского хозяйства : учебное пособие / Ж. В. Селезнева. Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. 118 с. // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS. URL: https://www.iprbookshop.ru/20521.html (дата обращения: 12.05.2021).
- 2. *Базиян, Н.Р.* Стратегический менеджмент / Н.Р. Базиян. Москва : Юриспруденция, 2018. 510 с. // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS. URL: https://www.iprbookshop.ru/86541.html (дата обращения: 12.05.2021)
- 3. *Бобракова, Т.А.* Проблема малых городов: несоответствие реального потенциала развития и государственных стратегий грядущих десятилетий / Т.А. Бобракова // Малые и средние города России: социокультурная и экономическая роль в развитии страны (Златоуст, 04 мая 2012 года): сборник трудов конференции Челябинск: Издательство: Южно-Уральский технологический университет, 2012. С.88-94.

# Topical Issues of Strategic Planning and Management of Municipality Development (On the Example of the City of Volgodonsk)

# D.G. Khukhlaev<sup>1</sup>, V.E. Dovbysh<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>e-mail: omega356@yandex.ru

<sup>2</sup>e-mail: VITIkafESGD@mephi.ru

**Abstract** – The article is devoted to the issues of building an effective balanced strategy for the development of the municipality in the conditions of factors characteristic of the city of Volgodonsk. Within the framework of the study, a range of problematic aspects of the strategic planning of the municipality is defined: the need to allocate projects of an economic orientation, drawing up a hierarchy of projects within the framework of the strategic development of the city, the criticality of the issue of financing these projects, etc. The authors draw conclusions and suggestions on the principles of planning the strategic development of the municipality on the example of the city of Volgodonsk

Keywords: strategic management, strategic planning, city development strategy.

# К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ ВУЗА

### С.П. Агапова, И.А. Ухалина, Н.А. Ефименко

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе исследованы базовые принципы концепции «бережливого производства», целевые результаты производственных систем, основанных на принципах Lean и возможностях, которые они могут обеспечить в решении проблемы повышения качества научно-исследовательской работы студентов вуза.

*Ключевые слова*: производственная система, бережливое производство, инструменты бережливого производства, образовательный процесс, научно исследовательская деятельность студентов, потери, визуализация управления, картирование потока.

Традиционно, концепция «бережливого производства» рассматривалась как рыночная концепция управления бизнес-процессами. Учитывая, что люди всегда ищут пути повышения эффективности своей деятельности, все процессы в мире, согласно парадигме тектологии, являются организационными, направленными на экономию всех ресурсов, особенно трудовых.

Идеи, позднее получившие название Lean manufacturing были высказаны еще в 20-е годы 20 века Г. Фордом, но не получили широкого признания в бизнес и научных кругах. В середине 50- годов Т. Оно, топ-менеджер японской компании Тойота, внедрил систему TPS (Toyota Production System) в автомобилестроении, позднее она получила распространение практически во всех отраслях промышленности, в торговле, в сфере услуг, здравоохранении и других отраслях экономики.

Производственные системы, основанные на принципах бережливого производства, позволяют повысить эффективность и качество работы на каждом рабочем месте путем последовательного исключения потерь в производственных и управленческих процессах. Достижение поставленных целей основывается на стремлении к устранению всех видов потерь (минимизировать безрезультатные действия) и выполнении работы «точно вовремя» (just in time) [1].

Исходя их выявленных базовых принципов бережливого производства и направленности на конечный результат, считаем целесообразным использовать идеи и инструменты Lean в образовательном процессе, в частности, в организации научно-исследовательской деятельности студентов. Необходимость трансформации подхода к организации работы над курсовыми проектами, выпускными квалификационными работами, магистерскими диссертациями, статьями и докладами на научно-практические конференции и т.п., связана:

- со сложностями поиска (нехваткой) информационных ресурсов;
- с нехваткой временных ресурсов, созданием стрессовых ситуаций для всех участников процесса;
  - риском невыполнения работы в срок и/или низким качеством работы.

Внедрение стандартных инструментов бережливого производства в организацию научно-исследовательской, проектной деятельности студентов должно проходить поэтапно[2]:

1 этап – диагностика проблем, оценка исходного, текущего и желаемого состояния;

- 2 этап разработка проекта улучшений в соответствии с выбранными инструментами Lean и целями деятельности (например, картирование потока, визуальное управление и др.);
  - 3 этап разработка пилотного проекта (макетов, моделей);
- 4 этап апробация и корректировка проекта, обеспечивающие гибкость его использования в работе с разными аудиториями обучающихся.

Считаем, что реализация намеченных мероприятий позволит повысить качество научно-исследовательских, проектных, творческих работ студентов, результативность и удовлетворенность, минимизирует психологическое напряжение, связанное с нехваткой времени, что обеспечит более полное раскрытие творческого потенциала обучающихся.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Волкова, И.А. Проблемы и перспективы применения бережливых технологий в образовательной организации, Нижневартовский государственный университет, Сборник трудов конференции «Система образования и технологии бережливого производства» Нижневартовск, 31 марта 2017г. с.12-18.
- 2. *Пономаренко*, *A*. «Поиском идей тоже надо управлять», газета атомной отрасли «Страна Росатом», апрель 2021, №12(476) с.13.

# Issue of Expediency of Using Lean Production Tools in the Research Activities of University Students

# S.P. Agapova<sup>1</sup>, I.A. Ukhalina<sup>2</sup>, N.A. Efimenko<sup>3</sup>

Volgodonsk Engineering and Technical Institute - Branch of the National Research Nuclear University

"MEPhI", Volgodonsk, Russia <sup>1</sup>e-mail: SPAgapova@mephi.ru

<sup>2</sup>e-mail: IAUkhalina @ mephi.ru

<sup>3</sup>e-mail: NAEfimenko@mephi.ru

**Abstract** – The paper investigates the basic principles of the concept of «lean manufacturing», the target results of production systems based on the principles of Lean and the possibilities that it can provide in solving the problem of improving the quality of research work of university students.

*Keywords:* production system, lean manufacturing, lean manufacturing tools, educational process, student research activities, waste, management visualization, flow mapping.

УДК 621.039.59

# ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

### О.И. Дружинская, К.С. Гришин

Димитровградский инженерно-технологический институт — филиал НИЯУ МИФИ, Димитровград, Россия

Целью работы является изучение и освещение существующих проблем атомной энергетики, анализ изученной информации и формулировка соответствующих выводов.

Ключевые слова: энергетика, атомная отрасль, проблема, реактор, безопасность.

Атомная энергетика становится более значимой в процессе выработки электроэнергии в России, по итогам 2019 г. АЭС страны выдали 209 млрд. киловаттчасов. Доля электроэнергии, вырабатываемая атомными электрическими станциями с каждым годом, растет. Атомная отрасль составляет 19,72% в общей выработке энергетических систем и с годами наблюдается рост.

Неминуемость ограниченности ископаемых энергоносителей становится все более явной в современном мире. Становится актуальна тема, касающаяся альтернативных источников энергии. Но необходимо учитывать, что ветро- гидро- и гелио- (солнечная) энергетика эффективны только при значимом проценте их вовлеченности в общую выработку электроэнергии. Помимо этого данные источники энергии требуют колоссальных затрат для их строительства и реализации. Вследствие чего происходит удорожание электроэнергии для потребителей. Атомная энергетика выглядит более реалистичной перспективой, конечно, не лишённой недостатков, но не смотря на большие затраты на реализацию, способна дать доступную и относительно дешевую энергию. Эта тема очень общирна, актуальных вопросов можно привести много, так как в данной сфере все аспекты нужно принимать во внимание.

Атомная отрасль Российской Федерации занимает одно из передовых мест в мире по уровню разработок и проектировке реакторных установок, опыту эксплуатации и квалификации научного и эксплуатационного персонала предприятий атомной энергетики. Российская атомная отрасль состоит из около 350 предприятий, в которых трудоустроено примерно 250 тысяч человек [1]. В настоящее время ведется строительство как новых промышленных, так и исследовательских реакторных установок с перспективными рабочими местами.

Современной атомной энергетике присущи очевидные недостатки, без устранения которых сила атома не сможет укрепить и повысить свою значимость в общей выработке электроэнергии на долгое время вперед. Можно выделить следующие проблемы:

- использование не всего потенциала ядерного топлива;
- большое количество радиоактивных отходов, хранение и утилизация отработанного ядерного топлива и оружейного плутония;
  - устаревающие генерирующие мощности;
  - проблема импортозамещения;
  - дефицит квалифицированных рабочих и инженерных кадров.

Безопасность, рациональность и эффективность являются критическими факторами, определяющими будущее атомной энергетики.

Неиспользование всего потенциала ядерного топлива в реакторе является экономически невыгодным фактором, учитывая, тот факт, что содержание «легко» делящегося изотопа урана U-235 в недрах земли всего 0,72% и оно неуклонно уменьшается. Для решения проблемы использования всего потенциала ядерного топлива и расширения топливной базы существует такое решение, как реакторы на быстрых нейтронах. Название данного типа реакторных установок связано с частицами, благодаря которым осуществляется цепная ядерная реакция деления урана и получение энергии. Речь идет о нейтронах, которые изначально рождаются в объеме активной зоны с очень высокой энергией и движутся со скоростями порядка тысяч километров в секунду. Они называются «быстрыми» нейтронами [2, с. 5]. В результате диффузии, нейтроны испытывают столкновения и их скорость уменьшается. Чем же так примечательны реакторы на быстрых нейтронах? В их способности нарабатывать ядерное топливо в процессе работы, обеспечивая как себя, так и другие установки. Ядерный топливный цикл данного типа позволяет извлечь больше энергии из ядерного топлива и тем самым использовать его более рационально. Количество элементов, которые позволяют осуществлять ядерную реакцию деления ограничено: плутоний -Pu-239 и два изотопа урана – U-235 и U-233. Как говорилось выше, только U-235 встречается в природе в малых количествах. Больше всего в природе встречается изотоп урана U-238, он составляет 99% всего природного урана.

Что же делать для расширения топливной базы реакторов? Реализовать топливный цикл на U-238. Такая возможность реализуется на быстрых реакторах [3, с. 6]. Важной особенностью реакторов данного типа заключается в том, что в нем образуется больше нейтронов высокой энергии, которые могут поглощаться изотопом урана-238. Процесс образования плутония-239, который в последующем, может быть использован для осуществления ядерной реакции деления в реакторе, идет путем поглощения нейтронов и протекания нескольких β распадов

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U \rightarrow ^{239}_{93}Np \rightarrow ^{239}_{94}Pu$$
.

В результате за время работы в быстром реакторе накапливается примерно столько плутония, сколько сгорает первоначально загруженного урана U-235. Если же быстрый реактор загрузить сразу плутониевым топливом в смеси с неделящимся ураном U-238, то нового плутония в нем образуется даже больше, чем сгорает в процессе работы. Получается, что реакторы на быстрых нейтронах обладают уникальной способностью. В процессе его работы он способен воспроизвести затраченное ядерное топливо, и даже при определенных условиях произвести его больше, чем было затрачено, снабдив топливом не только себя, но и чаще всего прилегающие к нему установки. На этом возможности использовать реакторы на быстрых нейтронах не заканчиваются, они способны утилизировать оружейный плутоний. Тем самым, можно утверждать, что реакторы на быстрых нейтронах решают сразу несколько проблем описанных выше. Естественно, общая доля использования данных реакторов должна составлять минимум 30% от общего числа реакторных установок.

Проблема радиоактивных отходов заключается в их большом накопленном количестве, недостаточности технических средств для обеспечения радиационной безопасности при обращении с ними и отработавшим ядерным топливом, недостатке надежных хранилищ для их продолжительного хранения или захоронения. Все это повышает риск возникновения радиационной аварий, загрязнения окружающей среды, облучения населения и эксплуатационного персонала. Проблема загрязнения почвы и воды отходами атомной отрасли можно предотвратить, если более тщательно выбирать место их захоронения. Захоронение в стабильных граничных слоях предотвращает проблему на десятки тысячелетий, применяемые сухотарные бочки решают проблему лишь на 1 век. При выборе места захоронения нужно учитывать мнение организаций, борющихся за сохранение окружающей среды, то процесс выбора захоронения будет прозрачным, а хранилище будет расположено в подходящих геологических условиях. Россия обладает развитой атомной энергетикой, что позволяет ей организовать работу радиохимических предприятий для переработки и хранения отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов. Развитие и модернизация имеющихся радиохимических комбинатов и строительство новых также может благоприятно повлиять на проблему радиоактивных отходов.

Проблема устаревающих генерирующих мощностей обусловлена уже довольно большого продолжительной работой количества реакторных установок сопутствующих механизмов и устройств, отсутствием достаточного количества вводимых в эксплуатацию новых энергоблоков и обновления оборудования. Данная проблема проявляется в снижении мощностей и увеличении потерь в энергосистеме, кроме того эксплуатация реакторных установок старого поколения типа РБМК снижает общий уровень ядерной безопасности атомной отрасли. Реакторы типа ВВЭР и БН являются наиболее удачными ядерными энергетиками установками и обладают самыми современными И эффективными системами безопасности. Проблема импортозамещения тесно связана с устареванием генерирующих мощностей, на сегодняшний день большое количество оборудования – импортное, это представляет угрозу, в условиях введенных санкций против России. Необходимо принимать меры по снижению использования зарубежных компонентов и оборудования, развивая и восстанавливая собственную промышленность, способную обеспечить атомную отрасль всем необходимым. При достижении действительно высокого уровня импортозамещения проблема устаревающих генерирующих мощностей будет решаться проще.

Новые кадры – требование времени. В определенный временной период, во время нестабильного положения в стране, трудоспособное население, а в частности, молодежь сомневалась в актуальности и видела весьма туманные перспективы при трудоустройстве на инженерные должности энергетики, промышленности и в сфере атомной отрасли в том числе. По сути, атомная энергетика за этот период времени потеряла целое поколение молодых специалистов. Потеря интереса к инженерным специальностям была обусловлена переходом к рыночной экономике, крахом многих промышленных предприятий, тяжелым финансовым положением и утратой значимости профессии инженера. Все это привело к ситуации, в которой многие российские отрасли, не только атомная, в настоящее время живут «старыми» кадрами. Рост заинтересованности молодежи может быть увеличен при их уверенности в том, что они будут востребованы после обучения. Студенты, желающие встать в ряды сотрудников предприятий атомной отрасли, в свою очередь должны ответственно подходить к освоению всех необходимых компетенций в процессе обучения, воспитывать в себе дисциплинированность и ответственность ведь ошибки в данной сфере зачастую могут не нести за собой последствия разного характера.

Безопасность является критическим фактором, определяющим будущее атомной энергетики. Для успешной реализации долгосрочной стратегии развития атомной отрасли России нужно решать существующие проблемы. Внедрение в отрасль передовых принципов, освоение реакторов нового типа, использование новых технологий контроля, систем управления и защиты — все это поможет атомной отрасли страны развиваться и приобрести бесценный опыт, который послужить во благо последующим поколениям.

Из всего вышесказанного стоит сделать вывод, что атомная энергетика обладает, как многими преимуществами, так и многими недостатками. Стоит помнить, что не существует идеального источника энергии, и в наших интересах продолжать развитие энергетики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Госкорпорация «Росатом»: [Электронный ресурс]. URL: https://rosatom.ru/about-nuclear-industry/atomnaya-otrasl-rossii/ (дата обращения: 04.04.2021)
- 2. *Акато.в А.А.*, Коряковский Ю.С. Будущее ядерной энергетики. Реакторы на быстрых нейтронах. Москва : AHO «ИЦАО». 2012 36 с.
- 3. *Усынин, Г.Б.* Реакторы на быстрых нейтронах: учеб, пособие для вузов/ Под ред.  $\Phi$ .М. Митенкова. Москва : Энергоатомиздат. 1985. 288с.

### **Problems Inherent in Modern Nuclear Energy and Ways to Solve Them**

# O.I. Druzhinskaya<sup>1</sup>, K.S. Grishin<sup>2</sup>

Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,

Dimitrovgrad, Russia

1e-mail: drol74@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: grikir2016@yandex.ru

**Abstract** – The aim of the work is to study and highlight the existing problems of nuclear power, analyze the information studied and formulate the appropriate conclusions.

Keywords: Energy, nuclear industry, problem, reactor, safety.

# ИСЛАМИЗМ КАК ВЫЗОВ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

### Н.И. Лобковская, А.Н. Недорубов

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Рассматриваемой проблемой является исламизм как один из вызовов культуре безопасности строительства и эксплуатации объектов атомной энергетики. Актуализируется вопрос о сущности исламизма, выступающего в роли вызова общезначимой культуре безопасности строительства и эксплуатации объектов атомной энергетики.

Ключевые слова: исламизм, объекты атомной энергетики, безопасность в атомной отрасли.

электростанции становятся объектами Атомные атак представителей исламистских радикальных группировок, например ИГИЛ. С начала 2010-х гг. исламистская угроза нависла над всей Европой, особенно остро это ощущалось в странах со значительным кластером мусульманского населения. Используя социальноэкономические «болевые точки» общества, они с легкостью стали вербовать в свои ряды новых адептов, в первую очередь, обращая внимание и на выпускников высших учебных заведений и уже опытных инженеров и сотрудников различных корпораций. Сначала террористы наметили подвергнуть атаке значимые исторические объекты и мероприятия, в том числе парижские Эйфелеву башню и Лувр, фестиваль театрального искусства в Авиньоне, международный марафон в Лондоне, фестиваль электронной музыки Tomorrowland в Бельгии. Также, были запланированы теракты в барах, на рынках и нападения на представителей полиции, цель этих актов была одна распространение страха у рядовых жителей. Но затем они стали ставить целью и нанесение ударов по промышленной инфраструктуре, в том числе по атомным электростанциям.

В 2013 г. французская полиция расшифровала электронную переписку между 29-летним работником одной из АЭС, алжирца по происхождения, у которого было двое детей, проживавшем в южнофранцузском городе Воклюз, с одиозным руководителем AQIM – филиала Аль-Каиды в странах африканского Магриба. Этот куратор группировки предложил ему написать свои возможности по организации джихада по месту его жительства и работы. Сам работник, Али М. выдвинул идею осуществить атаку на АЭС Кадараш. Однако эти планы оказались сорваны. Али М. предложил совершить теракт против простых жителей в развлекательных клубах, в торговых центрах и около полицейских участков и муниципальных учреждений. Помимо этого, он предложил сделать основной целью историко-культурные объекты и различные культурные мероприятия Южной Франции, куда стекаются тысячи зрителей и участников на фестиваль театров в Авиньоне (недалеко от Атомной электростанции Маркуль). После этого его куратор из AQIM предложил ему пройти в Алжире специальную боевую подготовку. По завершении «обучения» он должен был вернуться домой и ждать указаний. Однако, вовремя расшифровав переписку, в июне 2013 г. полицейские задержали алжирца. Адвокат Али М. заявил, что его клиенту начисто «промыли мозги» и задержание стало для него облегчением. [1] Данное дело вовсе не исключительный случай. В последние годы проблема радикализации жителей Западной Европы имеет тенденцию к расширению.

Другим примером служит инцидент в Бельгии. 22 марта 2014 г. произошли многочисленные тракты – в международном аэропорту, на станции метро Мальбек. Опасения по поводу ядерного терроризма возросли после того, как бельгийские СМИ

сообщили, что террористы-смертники, убившие 32 человека в этот день, первоначально рассматривали возможность нападения на ядерную установку, прежде чем полицейские рейды, которые поймали ряд подозреваемых сообщников, заставили их сменить цели.

То, что главным объектом для террористических атак являлись именно атомные электростанции, вызвало настоящую панику в СМИ и в обществе. Бельгийские силовики установили, что смертники братья Бакрауи, приведшие в действие бомбы в Брюсселе, установили видеонаблюдение за домом руководителя национальной атомной программы. Видеозаписи подходов к дому и маршрутов движения руководителяатомщика были найдены в квартирах террористов. После взрывов в стране, АЭС Тианж была взята под усиленную защиту. Но не это было основной целью террористов. Их главная задача - построение Всемирного исламского халифата, в том числе на территории Европы и России. Обезумевшие фанатики готовы убивать всех, кто стоит у них на пути, ради воцарения самых жестоких норм ортодоксального шариата. Они стремятся устроить ядерный апокалипсис. На сегодняшний день в Европе действуют более 150 ядерных реакторов, нуждающихся в усиленных мерах безопасности. В 30-ти километровой зоне пятидесяти из них проживает более чем по 100 тыс. человек. И безопасность этого населения становится, пожалуй, самой главной задачей для всех специализированных служб, которые должны обратить внимание не только на технические и технологические стороны защиты, но и на такие факторы, как социокультурные особенности групп населения [1].

Эксперты по безопасности тогда заявили, что взрыв ядерного реактора выходит за рамки навыков воинствующих групп, и что ядерная промышленность имеет некоторые уязвимые места, которые могут быть ими использованы. По мнению Пейджа Стаутленда, руководителя независимой организации по ядерной безопасности NTI, риск использования отдельными лицами, получающими доступ к чувствительной энергетической инфраструктуре, включая ядерные объекты, всё более возрастает [2].

В 2014 г. был зафиксирован странный случай преднамеренного акта саботажа на бельгийском ядерном реакторе электростанции Дул 4. Было установлено, что один из сотрудников имел контакты с запрещенными группировками в Сирии. В декабре того же года бельгийская полиция отследила передвижения высокопоставленного чиновника атомной отрасли страны и его связи с исламистами, совершившими теракты в Париже в ноябре 2014 г., в которых погибло 130 человек. В результате безопасность вокруг бельгийских атомных станций была усилена. Отраслевые эксперты заявили, что преднамеренно вызвать катастрофическое расплавление ядерного реактора было бы трудно, поскольку в диспетчерской никогда не бывает одного человека, обычно там находится от четырех до шести операторов в любое время. Это, по словам Бертрана Барре, бывшего руководителя Агеva (бельгийской государственной энергетической компании) снижает риск самоубийственных действий. Однако нельзя исключать преднамеренных актов саботажа. В 2014 г. реактор Дул 4 был остановлен через четыре месяца после того, как кто-то намеренно повредил его турбину, слив 65 000 литров масла. Преступника так и не нашли [3].

Риск кибератак также возрастает. Большинство атомных станций были построены до появления интернета или даже компьютерной эры, и их диспетчерские пункты работают по аналоговой технологии XX-го века. По мнению NTI, атомные станции сейчас быстро оцифровываются, увеличивая риск того, что хакеры могут завладеть интересующей их информацией. Наибольший риск связан с ядерным топливным циклом, который включает обогащение урана, производство и переработку топлива, транспортировку и хранение радиоактивных материалов. Специалисты утверждают, что бассейны, в которых охлаждается отработавшее ядерное топливо, более уязвимы, чем сами реакторы. Особое беспокойство вызывают такие установки как Ла-Гаага во Франции или Селлафилд в Великобритании, где отработавшее топливо из десятков реакторов хранится в бассейнах, прежде чем оно будет переработано или помещено в

бочки для сухого хранения. Каждую неделю плутоний — один из двух ключевых компонентов ядерных бомб, наряду с высокообогащенным ураном — транспортируется по суше из Ла-Гааги в Маркуль на юге Франции для переработки в смешанное оксидное топливо.

Эксперты также обеспокоены тем, что боевики воруют радиоактивные материалы с медицинских или промышленных объектов. Радиоактивные изотопы используются в десятках областей применения, от лечения рака до контроля сварных швов трубопроводов, и тысячи упаковок с небольшим количеством радиоактивного материала ежегодно отправляются по всей Европе. Похищенные радиоактивные материалы из этих партий могут быть объединены с традиционными взрывчатыми веществами для создания «грязной бомбы» [4]. В то время как радиоактивность, распространяемая таким устройством, вряд ли будет смертельной, она создаст огромную панику и загрязняет обширную область, которую будет очень сложно обеззараживать. В это связи стоит вспомнить, что ещё в 1995 г. чеченские боевики установили в московском парке баллон с радиоактивным цезием, но не взорвали его и предупредили российские власти, которые успели деактивировать устройство.

С середины 1990-х гг. государства-члены МАГАТЭ зафиксировали более чем 3000 случаев исчезновения радиоактивных материалов. Бывший генеральный директор МАГАТЭ Юкия Амано сказал, что лишь немногие из этих инцидентов связаны с материалами, которые могут быть использованы для изготовления ядерного взрывного устройства, но некоторые из недостающих материалов могут быть использованы для разработки грязной бомбы: «Тот факт, что никогда не было крупного теракта с использованием радиоактивных материалов, не означает, что это не могло бы произойти» [5].

Обозначенные выше тенденции в развитии атомной отрасли свидетельствуют о глубоких потрясениях в современной мировой политике, связанных с мусульманским миром или отдельными исламскими структурами. Это заставляет лидеров стран и корпораций вникнуть в сущность признаков и причин исламизма, выступающего в роли вызова общезначимой культуре безопасности строительства и эксплуатации объектов атомной энергетики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Samuel, H. Islamist plot to blow up Eiffel Tower, Louvre and nuclear power plant foiled, say French police. URL : https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/europe/france/10956636/ (дата обращения: 10.06.2020).
- 2. Tamarkin, T., Zahran, M. The Petro-Islamist Threat: How Fusion Energy Can Save the World. URL: https://fusion4freedom.com/petro-islam-fusion-save-the-world/ (дата обращения: 19.04.2021).
- 3. De Clercq, G., Steitz, Ch. Militant interest in attacking nuclear sites stirs concern in Europe. URL: https://www.reuters.com/article/us-belgium-blast-nuclear/militant-interest-in-attacking-nuclear-sites-stirs-concern-in-europe-idUSKCN12A1PF (дата обращения: 19.04.2021).
- 4. Бочарников, И.В. Влияние исламского фактора на характер и содержание современных международных политических процессов / И. В. Бочарников. URL: https://nic-pnb.ru/analytics/vliyanie-islamskogo-faktora-na-harakter-i-soderzhanie-sovremennyhmezhdunarodnyh-politicheskih-protsessov/ (дата обращения: 19.04.2021)
- 5. *Ожаровский, А.* Юкиа Амано: МАГАТЭ не дает гарантию ядерной безопасности / A. Ожаровский. URL: https://bellona.ru/2010/06/19/yukia-amano-magate-ne-daet-garantiya-yade/ (дата обращения: 19.04.2021).

### Islamism as a Challenge to the Safety Nuclear Power Facilities

# N.I. Lobkovskaya<sup>1</sup>, A.N. Nedorubov<sup>2</sup>

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia, 347360 <sup>1</sup>e-mail: NILobkovskaya@mephi.ru <sup>2</sup>e-mail: batrakan@rambler.ru

**Abstract** – The problem under consideration is Islamism as one of the challenges to the culture of safety in the construction and operation of nuclear power facilities. The question of the essence of Islamism, which acts as a challenge to the generally significant culture of safety in the construction and operation of nuclear energy facilities, is actualized.

Keywords: Islamism, nuclear power facilities, safety in the nuclear industry.

УДК 330.101.8

# РОЛЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

#### И.Е. Лыскова

Коми республиканская академия государственной службы и управления, Сыктывкар, республика Коми, Россия

В тезисах актуализируются основные вопросы обеспечения национальной и экономической безопасности Российской Федерации, обосновывается значимая роль Международной организации труда в области безопасности промышленного производства.

*Ключевые слова:* промышленное производство; промышленная безопасность; Международная организация труда; нормативно-правовая база обеспечения безопасности промышленного производства; культура производственной безопасности.

Одним из значимых направлений укрепления национальной и экономической безопасности Российской Федерации является государственная политика в области безопасности промышленного производства (промышленной безопасности). Промышленная безопасность определяется как комплекс технических организационных мер по обеспечению состояния защищённости промышленных объектов, поддержанию стабильности технологических процессов, исключению (сведению к минимуму) опасности возникновения аварий или инцидентов, устранению воздействия опасных и вредных факторов производства на людей и окружающую среду, недопущению причинения вреда имуществу юридических и физических лиц, государственному и муниципальному имуществу [1].

Основными целями государственной политики в области промышленной безопасности является «предупреждение аварий и инцидентов на промышленных объектах, решение правовых, экономических и социальных задач, направленных на обеспечение роста промышленного производства, реализация конституционных прав граждан на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности, на благоприятную окружающую среду, и укрепление правопорядка в области промышленной безопасности» [2].

Система производственной безопасности промышленных предприятий включает систему промышленной безопасности, определяющейся широкой совокупностью специфических производственных факторов внутренней и внешней среды организации, и систему охраны труда (в международных нормативно-правовых документах также используется понятия «безопасности и гигиены труда», «безопасности труда и охраны здоровья»). Основными законами, регулирующими сферу промышленного

производства, являются Федеральный закон РФ от 31.12.2014 г. № 488-ФЗ (ред. от 20.07.2020) «О промышленной политике в Российской Федерации» и в Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ (ред. от 29 июля 2018 г.) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Относительно действующих норм международного права в сфере обеспечения промышленной безопасности следует отметить Конвенцию от 22.06.1993 г. № 174 Международной организации труда (MOT) «O предотвращении промышленных аварий» и Рекомендацию МОТ от 22.06.1993 г. № 181 к указанной Принятие Конвенции определялось необходимостью данной предотвращения крупных аварий, максимального сокращения риска крупных аварий и максимального ослабления их последствий. Согласно статье 3 d) «термин «крупная авария» означает внезапное происшествие - такое как крупный выброс, пожар или взрыв – в ходе эксплуатации объекта повышенной опасности, вызываемого одним или несколькими опасными веществами и приводящее к серьёзной как немедленной, так и отложенной опасности для трудящихся, населения или окружающей среды». В Конвенции обосновывается необходимость разработки, осуществления своевременного пересмотра «согласованной национальной политики, направленной на защиту трудящихся, населения и окружающей среды от опасности крупных аварий» (ст. 4.1.) [3; 4]. Ещё в 1947 г. была принята Конвенция № 81 МОТ «Об инспекции труда в промышленности и торговле», обязывающая государств-членов МОТ иметь «систему инспекции труда на промышленных предприятиях», в значительной степени содействующей безопасности производственных процессов [5].

В контексте безопасности промышленного производства исключительно важное значение МОТ уделяет развитию нормативно-правовых основ формированию культуры охраны труда (культуры безопасности труда, культуры профилактики). Понятия «культура безопасности», «культура безопасности труда», «культура обеспечения безопасности», «национальная культура профилактики в области безопасности и гигиены труда», «культура охраны труда» изначально фиксировались в нормативных документах (конвенциях, рекомендациях, докладах, декларациях и др.) МОТ. Важно заметить, что по инициативе МОТ с 2003 г. стал отмечаться Всемирный день охраны труда (28 апреля). История этого мероприятия связана с событиями 1989 г., когда впервые американские и канадские трудящиеся провели День памяти погибших работников (the Workers Memorial Day). Международная конференция свободных профсоюзов, другие федерации профсоюзов отстаивали интересы и права работников на безопасные условия труда. В 1996 г. День охраны труда был впервые проведён ООН. В 2005 г. Генеральной Ассамблеей ООН 28 апреля официально был признан Днём охраны труда.

Ранее, в 2001-м и 2002-м гг. МОТ актуализировала необходимость разработки концепции культуры охраны и гигиены труда. В 2003 г. на 91-й сессии Международной конференции труда среди многочисленных вопросов нормотворческой деятельности МОТ в области безопасности и гигиены труда была обозначена проблема формирования культуры производственной безопасности: «Культуру безопасности на рабочих местах можно понимать как совокупность ценностей, отношений, правил, управленческих систем и методов, принципов участия и рабочих режимов, ведущих к созданию безопасной и здоровой производственной среды, в которой люди могут трудиться с высокой степенью качества и производительности» [6, с. 47]. В России также принимаются меры в области управления промышленной безопасностью, включая охрану труда. Особое внимание стало уделяться вопросам развития культуры промышленной безопасности. В Указе Президента РФ от 06.05.2018 г. № 198 «Об основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» среди широкого комплекса приоритетных направлений государственной политики в области

промышленной безопасности указывается «развитие культуры промышленной безопасности, осознание личной ответственности за состояние промышленной безопасности и формирование нетерпимого отношения к нарушениям требований промышленной безопасности» [2].

Промышленная безопасность является одной ИЗ наиболее значимых характеристик, связанных с процессом формирования системы достойного труда. Ключевыми документами, в настоящее время определяющими методологические и нормативно-правовые основы формирования культуры производственной безопасности, являются Конвенция № 155 МОТ «О безопасности и гигиене труда и производственной среде» от 22 июня 1981 г., Конвенция от 7 июня 1985 г. № 161 МОТ «О службах гигиены труда», Конвенция № 187 МОТ «Об основах, содействующих безопасности и гигиене труда» от 15 июня 2006 г. В дополнение к этим документам МОТ были разработаны Рекомендация 1981 г. о безопасности и гигиене труда (№ 164), Рекомендация 1985 г. о службах гигиены труда (№ 171), Рекомендация 2006 г. об основах, содействующих безопасности и гигиене труда (№ 197). В 2016 г. было подготовлено руководство по формированию культуры охраны труда (по Конвенции 1981 г. о безопасности и гигиене труда и производственной среде (№ 155) и Протоколу к ней 2002 г. и по Конвенции 2006 г. об основах, содействующих безопасности и гигиене труда (№ 187)). Значительную роль в процессе формирования системы управления охраной труда на национальном (государственном) и организационном уровне обеспечило принятие МОТ в 2001 г. «Руководящих принципов по системам управления безопасностью и гигиеной труда» (ILO-OSH 2001 Guidelines on occupational safety and heals management system) (МОТ-БГТ 2001). В России этот документ известен также как МОТ-СУОТ 2001 «Руководство по системам управления охраной труда» [7].

МОТ осуществляет комплексную образом, нормотворческую и регулирующую деятельность в области обеспечения безопасности промышленного этой сфере MOT активно сотрудничает с В международными организациями, в частности с Международным агентством по атомной энергетике (МАГАТЭ). Как известно, МАГАТЭ признано лидером в области формирования культуры производственной безопасности. Опыт МАГАТЭ по вопросам формирования структурных содержательных аспектов производственной И безопасности требует специального исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Лыскова, И.Е.* Стратегические цели производственной безопасности промышленных предприятий в аспекте приоритетов национальной и экономической безопасности Российской Федерации. И.Е. Лыскова // Глобальная ядерная безопасность. 2021. 1 (38). C.94-109.
- 2. Об основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: указ Президента Российской Федерации от 6 мая 2018 г. № 198 // Собрание законодательства РФ. 14.05.2018. № 20. Ст. 2815.
- 3. О предотвращении крупных промышленных аварий» [рус., англ.]: Конвенция Международной организации труда № 174 (Заключена в г. Женеве 22.06.1993) // Собрание законодательства РФ. 25.02.2013. № 8. Ст.725.
- 4. О предотвращении крупных промышленных аварий: Рекомендация МОТ от 22.06.1993 г. № 181 / [Электронный ресурс] URL: https://www.ilo.org/moscow/countries/russia/lang--ru/index.htm (дата обращения: 11.05.2021).
- Об инспекции труда в промышленности и торговле (принята 11.07.1947 на 30-й сессии Генеральной конференции МОТ): Конвенция № 81 Международной организации труда // Собрание законодательства РФ. – 10.12. 2001. – Ст. 4650.
- 6. Международная конференция труда. 91-я сессия 2003 г. Доклад VI. Нормотворческая деятельность МОТ в области безопасности и гигиены труда: углублённое рассмотрение с целью разработки плана действий в этой сфере: Шестой пункт повестки дня. Международное бюро труда. Женева. 2003. 131 с.

7. Руководство по системам управления охраной труда (МОТ-СУОТ 2001) / (ILO-OSH 2001). – Женева: Международное бюро труда, 2003. – 28 с.

# The Role of the International Labour Organization in Ensuring the Safety of Industrial Production

## I.E. Lyskova

The Komi Republican Academy of State Service and Administration, Syktyvkar, Russia e-mail: IrinaLyskova@mail.ru

**Abstract** – The theses update the main issues of ensuring the national and economic security of the Russian Federation, substantiate the significant role of the International Labor Organization in the field of industrial safety.

*Keywords:* industrial production; industrial safety; International Labour Organization; regulatory framework for industrial safety; industrial safety culture.

## = СЕКЦИЯ ===

# ИЗГОТОВЛЕНИЕ И РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЕ АЭС

УДК 620.179.16

# ВНЕДРЕНИЕ ПЕРЕДОВЫХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В УСЛОВИЯХ ФИЛИАЛА АО «АЭМ-ТЕХНОЛОГИИ» «АТОММАШ»

## Е.О. Локтюшова, Ю.Е. Щербак, А.В. Чернов, Р.Е. Жидкова

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Одним из важнейших элементов, входящих в систему обеспечения качества на промышленном предприятии, является контроль качества материалов и выпускаемой продукции на всех этапах изготовления. В условиях, когда к качеству оборудования АЭС предъявляются особые требования, все более значительную роль играют неразрушающие методы контроля качества, позволяющие оценить фактическое состояние объекта без нарушения целостности, вывода из эксплуатации и снижения эксплуатационных характеристик.

*Ключевые слова:* ультразвуковой контроль методом фазированных решеток (PAUT), дифракционно-временной метод (TOFD), реакторная установка (РУ), трехмерное макетирование, удаленная сдача/приемка.

В настоящее время Волгодонский филиал «АЭМ-технологии» «Атоммаш» задействован в изготовлении реакторных установок и парогенераторов для международных проектов АЭС азиатского и ближневосточного регионов, а также европейских АЭС «Пакш» (Венгрия), АЭС «Ханхикиви» (Финляндия). Необходимость соответствия высоким требованиям качества, следования правилам европейских стандартов, недостатки традиционных методов дефектоскопии, тенденции к автоматизации проведения и визуализации результатов неразрушающего контроля требуют постоянного совершенствования применяемых методов в области контроля качества на предприятии.

В Волгодонском филиале в отделе неразрушающих методов контроля (ОНМК) в рамках принятой стратегии развития 2021-2024гг. планируется проведение ряда мероприятий, направленных на повышение эффективности подразделения. Предусмотрено внедрение в производственный процесс следующих решений, ранее не применяемых на заводах-изготовителях оборудования для АЭС в РФ.

Применение методов PAUT, TOFD для контроля высоколегированных марок сталей изделий оборудования АЭС в качестве замены ручного УЗК. Мероприятие распространяется на кольцевые, продольные св.швы корпусов, св.швы приварки патрубков и коллекторов парогенераторов и реакторов. За счет использования современных средств механизации и новых техник сбора данных мероприятие позволит значительно уменьшить трудоемкость работ, увеличить производительность контроля, обеспечить возможность сохранения и автономного воспроизведения данных, а также минимизировать влияние «человеческого фактора» на результаты. Преобразователи PAUT являются многоэлементными (16-128 шт.) позволяют охватывать достаточно большой объем исследуемого материала без физического перемещения самого датчика, заменяя множество обычных преобразователей УЗК с различными углами ввода, что также уменьшает износ контактной поверхности преобразователя. Вследствие идентичных физических принципов, лежащих в основе методов, достигается высокий уровень сходимости и воспроизводимости результатов между методами [1].

Использование сдвоенных матричных фазированных преобразователей DMA РАUТ для контроля нержавеющих марок сталей изделий направления АЭС в качестве замены радиографии. Основными объектами применения являются кольцевые и продольные св. швы элементов внутрикорпусных устройств реактора ВВЭР: Шахта внутрикорпусная, Блок защитных труб. Мероприятие позволит сократить расходы на содержание дорогостоящего обслуживания и приобретение расходных материалов (радиографической пленки), сделать контроль более безопасным, не требующим дополнительных защитных средств, также уменьшить трудоемкость работ и время проведения контроля. В сравнении с радиографическими снимками данные PAUT обладают более высокой степенью информативности и функциональности, которые позволяют рассмотреть просканированный участок со всех сторон, провести измерения эквивалентных, геометрических размеров, координат расположения определить в какой части св. шва он находится.

Проведение контроля объектов из разнородных сталей, как правило, сварных соединений из перлитной стали с деталями из аустенитной стали при помощи матричных фазированных преобразователей DMA PAUT. Мероприятие направлено на повышение качества отдельных трудноконтролируемых элементов ответственного оборудования для АЭС. В первую очередь данный контроль будет проводиться на св.швах приварки вставок к патрубкам САОЗ №80 корпуса реактора ВВЭР. Технология является уникальной в сфере энергетического машиностроения и требует специализированного методического обеспечения и сканирующих устройств.

Внедрение автоматизированного контроля методами PAUT, TOFD для входного контроля основного металла обечаек. лниш и технологического, операционного соединений парогенераторов кольцевых сварных ПГВ-1000 модификаций и реакторов серий ВВЭР-1000, ВВЭР-1200. Осуществляется при помощи моторизованных сканеров, управляемых оператором при помощи дистанционного пульта управления. При этом данные с дефектоскопа передаются на ПК для сбора данных при помощи сетевого кабеля, либо беспроводной технологии Wi-Fi, что позволяет оператору находиться на значительном удалении от места проведения контроля и управлять процессом на основе изображения от беспроводной видеокамеры, установленной на сканирующем устройстве. Автоматизированный контроль PAUT, ТОFD позволяет уменьшить трудоемкость работ за счет отсутствия необходимости перемещения (вращения) объекта контроля и сокращения группы специалистов, задействованных в непосредственном проведении контроля [2].

В ходе ручного и автоматизированного контроля РАUТ изделий АЭС на базе 64-128 элементных преобразователей планируется применение новейшего метода ультразвукового контроля ТFM/FMC. В отличие от метода РАUТ, где волны излучаются и принимаются всеми элементами, здесь каждый элемент поочередно излучает ультразвуковые волны, в то время как остальные элементы в параллельном режиме принимают отраженные и дифрагированные сигналы. На основе этих данных составляется совмещенное изображение. При этом фокусировка преобразователя происходит на всей зоне сканирования, а не только в областях фокуса, как при стандартном PAUT, что позволяет методу TFM/FMC во всех областях данных достичь наилучшего разрешения и отсеять мнимые индикации, не являющиеся следствием дефектов. Применение метода требует значительных вычислительных мощностей дефектоскопа для обработки данных, но позволяет получить высочайший уровень точности данных при проведении контроля и пересмотре дефектных участков св.швов и основного металла [3].

Применение технологии трехмерного макетирования (моделирования) при помощи многоэлементного 3D сканера для входного контроля крупногабаритных элементов корпусов изделий для АЭС. Макетирование включает операции по сканированию, созданию модели, анализу и сравнению геометрических размеров с

эталонными параметрами. Выявляются несоответствия в размерах менее 0,1мм. Мероприятие обеспечивает многократное сокращение времени проведения входного контроля, исключение использования ключевого многопрофильного оборудования в операциях по контролю качества и оперативное вовлечение заготовок в производственный процесс.

Вследствие эпидемиологических ограничений последнего года в Волгодонском филиале в ОНМК активно внедряется процедура удаленной сдачи/приемки операций. В разработке находится нормативная документация по удаленной приемке инспекторами, представителями заказчиков и надзорных ведомств отдельных операций, контрольных точек согласно плану качества по всем методам неразрушающего контроля при помощи средств видеотрансляции. Для организации приемки, используются несколько видеокамер для многосторонней фиксации совместно со средствами для осуществления трансляции в сеть (смартфон, планшет, ПК) для комфортного участия в ВКС двух и более человек. Дополнительно в ОНМК применяются очки дополненной реальности, совмещающие функциональность традиционного способа и возможности по построению голограмм, что в купе с интерактивным интерфейсом позволяет обеспечить полноценный эффект присутствия в ходе сдачи/приемки операций. Поддерживаются возможности по моделированию объектов контроля, удаленному установлению (указанию) подсказок проводящему контроль в виде стрелок и выделений на изображении в очках, выведению дополнительной справочной информации. Удаленная видеотрансляция позволяет сократить затраты на очное присутствие, обеспечивает прозрачность выполнения операций и в некоторых случаях сокращает время непосредственной сдачи/приемки.

Контроль качества является самой массовой операцией в промышленном производстве. В связи с усложнением и требованиями повышения надежности изделий стоимость и трудоемкость контрольных операций в машиностроительном производстве постоянно увеличивается. По этой причине задача оптимизации процессов проведения неразрушающего контроля и контроля качества в целом является особенно актуальной в настоящее время.

В условиях, когда перед Волгодонским филиалом «АЭМ-технологии» «Атоммаш» поставлены амбициозные задачи по изготовлению оборудования для строящихся АЭС в разных странах, совершенствование применяемых методов в области контроля качества является основой для достижения стратегических целей и подтверждения компетенций гос.корпорации «Росатом» по созданию АЭС международного уровня.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Кретов, Е.Ф.* Ультразвуковая дефектоскопия в машиностроении. Санкт-Петербург: Свен, 2014.-312c.
- 2. Отчет о проведении исследований 01.03.2021-03.03.2021г. Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск. 2021г.
- 3. ASME BPVC код, секция V. Неразрушающий контроль.

## Implementation of Advanced Non-Destructive Testing Methods in the Conditions of «Atommash» Branch of JSC «AEM-Technology»

# E.O. Loktyushova<sup>1</sup>, Yu.E. Shcherbak<sup>2</sup>, A.V. Chernov<sup>3</sup> R.E. Zhidkova

Volgodonsk Engineering and Technical Institute - Branch of the National Research Nuclear University
"MEPHI", Volgodonsk, Rostov region, Russia

<sup>1</sup>e-mail: katia0403@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: julya.scherbak@yandex.ru

<sup>3</sup>e-mail: AVChernov@mephi.ru

**Abstract** – One of the most important elements included in the quality assurance system at an industrial enterprise is quality control of materials and products at all stages of production. In conditions when special requirements are imposed on the quality of NPP equipment, an increasingly significant role is played by non-destructive methods of quality control, which make it possible to assess the actual state of the item without violating the integrity, decommissioning and reducing operational characteristics.

*Keywords:* phased array ultrasonic testing (PAUT), time-of-flight diffraction method (TOFD), reactor facility (RF), three-dimensional scale modeling, remote presentation/acceptance.

УДК 620.179.118.7

# ОСОБЕННОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ КОНТАКТНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ\*

А.И. Алвахеба\*, В.Г. Бекетов\*\*, А.Е. Дембицкий\*\*, В.И. Сурин\*

\*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия
\*\*Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Метод сканирующей контактной потенциометрии (СКП) было применен для выявления дефектов в сварных соединениях. Спектрограммы, построенные с помощью FIR-фильтра, дают качественные изображения структурных неоднородностей. При обработке данных программируемые амплитудные дискриминаторы (ПАД) позволяют применять FIR фильтры на разных уровнях фиксации (SLS). Эффективность локализации неоднородностей с помощью разработанного метода связана с применением разнообразных оконных функций. Исследовано сварное соединение обечайки центральной СС №23-1/2 и СС №23-2/2 ПГВ№4 методом СКП. Применяли датчики с преобразователями из стали X18Н10Т и молибдена.

*Ключевые слова*: Неразрушающий контроль; Выявление дефектов; Метод сканирующий контактной потенциометрии, сварное соединение стали.

Выявление типа дефекта и определение его координат методом сканирующей контактной потенциометрии (СКП) осуществляется как во временной, так и в частотной областях. Значения частот волн механических напряжений, излучаемых дефектами и регистрируемых аппаратурой, лежит в инфразвуковой области и простирается от 0,001 до единиц герц. Нами разработан математический метод обработки спектров контроля на основе фильтра с конечной импульсной характеристикой – FIR-фильтра [1].

Спектрограммы, построенные с помощью FIR-фильтра для одиночных рефлексов, дают качественные изображения структурных неоднородностей близкие, а иногда и превосходящие по качеству изображения рефлексы на потенциограммах. Фильтром с конечной импульсной характеристикой называют функцию вида:

$$y[n] = \sum_{p=0}^{M-1} x[n-p]h[p],$$

где x[p] – выборка экспериментальных данных, h[p] – дискретный импульсный отклик.

Линейная инвариантная во времени система характеризуется своим откликом на импульс Дирака. Если сигнал изменяется дискретно во времени, тогда говорят о функции дискретного линейного отклика. Для построения функции дискретного импульсного отклика примем шаг выборки, равным T=1 сек. Дискретные значения амплитуды сигналов контроля будем обозначать  $\varphi[n]$  и при этом использовать фильтры с конечным импульсным откликом, которые удовлетворяют условию [2]:

$$L\varphi[n] = \sum_{p=0}^{M-1} \varphi[p]h[n-p],\tag{1}$$

где L – линейный дискретный оператор, инвариантный во времени:

$$L\delta[n] = h[n]$$

 $\delta[n]$  — дельта функция Дирака. Если импульсный отклик h[n] строится на конечной выборке, тогда фильтр называется конечным. Диаграмма, представленная на рисунке 1, поясняет действие FIR фильтра на конечной выборке.

По определению, линейный дискретный оператор L инвариантен во времени, если при входном сигнале  $\wp[n]$  с задержкой  $\wp$  выполняется условие:

$$\varphi_n[n] = \varphi[n-p] \tag{2}$$

и на выходе также получается значение с задержкой p [3]:

$$L\varphi_p[n] = L\varphi[n-p]. \tag{3}$$

На ограниченной выборке FIR фильтр осуществляет преобразование входного вектора  $\varphi$  длиной m отсчетов в выходной вектор  $L\varphi$ , или функцию линейного оператора, длиной также m отсчетов, посредством умножения k отсчетов входного вектора на соответствующие им число коэффициентов h с последующим суммированием (рисунок 1). Таким образом, FIR фильтр представляет собой обычную свертку.

Передаточную функцию фильтра определим, как функцию вида:

$$\hat{h}(k) = \sum_{n=0}^{M-1} h[n] e^{-ikn}$$
(4)

Ряд Фурье является частным случаем преобразования Фурье для суммы Дирака. Если функцию от времени  $\varphi(t)$  можно представить в виде:

$$\varphi(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \varphi[n]\delta[t-n],$$

то ее передаточная функция равна

$$\widehat{\varphi}(k) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \varphi[n] e^{-ikn}.$$

При обработке данных программируемые амплитудные дискриминаторы (ПАД) позволяют применять FIR фильтры на разных уровнях фиксации (SLS) [3]. Для визуализации результатов эксперимента необходимо построить матрицу размером  $m \times n$ , где m — число отсчетов, n — число измерительных дорожек (треков), а на пересечение

строк и столбцов располагаются значения спектральной функции линейного оператора. Эффективность локализации неоднородностей с помощью разработанного метода связана с применением разнообразных оконных функций в качестве дискретного импульсного отклика h[n].

Для уменьшения расчетной погрешности использовали быстрое преобразование Фурье на заданной экспериментальной выборке. В методе СКП в качестве функции  $\varphi[n]$  используется функция контактная разность потенциалов [3].

Методом СКП исследовано сварное соединение обечайки центральной СС №23-1/2 и СС №23-2/2 ПГВ№4 на стадии технологической сборки в заводских условиях. Потенциометрические измерения были выполнены относительно «массы» парогенератора [4,5]. Для этого стационарный датчик закреплялся на корпусе парогенератора. Применяли датчики с преобразователями из стали X18H10T и молибдена. Ручное поточечное сканирование поверхности образца осуществляли по восьми измерительным дорожкам, четыре из которых принадлежали левой части СС (относительно оси симметрии СС) и четыре – правой. Время одного сета измерений для каждой дорожки составляло около 15 минут. Анализ результатов по глубине залегания дефектов проводили с помощью ПК на различных структурных уровнях сигнала (SLS).

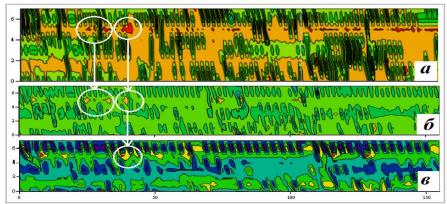


Рисунок 1 — Потенциограмма результата контроля обечайки центральной СС №23-2/2, ПГВ№4 на уровне фиксации SLS=4,398 (а). Вид модуля реальной части спектральной функции (б) и модуля спектральной функции (в). В белые круги выделены неоднородности. По оси «х» обозначено число отсчетов измерений, по оси «у» — номера измерительных треков

На рисунке 1 приводится результат расчетов, на рисунке 2 – пример локазизации отдельной неоднородности.

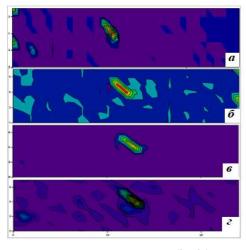


Рисунок 2 — Потенциограмма результата испытаний стали ЭИ847 на уровне фиксации SLS=4,086 (a). В центре потенциограммы видно изображение области образования зародыша микроскопической трещины. Вид модуля реальной части спектральной функции (b), модуля спектральной функции (b) и модуля мнимой части спектральной функции (b). По оси «b0 обозначено число отсчетов измерений, по оси «b0 оси «b1 номера измерительных треков [b3]

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Сурин В.И., Волкова З.С.* Алгоритм аппроксимации экспериментальных данных на основе низкочастотного фильтра с конечной импульсной характеристикой // Информационные технологии в проектировании и производстве, 2020, №4, с. 25-29.
- 2. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов. Москва: Мир, 2005.
- 3. Сурин В.И., Евстюхин Н.А. Электрофизические методы неразрушающего контроля и исследования реакторных материалов. Учебное пособие. Москва МИФИ, 2008.
- Alwaheba A.I., Surin V.I., Ivanova T.E., Ivanov O.V., Beketov V.G., Goshkoderov V.A. Detection of defects in welded joint by scanning contact potentiometry. Nondestructive Testing and Evaluation, 2020
- Beketov V.G., Surin V.I., Dembitsky A.E., Abu Gazal A.A., Alwaheba A.I. Control quality of welded joints by scanning contact potentiometry method// KnE Engineering, XIII International Youth Scientific and Practical Conference "FUTURE OF ATOMIC ENERGY - AtomFuture 2017" – Materials of innovative energy. – Dubai, UAE, 2018 («Knowlegde E»), pp. 219-229 (https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/1621/3834)
- 6. Абу Газал А.А., Джумаев П.С., Осинцев А.В., Польский В.И., Сурин В.И. Экспериментальное исследование процесса разрушения стали ЭИ847 методами структурного анализа// Письма о материалах, 2019, выпуск 1, №9, с. 33-38.

### **Defects Detection in Welded Joints by the Method of Scanning Contact Potentiometry**

A.I. Alwaheba\*1, V.G. Beketov\*\*2, A.E. Dembitskiy\*\*3, V.I. Surin\*4

\*National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia

\*\*Volgodonsk Engineering and Technical Institute - Branch of the National Research Nuclear University

"MEPHI", Volgodonsk, Rostov region, Russia

le-mail: elphyslab@yandex.ru

e-mail: vgbeketov@mephi.ru

e-mail: demartev@gmail.com

le-mai:visconst@rambler.ru

**Abstract** – Method scanning contact potentiometry (SCP) is used to detect defects in welded joints. The spectrograms constructed using the FIR filter give high-quality images of structural inhomogeneities close to each other. When processing data, programmable amplitude discriminators (PAD) allow the use of FIR filters at different levels of fixation (SLS). The efficiency of localization of inhomogeneities using the developed method is associated with the use of a variety of window functions. The welded joint of the central shell SS No. 23-1/2 and SS No. 23-2/2 PGV No. 4 was investigated by the SCP method. Transducers made of steel X18N10T and molybdenum were used. Analysis of the results on the modulus of the real spectral function and the modulus of the spectral function, and found that the SCP method gives additional information about defects.

Keywords: Non-destructive testing; Defects detection; Scanning contact potentiometry method, steel welded joint.

# ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ

**А.В.** Чернов\*, Н.Н. Подрезов\*, И.С. Сазонов\*, Ю.В. Доронин\*\*

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия Аттестационный центр городского хозяйства, г. Москва, Россия

Приведены сведения о разработке специализированной инверторной системы питания сварочной дуги ИОН 48-900, предназначенной для автоматической сварки под флюсом на программируемых режимах. Источник питания системы является новой российской разработкой, в котором связь с верхним уровнем автоматизированной системы управления осуществляется через интерфейс RS-485 по протоколу MODBUS. Система питания предназначена для сварки ответственных изделий в атомном машиностроении на программируемых режимах.

*Ключевые слова:* система питания сварочной дуги, инверторный программируемый источник питания, SAW-дуга.

По схемному решению источник питания ИОН 48-900, рисунок 1, является статическим электрическим преобразователем и обеспечивает преобразование трехфазного переменного тока питающей сети в постоянный выходной ток (выпрямитель) с программируемыми параметрами.



Рисунок 1 – Инверторный источник питания ИОН 48-900: 1 – дистанционный пульт; 2 – силовой блок

Дистанционный пульт управления обеспечивает:

- переключение на выбранный вид работы (напряжение / ток);
- задание и корректировку программы импульсов тока (напряжения);
- пошаговое задание (циклограммы) величины тока / напряжения;
- выбор одной из заданных программ и возможность их корректировки с выбором выполнения с заданного шага.

Программируемый выпрямитель ИОН 48-900 характеризуются большим количеством режимов работы и настроечных параметров. Сенсорная панель управления, обеспечивает современный интерфейс, по сравнению со стандартными параметрическими интерфейсами, и позволяет работать с устройством на интуитивнопонятном уровне [1].

В качестве универсального источника постоянного тока или напряжения ИОН предназначен для работы в следующих режимах АСФ: простое задание тока и напряжения, периодический режим (импульсный или пульсирующей дугой), другие программные установки. Главный элемент пользовательского интерфейса – графическое окно дистанционного пульта – приведено на рисунке 2.

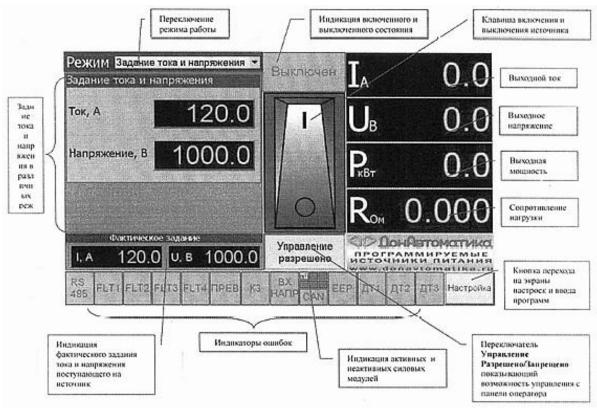


Рисунок 2 – Главный сенсорный экран дистанционного пульта

Инверторный источник питания обеспечивает:

- регулирование тока и напряжения с программируемыми выходными параметрами;
- автоматическую стабилизацию заданной величины выходного тока (напряжения);
- контроль входного напряжения отключение при понижении или превышении входного напряжения;
- бесконтактное включение и выключение выходного тока без изменения задания.

С точки зрения безопасности эксплуатации источник питания, программируемый серии ИОН соответствует Требованиям технического регламента Таможенного союза ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования» [2], ГОСТ ІЕС 60950-1-2011 (ІЕС 60950-1:2005) «Оборудование информационных технологий. Требования безопасности». Часть 1 — Общие требования; — ГОСТ ІЕС 61204-7-2014 «Источники питания низковольтные, вырабатывающие постоянный ток» и другим.

Выполнены исследования статической ВАХ источника питания ИОН 48-900 фирмы «Донавтоматика», тестирование на наличие сервисных функций. В целом по результатам испытаний установлено, что статические характеристики соответствуют требованиям ГОСТ Р МЭК 60974-1-2012.[3], а схемные решения обеспечивают необходимую продолжительность времени горения дуги без перегрева силовой части источника питания.

Система питания SAW дуги обеспечивает устойчивость сварочного контура, как на традиционных, так и на программируемых режимах автоматической сварки под флюсом. Программные режимы определялись путем подбора на контрольных пробах из соображений обеспечения требуемого уровня механических свойств ответственных сварных соединений при условии устойчивости сварочного контура и качественного формирования шва, как показано в [4].

Установлено, что система питания SAW-дуги на базе программируемого источника ИОН 48-900 соответствуют заявленным паспортным и техническим данным и рекомендована для прохождения испытаний в промышленных условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Источники питания программируемые серии ИОН. Руководство по эксплуатации ДА 248.00.000 РЭ [Текст]. г. Волгодонск: ООО «Донавтоматика», 2018, 41 с.
- 2. Технический регламент Таможенного союза ТР TC 004/2011. О безопасности низковольтного оборудования [Электронный ресурс]. URL: https://www.vniis.ru/downloads/
- 3. ГОСТ Р МЭК 60974-1-2012. Оборудование для дуговой сварки. Часть 1 Источники сварочного тока [Текст]. Москва: Стандартинформ, 2014.
- 4. *Чернов*, *А.В.* Обработка информации в системах контроля и управления сварочным производством: Монография/ Новочерк. гос. техн. университет. Новочеркасск: НГТУ. 1995. 180 с.

### Programmable Power Supply for Automatic Submerged Arc Welding

A.V. Chernov<sup>\*1</sup>, N.N. Podrezov<sup>\*</sup>, I.S. Sazonov<sup>\*</sup>, Yu.V. Doronin<sup>\*\*2</sup>

\*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear
University "MEPhI", Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

\*\*Certification Moscow Center of municipal services, Office 36, Tkatskaya St., 46, Moscow, Russia, 105187

le-mail: VITIkafMPM@mephi.ru

e-mail: ac-mosgaz@yandex.ru acgh@naks.ru

**Abstract** – Information on the development of a specialized inverter power supply system for the welding arc ION 48-900, intended for automatic submerged-arc welding in programmed modes, is given. The power supply of the system is a new Russian development, in which communication with the upper level of the automated control system is carried out via the RS-485 interface using the MODBUS protocol. The power supply system is designed for welding critical products in nuclear engineering in programmed modes.

Keywords: arc power supply system, inverter programmable power source, SAW – arc.

# ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ НА УЗКОЩЕЛЕВОЙ РАЗДЕЛКЕ ДЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГЛАВНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА

## А.С. Лаврухин, В.В. Бойко

Волгодонский филиал Акционерного общества «Инжиниринговая компания «АЭМ-технологии» (Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск), Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В данной работе предложено выполнение сварного соединения главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) методом автоматической аргонодуговой сварки (ААДС) на узкощелевой разделке кромок шва трубопровода.

*Ключевые слова*: ручная дуговая сварка (РДС), ручная аргонодуговая сварка (РАДС), автоматическая аргонодуговая сварка, сварные соединения главного циркуляционного трубопровода, узкощелевая разделка кромок.

На сегодняшний день в атомной энергетике проблемой является качество сварного соединения ГЦТ и количество затраченного времени на его выполнение. ГЦТ содержит в себе 28 монтажных неповоротных сварных соединений, которые выполняются РДС: 7 швов на каждую петлю реактора. Общая масса ГЦТ- 251,9 т [1].

В качестве основного металла ГЦТ применяется легированная сталь марки  $10\Gamma H2M\Phi A$ , плакированная с внутренней стороны нержавеющей сталью. Плакирующий слой выполняют сталью марки  $03X22H11\Gamma 25$  (рис.1 б). Толщина основного перлитного слоя 63,5-72 мм, плакирующего -3-6,5 мм. Разделка кромок под сварку, которую применяют на данный момент при монтаже показана на рисунке 1a.

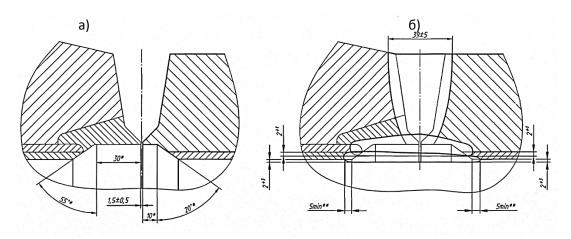


Рисунок 1 – а) разделка кромок под сварку трубопровода DN 850, б) выполненное сварное соединение и выполнение плакирующего слоя

Для выполнения прихваток используется РАДС, при сборке монтажных соединений ГЦТ применяют присадочную проволоку Св-08Г2С или Св-08ГС. Для ААДС корневой части монтажных соединений ГЦТ используют сварочную проволоку Св-08Г2С или Св-08ГС [2]. Для заполнения разделки монтажных соединений ГЦТ ААДС используют сварочную проволоку Св-10ГН1МА с содержанием кремния не менее 0,22%. В качестве защитного газа при аргонодуговой сварке применяют бинарную газовую смесь, состоящую из 70 % гелия и 30 % аргона.

В данной работе предлагается выполнять швы ААДС с помощью сварочного автомата для сварки труб и трубопроводов POLYCAR 60-3 (рис. 2) [3], который подходит для сварки трубопроводов со стенками средней и большой толщины с

применением щелевой разделки кромок при толщине до 100 мм. Каждая сварочная горелка сварочного автомата способна выполнить сварку всего шва от корня до облицовочного слоя, с возможностью сварки в двух направлениях.

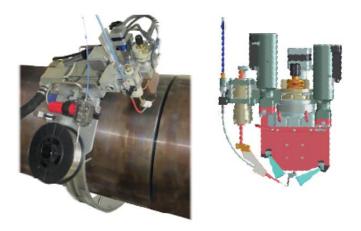


Рисунок 2 – Сварочный автомат для сварки труб и трубопроводов POLYCAR 60-3

Предлагаемая разделка кромок под ААДС в узкощелевой разделке представлена на рисунке 3. Сварку корневой части необходимо выполнить с предварительным нагревом до 50°С и с газовой защитой обратной стороны сварного соединения.

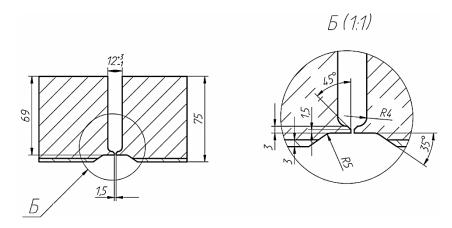


Рисунок 3 – Разделка кромок патрубка DN 850

Данный метод выполнения сварного соединения с помощью ААДС на узкощелевой разделке позволит снизить влияние человеческого фактора на качество сварного соединения, уменьшить время на его выполнение и снизить затраты экономических ресурсов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Техническая спецификация BLR1.B.132.&0UJA&&.JEC&&.021.SB.0001. Трубопровод главный циркуляционный. ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2012. 27 с.
- 2. НП-104-18. Правила и нормы в атомной энергетике. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения. НП-104-18. М.: Ростехнадзор, 2018. 260 с.
- 3. Сварочный автомат для сварки труб и трубопроводов «POLYCAR 60-3» / Офицальный сайт. URL: http://www.polysoude.ru (дата обращения: 05.04.2021).

# Implementing Automatic Argon-Arc Welding on a Narrow Gap for Cutting the Welded Joints of the Main Circulation Pipe

A.S. Lavrukhin<sup>1</sup>, V.V. Boyko<sup>2</sup>

Volgodonsk branch of the Joint Stock Company «Engineering company» AEM-technologies «Branch of JSC» AEM-technologies» «Atommash» in Volgodonsk, Volgodonsk, Rostov region, Russia

<sup>1</sup>e-mail: lava260697@gmail.com, <sup>2</sup>e-mail: bojkina98@gmail.com

**Abstract** – This work proposes to perform a welded joint of the main circulation pipeline by the method of automatic argon-arc welding on a narrow-gap groove of the pipeline seam edges.

*Keywords:* manual arc welding, manual argon arc welding, automatic argon arc welding, welded joints of the main circulation pipeline, narrow gap groove.

УДК 331.458

# ПРОИЗВОДСТВО СВАРОЧНЫХ РАБОТ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ТЕПЛООБМЕННИКАХ СИСТЕМ РЕГЕНРАЦИИ ВЫСОКОГО И НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000

### С.Р. Кадыров, И.А. Бубликова

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе были рассмотрены опасные и вредные производственные факторы, а также необходимые мероприятия по обеспечению безопасного производства сварочных работ на теплообменниках систем регенерации низкого и высокого давления для АЭС с реактором ВВЭР-1000 во время работы блока на значениях основных параметров, приближенных к номинальной нагрузке блока.

*Ключевые слова:* сварочные работы, замкнутые пространства, ремонт оборудования АЭС, негативные факторы, безопасность.

Системы регенерации высокого и низкого давления АЭС играют важную роль в повышении коэффициента полезного действия станции и представлены совокупностью трубопроводов, задвижек, регуляторов, насосов слива конденсата, гидрозатворов, клапанов, а также теплообменников в виде подогревателей низкого давления, представленных на рисунке 1 и подогревателей высокого давления, представленных на рисунке 2 [1,2].

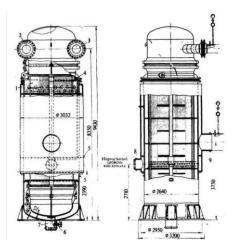


Рисунок 1 – Подогреватель низкого давления

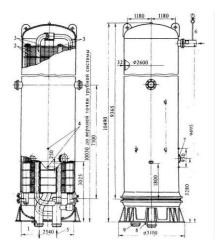


Рисунок 2 - Подогреватель высокого давления

Во время несения энергоблоком номинальной нагрузки в теплообменниках систем регенерации высокого и низкого давления могут образоваться неисправности, такие как: разрыв теплообменной трубки, повреждение, трещина трубной доски. Вследствие возникновения неисправностей теплообменных элементов в паровое межтрубное пространство, являющееся пространством греющей среды, начнёт поступать подогреваемая вода из трубного пространства, что в свою очередь представляет опасность для турбоагрегата. Данная опасность связана с тем, что пар, подаваемый для обогрева, подаётся напрямую из нерегулируемых отборов турбины, выходящих из корпуса цилиндра высокого давления. Неконтролируемое повышение уровня конденсата греющего пара выше второго предела безопасности может привести к забросу влаги в проточную часть цилиндра высокого давления, что в свою очередь способно привести к разрушению лопаток рабочего аппарата, повреждению вала и соплового аппарата. В связи с угрозой возникновения данной ситуации существует специальные защиты, отключающие турбину, а также блокировки, отсекающие подогреватели как от основного тракта подогреваемой воды, так и от отборов турбины [3]. Отсекаемыми подогревателями является: подогреватели низкого давления третьей и четвертой ступени, группа А и группа Б подогревателей высокого давления шестой и седьмой ступени. Отключение данных подогревателей приводит к неизбежной потере мощности, поэтому блок должен быть остановлен для возможности проведения ремонтных работ. Однако, в связи с наличием запорных задвижек на входах и выходах обоих сред, теоретически возможен ремонт на работающем блоке, с отключенными вышеуказанными подогревателями, тогда как повреждение теплообменных элементов в подогревателях низкого давления первой и второй ступени означает неизбежный останов блока, простой, недовыработку электроэнергии.

Работы, предполагаемые к проведению – глушение трубок и ремонт трубной доски с применением сварки. Данные работы будут производиться на вскрытом оборудовании в верхней части теплообменника, с демонтированным эллиптическим днищем, а также нижней части теплообменника со вскрытием люков-лазов, открывающих доступ к трубной доске. Основная сложность проведения ремонтных работ в описанных условиях – неплотности паровой арматуры, позволяющие пару проникать в межтрубное пространство, вызывая при этом нагрев теплообменных поверхностей, создающий неблагоприятные температурные условия труда сварщика [4,5]. Также при пропуске пара через указанные неплотности и при наличии серьёзных трещин в теплообменных элементах возможно попадание пара в трубное пространство, что может привести уже к травмированию сварщика, получению серьёзных ожогов и даже смерти. Для минимизации воздействия вредных и опасных производственных факторов на работника необходима разработка компоновочной схемы, содержащей в себе:

- критерии оценки и анализа условий производства работ;
- внесение особых условий обеспечения безопасности в наряд допуск согласно проекту производства работ [6];
- выбор освещения, с учётом работы в условиях повышенной опасности, стеснённых условий, возможности поражения электрическим током;
- обязательную установку приточной вентиляции и размещение вытяжной вентиляции в местах пропарки;
- обеспечение индивидуальной вентиляции зоны дыхания сварщика при необходимости;
- размещение переносных датчиков измерения температуры и влажности, для оперативного отслеживания изменений расхода пропаривания;
- предварительное использование камер дистанционного наблюдения, для заблаговременного определения как внутреннего состояния трубок и обнаружения дефектов, так и повреждений трубной доски.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. ИЭ.2.RH/RN.25.07 Инструкция по эксплуатации. Система подогревателей низкого давления. Ростовская АЭС, 2021.
- 2. ИЭ.2.RD/RN.25.07 Инструкция по эксплуатации. Система подогревателей высокого давления. Ростовская АЭС, 2021.
- 3. ИЭ.2.SA.25.01 Инструкция по эксплуатации. Турбина K-1000-60/1500-2, Ростовская АЭС, 2021.
- 4. ИОТ.29.08 «Инструкция по охране труда электрогазосварщика цеха централизованного ремонта». Ростовская АЭС, 2021.
- 5. СП-1009-73. Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов [электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/ (дата обращения: 15.03.2021)
- СТО 1.1.1.02.001.0673-2006. Правила охраны труда при эксплуатации тепломеханического оборудования и тепловых сетей атомных станций ФГУП концерн «Росэнергоатом» [электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/ (дата обращения: 15.03.2021).

# Improving the Working Conditions of the Welder When Welding Stainless Steels in a Confined Space

# S.R. Kadyrov<sup>1</sup>, I.A. Bublikova<sup>2</sup>

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Rostov region, Russia

<sup>1</sup>Sergejn1000@gmail.com <sup>2</sup>IABublikova@mephi.ru

**Abstract** – The work considered hazardous and harmful production factors, as well as the necessary measures to ensure the safe production of welding work on heat exchangers of low and high pressure regeneration systems for NPPs with a WWPR-1000 reactor during the operation of the unit at the values of the main parameters close to the rated load of the unit.

Keywords: welding operations, confined spaces, repair of NPP equipment, negative factors, safety.

УДК 621.791

# АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ПИТАНИЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРОЧНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА

#### С.М. Бурдаков, Д.И. Желецкий, К.Д. Зокиров

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния комбинированного питания с использованием квазигармонической компоненты повышенной частоты на физические характеристики дугового разряда, при сварке покрытыми электродами.

Ключевые слова: изготовление ответственных конструкций, атомно-энергетический комплекс, ручная дуговая сварка покрытыми электродами, устойчивость, квазигармоническая компонента питания, коэффициент вариации, напряженность электрического поля, перемещение заряженных частиц, толщина SKIN-слоя, физические характеристики, заряд частицы, циклическая частота, ступенчатая ионизация.

При изготовлении ответственных конструкций, объектов атомно-энергетического комплекса широкое применение получила ручная дуговая сварка покрытыми электродами [1].

Питание сварочного дугового разряда может осуществляться от источников переменного и постоянного тока, а так же возможно их комбинированное применение [2].

Комбинированное питание дугового разряда от источника постоянного тока с квазигармонической компонентой повышенной частоты (ККП) 40кГц увеличивает его устойчивость в 2–3 раза при ручной дуговой сварке покрытыми электродами при оценке по разрывной длине [2, 3]. При оценке устойчивости с использованием коэффициентов вариации сварочного тока KVIсв, напряжения KVUд, постоянной времени дуги:  $\theta$ , так же наблюдается повышение устойчивости дугового разряда [4]. Это свидетельствует о влиянии ККП на параметры устойчивости дугового разряда, его физические характеристики, такие как напряженность электрического поля E, величины перемещения X заряженных частиц, эффективную толщину SKIN-слоя n, возникающего при действии ККП [5].

В данной работе предлагается оценить влияние ККП на физические характеристики сварочной дуги постоянного тока (Icв=100A, электрод УОНИИ 13/45, Ø3 мм). Эксперименты выполнялись в соответствии с методикой работы (рис. 1) [6].

Сварочный дуговой разряд представляет собой плазменный проводник, по которому протекает смешанный электронно-ионный ток [7]. Перемещение X заряженной частицы в статическом электрическом поле можно определить по следующей формуле [7].

$$X = \frac{q \cdot E}{2 \cdot m_g} \,. \tag{1}$$

Для режима сварки на постоянном токе без наложения ККП величина напряженности поля  $E=0.063~\mathrm{B/m}$ ,  $X=5.535\cdot10^9~\mathrm{m}$ .

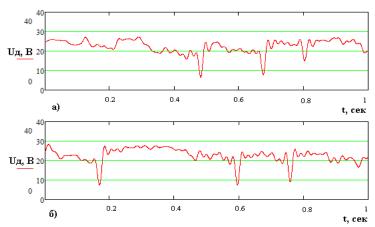


Рисунок 1 – Осциллограммы напряжения дуги в процессе сварки: а) источник ВДУ-504; б) источник ВДУ-504 с устройством для наложения ККП

При использовании комбинированного питания с ККП перемещение X заряженных частиц уменьшается, что особенно заметно в радиальном направлении [8, 9]:

$$X = \frac{2 \cdot q \cdot E}{\omega^2 \cdot m_g}.$$
 (2)

где q — заряд частицы, Кл;

E — напряженность электрического поля, B/m;  $\omega = 2\pi f$  — циклическая (круговая) частота, сек<sup>-1</sup>;  $m_g$  — масса частицы, кг.

Для режима сварки на постоянном токе с наложением ККП величина напряженности поля  $E=0.072~\mathrm{B/m}$ ,  $X=0.022~\mathrm{m}$ .

На осциллограммах можно увидеть, что напряжение на дуге повышается на 2...3В (рис. 1). Это связано с протекающими процессами в полученном дуговом разряде с комбинированным питанием [5] и повышением его устойчивости [10].

В режиме сварки на постоянном токе с наложением ККП в периферийной области столба дуги образуется так называемый SKIN-слой толщиной n [5].

В этом слое происходит колебательное движение электрических зарядов с частотой равной частоте ККП. Воздействие ККП на плазму способствует увеличению концентрации носителей заряда в SKIN-слое. Поэтому из-за повышенной концентрации электронов будет происходить ступенчатая ионизация газа, при этом средняя скорость носителей и температура электронного газа в SKIN-слое понижаются [5].

Как показано в работе [11] эффективная толщина SKIN-слоя и напряженность E электрического поля в нем могут быть связаны соотношением:

$$n = (0,5...1) \frac{E(t) \cdot R \cdot L}{2U(t)},$$
 (3)

Для режима сварки на постоянном токе с наложением квазигармонической компоненты величина  $n=2,99\cdot10^{-4}$ м=0,3мм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Хромченко*,  $\Phi$ .А. Надежность сварных соединений труб котлов и паропроводов [Текст] /  $\Phi$ .А. Хромченко. М.: Энергоиздат, 1982. 120 с.
- 2. Хренов К.К. Электрическая сварочная дуга [Текст] / К.К. Хренов. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1949. 203 с.
- 3. *Чернов, А.В.* и др. Повышение устойчивости горения дуги при сварке покрытыми электродами [Текст] / А.В. Чернов, Ю.В. Полетаев, З.О. Кавришвили, С.М. Бурдаков // Сварочное производство. − 2000. − № 2. − С. 7-9.
- 4. Бурдаков, С.М., Чернов А.В., Цуверкалова О.Ф., Зокиров К.Д. Управление газодинамическими характеристиками дугового разряда с помощью квазигармонической компоненты питания / С.М. Бурдаков, А.В. Чернов, О.Ф. Цуверкалова, К.Д. Зокиров // Безопасность ядерной энергетики: тезисы докладов XVI Международной научно-практической конференции, 12 13 ноября 2020 г. / НИЯУ МИФИ [и др.]. Волгодонск: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2020. 133 с. URL: http://nps.viti-mephi.ru/ru/arhiv-konferencii (дата обращения: 20.03.2021).
- 5. *Бурдаков*, *С.М.*, и др. Физическая модель электрического дугового разряда с наложением высокочастотного напряжения [Текст] / С.М. Бурдаков, А.В. Чернов, Ю.В. Полетаев, С.В.Полежаев. // Сварочное производство. − 2001. № 11. − C.13-16.
- 6. Бурдаков, С.М. Экспериментальные исследования устойчивости горения сварочной дуги с использованием информационно-измерительной и управляющей системы / С.М.Бурдаков // Сборник докладов 5-й Международной научной-практической конференции «Качество науки—качество жизни», Россия, Тамбов, 26-27 февраля 2009г. Тамбов : Центр Конференций ТГТУ, 2009. С. 54.
- 7. *Арцимович*, *Л.А*. Элементарная физика плазмы [Текст] / Л.А. Арцимович. М.:Госатомиздат, 1963.-100 с.
- 8. *Пчельников*, *Ю.Н.*, *Свиридов*, *В.Т.* Электроника сверхвысоких частот [Текст] / Ю.Н. Пчельников, В.Т. Свиридов. М.: Радио и связь, 1981. –55 с.
- 9. *Франк-Каменецкий, Д.А.* Лекции по физике плазмы [Текст] / Д.А. Франк-Каменецкий. М.: Атомиздат, 1968. 285 с.
- 10. *Финкельбург*, *В*. и др. Электрические дуги и термическая плазма [Текст] / В. Финкельбург, Г. Меккер. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 370 с.
- 11. Вопросы теории плазмы. Нелинейная динамика. Магнитосферные неустойчивости. Вып. 10. [Текст] / Под ред. М.А. Леонтовича. М.:Атомиздат, 1980. 319 с.

# Analysis of Combined Power Supply Effect on Physical Characteristics of Welding Arc Discharge

S.M. Burdakov<sup>1</sup>, D.I. Zheletskiy<sup>2</sup>, K.D. Zokirov<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>e-mail: SMBurdakov@mephi.ru;

<sup>2</sup>zheletskiy\_di@atommash.ru;

<sup>3</sup>zokirovkarim45@yandex.ru

**Abstract** – The paper presents the results of an experimental study of the effect of combined power supply using a quasi-harmonic component of increased frequency on the physical characteristics of an arc discharge when welding with coated electrodes.

Keywords: production of critical structures, atomic energy complex, manual arc welding with coated electrodes, stability, quasi-harmonic power component, coefficient of variation, electric field strength, movement of charged particles, SKIN layer thickness, physical characteristics, particle charge, cyclic frequency, stepwise ionization.

УДК 681.5.072

# РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ТИПА SULZER НА АЭС РФ

Е.А. Абидова, И.Г. Горбунов, А.Е. Дембицкий, Ю.Н. Елжов, В.Н. Никифоров, П.В. Поваров, О.Ю. Пугачёва, В.И. Соловьев

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Работа посвящена результатам оперативного контроля технического состояния дизельгенераторных установок типа Sulzer, эксплуатируемых на АЭС РФ с использованием специализированного программно-технического комплекса. Описываются особенности применения методов и методик, направленных на системный контроль состояния объекта. Представлены результаты диагностического обследования дизель-генераторных установок с использованием диагностического программно-технического комплекса, обеспечивающего обработку, анализ и хранение данных.

*Ключевые слова:* дизель-генераторные установки типа Sulzer; особенности комплексной диагностики дизелей-генераторов; вибродиагностика; тепловизионный контроль; ультразвуковые параметры, индикаторные диаграммы.

Безопасность является наивысшим приоритетом при эксплуатации атомных станций, поэтому всем системам безопасности уделяется особое внимание при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте. В состав обеспечивающих систем безопасности АЭС входят резервные дизельные электростанции [1]. Благодаря им во время обесточивания осуществляется аварийное электроснабжение потребителей систем безопасности. Данное оборудование должно постоянно находиться в работоспособном состоянии, так как от бесперебойной работы дизель-генераторного оборудования зависит безопасность атомной электростанции. В свою очередь

бесперебойная работа дизель-генераторных установок (ДГУ) зависит от технического состояния [1-4].

Для контроля технического состояния НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ разработан переносной программно-технический комплекс (ППТК). Работа ППТК предусматривает накопление и обработку большого объема данных (четыре вида контроля, результаты предыдущего диагностирования). Накопление диагностической информации должно обеспечить оценку ресурса оборудования согласно руководящему документу по применению статистических методов при прогнозировании [5, 6].



Рисунок 1 – ППТК в комплекте с тележкой

При разработке ППТК достигнуты следующие результаты:

- 1) Обеспечен набор средств регистрации диагностических данных, обеспечивающих контроль по параметрам вибрации, ультразвука, индикаторных диаграмм и термограмм;
- 2) Разработано методическое обеспечение диагностических процедур, включая пять Регламентов диагностирования, Описание алгоритмов, Проект Методики диагностирования;
  - 3) Разработана программная реализация описанных алгоритмов;
- 4) Заполнена база данных, содержащая справочную и диагностическую информацию о всех типах дизель-генераторных установок, эксплуатируемых на АЭС Российской Федерации;
- 5) Проводится апробация технических, программных, методических средств диагностирования дизель-генераторных установок.

Ведется доработка ППТК для осуществления возможности контроля оборудования в режиме on-line. Разработанный опытный образец комплекса используются по своему назначению на Нововоронежской АЭС.

Во время плановых опробований дизель-генератора энергоблока № 5 Нововоронежской АЭС 14.12.2020 г. силами персонала отдела технической диагностики НВОАЭС под наблюдением сотрудников НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ получены

результаты испытаний ДГУ с использованием ППТК. Работы проводились в рамках мероприятий по авторскому сопровождению эксплуатации ППТК, а также в соответствии с документом «Рабочая программа проведения обследования дизельгенераторов на НВОАЭС» №79/2020-ОТД/13, разработанным НИИ АЭМ и утвержденным НВОАЭС.

В процессе обследования проводились измерения, а перед этим проводилось распределение ролей участников, намечался порядок проведения измерений и была временных необходимых выполнена оценка затрат, ДЛЯ комплексного обследования ДГУ. В диагностического процессе мониторинга проводился вибрационный, ультразвуковой, температурный контроль дизельного и генераторного оборудования, а также снимались индикаторные диаграммы дизеля.

По результатам комплексного обследования установлено, что двигатель работает исправно, несущественные отклонения в рассчитанных параметрах и очертаниях диаграмм могут быть связаны с работой на четверти мощности от номинальной. Успешный опыт эксплуатации ППТК предполагает внедрение усовершенствованных аналогов комплекса на другие АЭС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Абидова, Е.А, Хегай, Л.С., Чернов, А.В., Соловьё, в В.И., Пугачёва, О.Ю.* Диагностирование дизель-генераторного оборудования АЭС с использованием детерминированных и стохастических методов. // Глобальная ядерная безопасность. 2016 №3(20), С. 74–79
- 2. Никифоров, В.Н. Пугачева, О.Ю. Абидова, Е.А. Елжов, Ю.Н. Соловьев, В.И. Сиротин, Д.В. Бабенко, Р.Г. Лапкис, А.А. Синельщиков, П.В. Информационный паспорт оборудования АЭС. Сопровождение ремонтных кампаний [Электронный ресурс] // Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР: сб. трудов 10 Междунар. науч.-техн. конф., Подольск, 16-19 мая 017г. Режим доступа: http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2017/autorun/ article66-ru.htm.
- 3. *Пугачева*, О.Ю., *Пугачев*, А.К., Соловьев, В.И., Абидова, Е.А. Диагностика дизель-генератора 15Д-100 по показателям вибрации. // Глобальная ядерная безопасность. 2014 №2(11), С. 91–97: ISSN 2305-414X.
- 4. Методы и средства оперативного контроля состояния дизель-генераторных установок АЭС. Е.А. Абидова, В.Н. Никифоров, О.Ю. Пугачёва, А.Е. Дембицкий, И.Г. Горбунов, Ю. Н. Елжов, В.П. Поваров, А.Г. Крупский
- 5. РД 153-34.0-20.364 «Методика инфракрасной диагностики тепломеханического оборудования».
- 6. ГОСТ 31349-2007 «Электроагрегаты генераторные переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Часть 9. Измерение и оценка механической вибрации».

## Methods and Instrument of Operational Control of State of Diesel Generator Sets of Nuclear Power Plants

E.A. Abidova<sup>1</sup>, I.G. Gorbunov, A.E. Dembitsky, Yu.N. Elzhov, V.N. Nikiforov, P.V Povarov, O.Yu. Pugacheva, V.I. Solovev

Volgodonsk Engineering Technical Institute National Nuclear Center of Moscow State Engineering Physics Institute VETI MEPhI Volgodonsk, Rostov region, Russia

1e-mail: EAAbidova@mephi.ru

**Abstract** – The work is devoted to the results of research and development work devoted to the diagnosis of reserve diesel generator sets of nuclear power plants of the Russian Federation. The features of the application of methods aimed at the system control of the object state are described. The results of the diagnostic examination of diesel generator sets using a diagnostic software and hardware complex that provides data processing, analysis and storage are presented.

*Keywords:* diesel generator sets of the Sulzer type; features of complex diagnostics of diesel generators; vibration diagnostics; thermal imaging control; ultrasonic parameters, indicator diagrams.

# АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ММА-ПРОЦЕССА НА БАЗЕ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ИНЕМ-200Т

**Н.Н.** Подрезов\*, И.С. Сазонов\*, Е.Ю. Попов\*, А.А. Гужавин\*\*

\*Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия
\*\*\*Аттестационный центр городского хозяйства, г. Москва, Россия

В работе исследовали устойчивость ММА процесса пульсирующей дугой при наплавке валиков электродами УОНИ 13/55 диаметрами 3 и 4 мм на низкоуглеродистую сталь толщиной 8 мм. В качестве сварочного системы питания применяли аппарат инверторного типа ИНЭМ-200Т. Аппарат имеет микропроцессорное управление и с помощью встроенного пульта может работать в одном из четырех режимов: ММА, ММА— PULSE, TIG, TIG— PULSE. Установлено, что изучаемый процесс более устойчив по сравнению с традиционной ручной дуговой сваркой (ММА). Это обеспечивает более благоприятное формирование металла шва, оцениваемое по ГОСТ 25616-83 [1]. Электродуговой процесс, по мнению сварщиков, в режиме пульсирующей дуги реализуется значительно легче и не требует специальных навыков.

*Ключевые слова*: сварочный аппарат, пульсирующая дуга, ручная дуговая сварка покрытые электроды, импульс тока сварки.

В качестве сварочного источника питания использовали аппарат инверторного типа ИНЭМ-200Т. Аппарат имеет микропроцессорное управление и с помощью встроенного пульта может работать в одном из четырех режимов: ММА, ММА-PULSE, TIG, TIG-PULSE. Широкий набор регулировок и наличие импульсного режима обеспечивает возможность подбора оптимальных режимов сварки для работы любыми типами электродов. Импульсный режим по току регулируется по четырем параметрам: максимальный ток в импульсе, А; размах по току, А; частота следования импульсов, сек<sup>-1</sup>; коэффициент заполнения (или скважность), %.

В работе исследовали устойчивость ММА процесса при наплавке валиков покрытыми электродами УОНИ 13/55 диаметрами 3 и 4 мм на пластины из низкоуглеродистой стали толщиной 8 мм. Сварку выполняли на обычных ММА режимах на обратной полярности и импульсном режиме ММА–PULSE пульсирующей дугой (рис. 1).

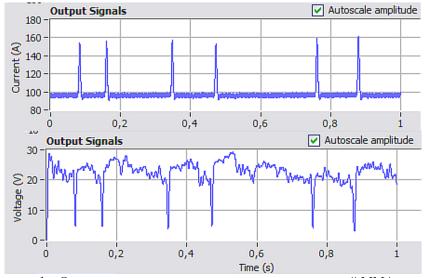


Рисунок 1 – Осциллограммы по току и напряжению импульсной ММА сварки, фильтр Баттерворта 2 порядка, частота отсечки сигнала 100 Гц

Установлено, что изучаемый MMA–PULSE процесс более устойчив по сравнению с обычной ручной дуговой сваркой (MMA). Как следствие, отмечается более благоприятное формирование металла шва, оцениваемое по ГОСТ 25616-83 [1]. Электродуговой процесс, по мнению сварщиков, в режиме пульсирующей дуги реализуется значительно легче и не требует специальных навыков.

Так же экономичность, высокое качество сварного шва, производительность, эффективность [2] и простота в эксплуатации – делают ММА процесс пульсирующей дугой перспективным вариантом при выборе сварочных процессов, особенно для сварки малой ёмкостной арматуры – штуцеры, измерительные патрубки и т.п.

По результатам работы сделаны выводы о перспективности использования пульсирующей дуги для сварки ответственных швов в атомной энергетике.

Перечисленные выше возможности микропроцессорных систем питания сварочной дуги приводят к существенному снижению требований к квалификации сварщиков, предъявляемых к выполнению регламентируемых сварочных работ.

# 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.

# Stability Analysis of MMA Process Based on Power Supply INEM -200T

N.N. Podrezov\*1, I.S. Sazonov\*1, E.Yu. Popov\*1, A.A. Guzhavin\*\*2

\*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear
University "MEPhI", Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

\*\*Certification Moscow Center of municipal services, Office 36, Tkatskaya St., 46, Moscow, Russia, 105187

le-mail: VITIkafMPM@mephi.ru

e-mail: ac-mosgaz@yandex.ru acgh@naks.ru

**Abstract** – The work investigates the stability of the MMA process with a pulsed arc when surfacing beads with UONI 13/55 electrodes with diameters of 3 and 4 mm on low-carbon steel 8 mm thick. An INEM-200T inverter type apparatus is used as a welding power supply system. The device has a microprocessor control and with the help of the built-in remote control it can operate in one of four modes: MMA, MMA - PULSE, TIG, TIG - PULSE. It is found that the studied process is more stable compared to traditional manual arc welding (MMA). This provides a more favorable formation of the weld metal, assessed in accordance with GOST 25616-83 [1]. The electric arc process, according to welders, in the pulsed arc mode is realized much easier and does not require special skills.

*Keywords:* welding apparatus, MMA- PULSE, manual arc welding of coated electrodes, pulse of welding current.

.

# ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

# А.А. Олейников, В.А. Коробейников

Волгодонский филиал Акционерного общества «Инжиниринговая компания «АЭМ-технологии» (Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск), Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В данной работе описано внедрение программы Plant Simulation и её назначение, а так же предложены необходимые виды контролей для изготовления и ремонта оборудования и изделия АЭС.

Ключевые слова: программа Plant Simulation, виды контролей качества сварочных работ.

При изготовлении оборудования на нашем предприятии мы стремимся быть эффективными – выпускать оборудование максимально высокого качества, в точные сроки и с наименьшей себестоимостью. Бережливое производство даёт возможность ощутимо сократить себестоимость продукта, и управлять процессами и командой на новом уровне.

Одно из наших последних достижений — это внедрение программы Plant Simulation, разработанной компанией Siemens. С её помощью мы смогли оцифровать все наши основные производственные процессы, станки и агрегаты, и то оборудование, которое на них производится, что позволяет нам практически в реальном времени просчитывать нашу производственною программу, определять «узкие места», дефицит оборудования и персонала, прогнозировать работу завода в горизонте пяти лет.

Мы движемся в сторону цифровизации производства — объединения производственных линий в единую «умную» сеть. И в качестве основного направления выбрали стратегию, основанную на создании полных цифровых двойников процессов и продуктов на каждом из этапов жизненного цикла изделий, которые позволяют моделировать и контролировать производственные процессы в режиме реального времени. Программа Plant Simulation — как раз один из этапов реализации этой стратегии.

При изготовлении изделий надлежащего качества, необходимо проводить соответствующие контроли.

Входной контроль — это проверка качества сырья и вспомогательных материалов, поступающих в производство. Качество сварочных работ и сварных соединений сильно влияет на прочность конструкций или герметичность резервуаров. Несоответствие сварных швов заданным характеристикам приводит к разрушениям конструкций с катастрофическими последствиями, то же относится и к системам, работающим с сосудами и трубопроводами под давлением.

Основными способами неразрушающего контроля качества сварки являются: визуальный; капиллярный; радиационный; магнитный; ультразвуковой.

Любая проверка качества сварных швов начинается с визуального контроля. Осматривают все 100% сварных соединений. Сначала проверяют геометрию и форму шва.

Визуальный контроль помогает выявить, наряду с наружными – часть внутренних изъянов.

# При капиллярном контроле Очистка поверхности Нанесение пенетранта Промежуточная очистка Нанесение проявителя и инспектирование

Рисунок 1 – Капиллярный метод

Данный способ контроля использует свойство жидкости затягиваться в очень мелкие капилляры. В капиллярном методе контроля качества сварки используют пенетранты – вещества, имеющие малое поверхностное натяжение и сильный цветовой контраст

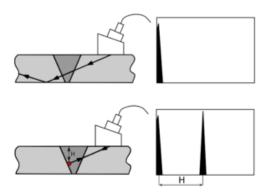
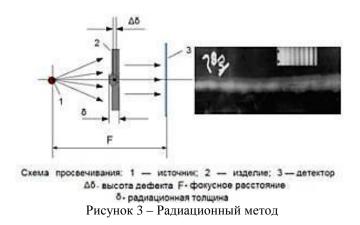


Рисунок 2 – Ультразвуковая дефектоскопия

Для контроля качества сварки применяют ультразвук. Принцип действия аппарата основан на отражении ультразвуковых волн от границы соединения двух сред с различными акустическими свойствами.



Основан на способности этих лучей, проникать через любые материалы. Интенсивность проникновения зависит от вида исследуемых веществ. Благодаря этому на фотопленке, стоящей за исследуемым изделием, остается изображение, характеризующее состояние данного материала.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Программа Plant Simulation. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Plant\_Simulation.
- 2. Виды контролей качества сварочных работ. URL : http://stalevarim.ru/pub/kontrol-kachestva-svarochnyh-rabot/.

# **Production Process of Manufacturing Equipment for Nuclear Power Plants**

# A.A. Oleynikov<sup>1</sup>, V.A. Korobeynikov<sup>2</sup>

Volgodonsk branch of the Joint Stock Company "Engineering company" AEM-technologies "(Branch of JSC" AEM-technologies" "Atommash" in Volgodonsk), Volgodonsk, Rostov region, Russia

le-mail: lava260697@gmail.com

e-mail: bojkina98@gmail.com

**Abstract** – This paper describes the implementation of the Plant Simulation program and its purpose, as well as the necessary types of controls for the manufacture and repair of equipment and products of nuclear power plants.

Keywords: Plant Simulation program, types of welding quality control.

# = СЕКЦИЯ ===

# ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК 621.039.58

# МЕТОД KNN-РЕГРЕССИИ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ КРИТИЧЕСКОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

# А.О. Скоморохов

Обнинский институт атомной энергетики – филиал НИЯУ «МИФИ», Обнинск, Калужская обл., Россия

В работе описаны результаты применения алгоритма KNN (K Nearest Neighbors) регрессии для задачи предсказания критического теплового потока. Полученные результаты демонстрируют низкий уровень ошибок предсказания. Локальное оценивание предсказываемой величины позволяет работать с сильно нелинейными зависимостями. Показана оптимизация параметра алгоритма К. Метод прост для программирования и проведения вычислений.

*Ключевые слова*: кризис теплообмена, критическая мощность, предсказание, регрессия, нелинейность, метод KNN, параметр K, оптимизация, ошибки предсказания, распределение ошибок.

Определение мощности, при которой наступает кризис теплообмена, при заданных эксплуатационных параметрах (основными являются давление, расход теплоносителя и температура на входе), позволяет обеспечить требуемый запас до кризиса при проектировании новых и эксплуатации действующих ЯЭУ. Запас до кризиса теплообмена относится к важнейшим показателям теплотехнической надёжности и безопасности ЯЭУ.

Эксперименты по реализации кризиса теплообмена требуют дорогостоящего стендового оборудования и являются весьма трудоёмкими. Этим определяется актуальность задачи разработки методов и алгоритмов предсказания критической мощности для тех режимных параметров установки, которые не реализовывались при проведении экспериментального исследования.

Сложность задачи можно проиллюстрировать ссылкой на известную книгу Л. Тонга [1], где таблица различных решений занимает более 20 страниц. При этом каждому решению посвящена всего одна строка таблицы (расчетная формула, диапазон режимных параметров, комментарий о применимости и ссылка на оригинальную работу).

Большинство предлагаемых формул относятся к классу полуэмпирических, где зависимость искомой величины ищется в виде степенной функции от различных параметров, а показания степеней подбираются вручную для линеаризации исходных нелинейных зависимостей.

Вместе с тем, интенсивное развитие таких направлений как Наука о Данных (Data Science), машинное обучение (Machine Learning), нейросетевых технологий и др. предоставляет методы и программы для построения сложных многомерных зависимостей при недостатке априорной информации (см., например, [2]). Предлагаемые алгоритмы позволяют обучать машины разбиению больших массивов данных на группы (кластерный анализ), распознаванию классов и диагностике, предсказанию результатов на новых данных (регрессия).

В работе [3] для предсказания критического теплового потока нами был использован алгоритм МГУА (Метод Группового Учета Аргументов) [4,5]. Этот метод относится к полиномиальным нейронным сетям. Метод позволяет добиться высокой точности предсказания и оптимизировать сложность получаемой модели, однако

труден для программной реализации. Применение метода требует большого числа машинных экспериментов по выбору способа разбиения выборки на обучающую и проверочную последовательность, критерия отбора наилучших моделей на каждом ряду селекции и числа отбираемых моделей, типа опорных функций и др.

В настоящей работе мы рассмотрим алгоритм KNN регрессии [7], который являясь простым для понимания и реализации, позволяет добиться высокой точности предсказания. Исходными данными являются векторы входных (независимых) величин  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, ..., \vec{x}_N$ , где N – число измерений, и выходные (зависимые) величины  $y_1, y_2, ..., y_N$ . Исходные данные нормируются:

$$\tilde{x} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

Так, что  $\tilde{x} \in [0,1]$ . Вычисляются расстояния от точки предсказания  $\vec{x}$  до всех точек обучающей выборки:

$$D_j^2 = \|\vec{x} - \vec{x}_j\|^2 = \sum_{k=1}^n (x_k - x_{jk})^2$$

Расстояния упорядочиваются по возрастанию:

$$D_{j_1} \leq D_{j_2} \leq \cdots \leq D_{j_N}$$

И выбираются K выходных величин, соответствующих K наиболее близких к  $\vec{x}$  точек:

$$y_{j_1}, y_{j_2}, \dots, y_{j_K}$$

Для получения предсказания, полученные выше значения усредняются:

$$y = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K} y_{j_k}$$

Возможно, использование других мер определения центра выборки из K выходных значений, например, определение их медианы.

Для проверки алгоритма использовались экспериментальные данные, представленные в книге [8]. Данные содержат результаты 211 экспериментов, в которых для заданных параметров (давление P, МПа, массовая скорость G, кг/м²с, и недогрев T°C) определялся критический тепловой поток W, МВт/м². В таблице 1 представлены статистические характеристики измеренных параметров — минимальное и максимальное значения, среднее и медиана, квартили (квантили уровней 0.25 и 0.75):

Таблица 1 – Статистические характеристики измеренных параметров

	MIN	$Q_1$	MEDIAN	MEAN	$Q_2$	MAX
P	3.00	7.00	12.00	12.18	16.00	20.00
G	750.00	1000.00	1500.00	1702.61	2000.00	3000.00
T	0.00	10.00	25.00	30.95	50.00	75.00
W	1.35	3.00	4.60	5.04	7.10	11.25

Программа для предсказания методом KNN регрессии написана на языке Dyalog APL [9] и занимает всего три строчки (рис.1).

```
∇ p+k KNNreg x;y;d;z
[1] (z x y)+x
[2] d+x{0.5*~+/(α-ω)*2}~cz
[3] p+{+/ω÷≠ω}k†y[↓d]
∇

3 KNNreg (0 0.1 0.3) xt yt
```

Рисунок 1 – Программа на APL для KNN-регрессии и пример применения

На рисунке 1 приведен также пример использования программы. Левый аргумент задает значение K, в данном примере выбрано значение 3. Правый аргумент содержит три элемента: вектор значений параметров для точки предсказания (0 0.1 0.3), массив измерений xt и вектор выходных значений yt. Результат предсказания равен 8.

Для выбора оптимального значения параметра K, были проведены предсказания для различных K от 1 до 20. Для каждого варианта вычислялась среднеквадратичная ошибка предсказания. Результаты представлены на рисунке 2.

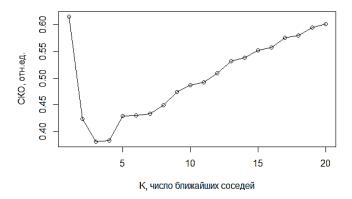


Рисунок 2 – Зависимость ошибки предсказания от параметра К

Случай K=1 соответствует методу ближайшего соседа, когда предсказанное значение принимается равным значению у наиболее похожего по параметрам элемента выборки. Из рисунка 2 видно, что наименьшая ошибка предсказания получена для K=3.

На рисунке 3 представлена зависимость предсказанного значения от измеренного экспериментально.

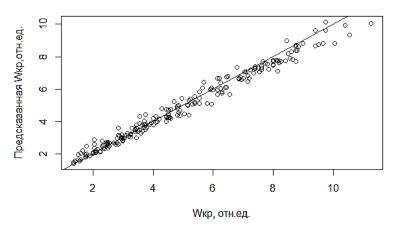


Рисунок 3 – Зависимость предсказанных и измеренных значений критического теплового потока

Наконец, на рисунке 4 представлено распределение ошибок предсказания, близкое к нормальному распределению. Средняя относительная ошибка составила 6.37%.

# Распределение ошибок предсказания

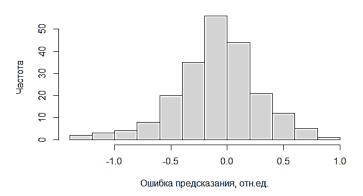


Рисунок 4 – Распределение ошибок предсказания критического теплового потока

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Тонг,  $\mathcal{I}$ . Кризис кипения и критический тепловой поток. М.: Атомиздат, 1976. 100 с.
- 2. Christopher M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning (Information Science and Statistics)
- 3. Springer-Verlag New York, 2006. 738pp.
- 4. Skomorokhov, Alexander O. «Adaptive learning networks in APL2.» In Proceedings of the international conference on APL, pp. 219-229. 1993.
- 5. *Ивахненко*,  $A.\Gamma$ . Индуктивные методы самоорганизации моделей сложных систем. Киев: Наук.думка, 1982.
- 6. *Ivakhnenko*, A.G. Polynomial theory of complex systems. IEEE transactions on Systems, Man, and Cybernetics 4 (1971): pp.364-378.
- 7. Nguyen, Bac, Carlos Morell, and Bernard De Baets. «Large-scale distance metric learning for knearest neighbors regression» Neurocomputing 214 (2016): 805-814.
- Дорощук, В.Е. Кризисы теплообмена при кипении воды в трубах /Москва: Энергоатомиздат, 1983.
- 9. *Legrand B*. Mastering Dyalog APL: A Complete Introduction to Dyalog APL. Dyalog Limited, 2009. 818pp.

# KNN-Regression Algorithm for Burnout Heat Flux Prediction

# A.O. Skomorokhov

Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering (Obninsk, Russia) e-mail: aoskomorokhov@oiate.ru

**Abstract** – The paper describes the application of KNN (K Nearest Neighbors) regression to the task of burnout heat flux prediction. The results show low level of prediction errors. Because of the local estimation of the predicted value, the method works well for highly nonlinear functions. Optimization of parameter K is demonstrated. The method is simple for programming and application.

*Keywords:* burnout, burnout heat flux, prediction, regression, nonlinearity, method KNN, parameter K, optimization, prediction errors, errors distribution.

# АНАЛИЗ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ МАШИНЫ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

# Е.А. Абидова, А.А. Лапкис, Д.А. Прыткова, Л.С. Хегай

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе показано, что оценку технического состояния перегрузочной машины по диагностическим сигналам следует проводить отдельно для каждого типа элементарного движения, различающегося по сформулированному набору из пяти признаков. Оценка технического состояния перегрузочной машины может быть выполнена программнотехническим комплексом, интегрированным в систему управления перегрузочной машиной, основанным на применении средств технической диагностики и сопоставления диагностических сигналов с эталонами. Обоснован показатель фрактальной размерности диагностического сигнала в качестве наиболее важной характеристики состояния механизмов. Разработанное программное обеспечение позволяет выполнять текущий и экспертный контроль технического состояния механизмов по результатам обработки диагностических сигналов с применением разработанных рекомендаций. Эталонные характеристики сигналов тока, сопровождающих движения механизмов перегрузочной машины, получены и внесены во встроенную базу данных по результатам промышленного эксперимента, проведённого на Ростовской АЭС в 2018-2020 годах.

*Ключевые слова*: перегрузка ядерного топлива, техническая диагностика, безопасность, токовые параметры, фазовый портрет, фрактальная размерность.

Исследованиями [1] было показано, что основной угрозой ядерной и радиационной безопасности на этапе перегрузки ядерного топлива является падение перегружаемого изделия в результате поломки элементов перегрузочной машины (ПМ). За время эксплуатации энергоблоков ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 неоднократно происходили события, потенциально опасные с точки зрения ядерной и радиационной безопасности — повреждения перегружаемых изделий: тепловыделяющих сборок и поглощающих стержней. Механизмы ПМ и перегружаемые изделия могут оказаться под действием непроектных нагрузок и, как следствие, испытать отказ при попадании в оборудование посторонних частиц и предметов, солей бора, продуктов коррозии и эрозии. Всё перечисленное обуславливает высокую значимость работ, направленных на совершенствование практики эксплуатации перегрузочных машин на АЭС.

Работа направлена на повышение уровня безопасности процессов перегрузки ядерного топлива АЭС и снижение затрат на обслуживание и ремонт ПМ. Практическая значимость работы обусловлена тем, что внедрение предложенной методики позволит регистрировать диагностический сигнал силы тока вне зоны работы оборудования, в отличие от сигнала вибрации [2]. Что обеспечит снижение дозовой нагрузки на персонал, уменьшение влияния помех и оперативность диагностирования.

Показана ограниченность возможности использования распространенных методов анализа диагностических данных (спектральный анализ и статистическая обработка) для обработки сигналов тока ПМ ввиду существенной недетерминированности и нестационарности обрабатываемой информации. Проведен поиск метода оценки нелинейных недетерминированных сигналов, предложено использовать фазовоплоскостной метод для анализа диагностических сигналов [3]. Выбран метод количественной оценки фазовых портретов с помощью расчёта фрактальной размерности [4]. Разработан комплекс программ на LabView, который даёт возможность построения фазовых портретов диагностических сигналов и расчёта их фрактальной размерности.

При отклонении параметров размерности и масштаба анализируемых портретов от эталонных (ранее полученных значений) более чем на 5% система контроля выдает оператору сообщение о возможной внештатной работе объекта. Таким образом, предлагаемая система даёт возможность построить эталоны выполнения операций ПМ с учётом нелинейных характеристик сигналов и выполнять диагностику вне защитной оболочки АЭС контролировать состояние механизмов ПМ, что ранее существующими системами не проводилось.

Результатом нашей работы является структура системы диагностики по сигналу тока перегрузочной машины в соответствии с разработанным методом, а также программное обеспечение модуля обработки данных.

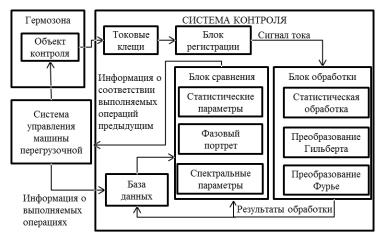


Рисунок 1 — Структура системы диагностики на основе регистрации и анализа сигнала тока с использованием фазово-плоскостного метода

Предлагаемый комплекс в составе системы управления ПМ предназначен для нужд оперативного и инженерно-технического персонала цеха-владельца ПМ АЭС. Преимуществом системы является в возможность её использования на всех АЭС с реакторами типа ВВЭР для сокращения времени планово-предупредительного ремонта, снижения вероятности простоя из-за возникновения дефектов и повышения безопасности работы ПМ.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Шестакова, И.А. Оценка и повышение безопасности подъемно-транспортных средств атомных станций при транспортировке ядерного топлива : специальность 05.05.05 «Подъемно-транспортные машины» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шестакова Ирина Александровна ; Астраханский государственный технический институт. Астрахань, 2001. 239 с.
- 2. Никифоров, В.Н. Многофункциональный информационно-измерительный комплекс для проведения мониторинга технического состояния машины пере-грузки ядерного топлива АС: 05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Никифоров Виктор Николаевич; Южно-Российский государственный технический университет. Новочеркасск, 2007. 167 с.
- 3. *Абидова, Е.А.* Совершенствование методов обработки информации в системах диагностики оборудования АЭС. [Текст]: монография / Е.А. Абидова, А.В. Чернов, Л.С. Хегай М.: НИЯУ МИФИ; Волгодонск: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. 118 с.
- 4. *Казиахмедов, Т.Б.* Фрактальный анализ и решение задач для выявления особенностей временных рядов при диагностике систем / Т. Б. Казиахмедов. Нижневартовск: Вестник НВГУ.№3, 2015. с. 20 26.

# Analysis of Chaotic Signals During Diagnostics of the WWER-1000 Reactor Refueling Machine

E.A. Abidova<sup>1</sup>, A.A. Lapkis<sup>2</sup>, D.A. Prytkova<sup>3</sup>, L.S. Hegay<sup>4</sup>

Volgodonsk Engineering Technical Institute – a branch of the National Research Nuclear Uni-versity "MEPhI", Volgodonsk, Rostov region, Russia

<sup>1</sup>e-mail: e-abidova@mail.ru <sup>2</sup>e-mail: paltusmeister@gmail.com <sup>3</sup>e-mail: muz1@mail.ru <sup>4</sup>e-mail: nik-han@mail.ru

Abstract – The paper shows that the assessment of the technical condition of the refueling machine based on diagnostic signals should be carried out separately for each type of elementary movement, which differs in the formulated set of five signs. Evaluation of the technical condition of the refueling machine can be performed by a software and hardware complex integrated into the control system, based on the use of technical diagnostics and comparison of diagnostic signals with standards. The indicator of the fractal dimension of the diagnostic signal as the most important characteristic of the state of the mechanisms is justified. The developed software allows you to perform current and expert control of the technical condition of the mechanisms based on the results of processing diagnostic signals using the developed recommendations. The reference characteristics of the current signals accompanying the movements of the refueling machine mechanisms were obtained and entered into the built-in database based on the results of an industrial experiment conducted at the Rostov NPP in 2018-2020.

Keywords: nuclear fuel overload, technical diagnostics, safety, current parameters, phase portrait, fractal dimension.

УДК 621.039.577:621.039.519

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПЛИВА С ХРОМИРОВАННЫМ ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ РЕАКТОРА ВВЭР-1200 ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА ПРОГРАММ МСИ

# Баршонь Саболч

Томский политехнический университет, Томск, Россия

В ходе данной работы представлена конструкция AES-2006 с особым вниманием к параметрам активной зоны в целом, а также рассмотрены отдельных параметров ТВС. Смоделирована как полная активная зона, так и хромированные оболочки различной толщины покрытия (10-50  $\mu$ m).

*Ключевые слова*: Оболочка, Толерантное ядерное топливо (ATF), Cr-покрытие, BBЭР-1200, MCU BBЭР-1200, MCU.

Водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР) относится к самому распространенному типу реакторов с водой под давлением. В Венгрии этот тип реактора также находится в эксплуатации. В конце 2014 года Россия и Венгрия подписали документы о строительстве в АЭС «Пакш» новых энергоблоков ВВЭР-1200 [1].

Авария на АЭС Фукусима-Дайичи в Японии, вызванная землетрясением и цунами в 2011 году, привлекла внимание всего мира к безопасности электростанций в аварийных условиях.

В мире активно идут работы по созданию толерантного ядерного топлива (Accident Tolerant Fuel), устойчивого к авариям с потерей теплоносителя. При таких авариях прекращается подача охлаждающей воды в активную зону ядерного реактора, что ведет к перегреву ядерного топлива. В результате повышения температуры циркониевых оболочек тепловыделяющих элементов возникает так называемая пароциркониевая реакция, сопровождающаяся выделением дополнительного большого

количества тепла и водорода, взрыв которого способен привести к разрушению конструкций атомного энергоблока и выходу радиоактивных веществ в окружающую среду [2, 3, 4].

Самая простая и элегантная эволюционная концепция заключается в использовании тонкого покрытия или модификации поверхности для защиты поверхности циркония от окружающей среды и увеличения срока службы тепловыделяющего стержня (оболочки) до того, как он потеряет свою охлаждаемую геометрию.

На рисунке 1 приведены основные рабочие характеристики наиболее предлагаемых материалов-кандидатов для покрытий ATF, основанных на приведенном выше обсуждении.

	$\overline{}$							
Key Performance	Cr	TiAIN	TiN/TiAIN	FeCrAl	CrN	Ti <sub>2</sub> AlC	Ti <sub>3</sub> SiC <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> AlC
Corrosion behavior	√	×	√	<b>√</b>	√	×	-	×
Irradiation behavior	√	-	×	-	√	×	×	×
Oxidation behavior	√	√	-	×	×	<b>√</b>	×	√

Рисунок 1 – Основные эксплуатационные характеристики наиболее предлагаемых материаловкандидатов для покрытий ATF [5]

Можно видеть, что покрытия на основе Cr демонстрируют отличные характеристики во всех соответствующих аспектах. Таким образом, они стали наиболее перспективными материалами для оболочек твэлов ATF.

Под расчётом переноса излучения понимают расчёты потоков нейтральных частиц (нейтронов и фотонов) распространяющихся в среде. Одной из широко распространенных программ для моделирования процессов переноса нейтронов МСU, которая и была использована в данной работе [6].

В качестве нейтронной модели выступает элементарная ячейка реактора, состоящая из топливной части твэла, гелиевого центрального отверстия и зазора, оболочки, водного замедлителя. Механизм полномасштабного вычислительного моделирования и геометрическая модель «Толерантные покрытия» изображены на рисунках 2 и 3.

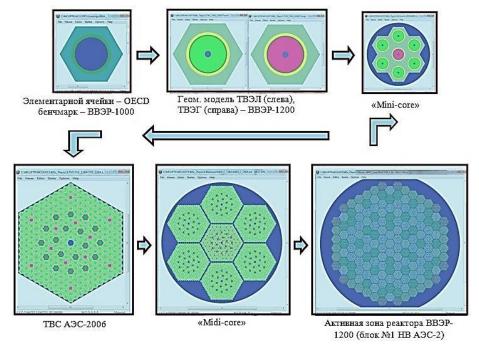


Рисунок 2 – Используемая схема моделирования активной зоны реактора ВВЭР-1200

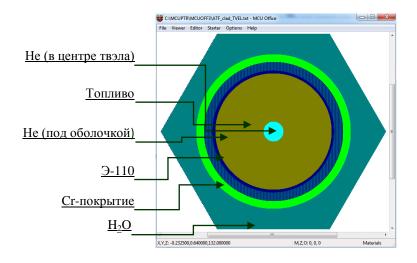


Рисунок 3 – Поперечное сечение ТВЭЛа для ВВЭР-1200 с хромированным покрытием

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Ase-ec.ru [Электронный ресурс] / Ase-ec.ru 2021. Режим доступа: URL: https://ase-ec.ru/en/projects/paks-2-npp/ 28.04.2021.
- 2. *Raul B. Rebak*, Accident-Tolerant Materials for Light Water Reactor Fuels. / Raul B. Rebak General Electric Research, Schenectady, NY, United States: Matthew Deans, 2020. 231 c.
- 3. Neftegaz.ru. Толерантность от Росатома. НЗХК произвел первое ядерное топливо, устойчивое к нештатным ситуациям на АЭС. [Электронный ресурс] / Neftegaz.ru. 2021. Режим доступа: URL: https://neftegaz.ru/news/nuclear/515676-tolerantnost-ot-rosatoma-nzkhk-proizvel-pervoe-vadernoe-toplivo-ustoychivoe-k-neshtatnym-situatsiyam/ 28.04.2021.
- 4. *Ma*, *H*. *u др*. Oxidation behavior of Cr-coated zirconium alloy cladding in high-temperature steam above 1200 °C. / Ma, H., Yan, J., Zhao и др. // npj Materials Degradation, 5(1). 2021
- 5. *Chen, H., и др.* Application and Development Progress of Cr-Based Surface Coatings in Nuclear Fuel Element: I. Selection, Preparation, and Characteristics of Coating Materials. / Chen, H., и др. // Coatings, 10(9), 2020. 808 с.
- 6. *Mcuproject.ru*. MCU Code: MCU Project Home Page. [Электронный ресурс] MCU Code: MCU Project Home Page. 2021. Режим доступа: URL: http://mcuproject.ru/rabout.html 28.04.2021.

# Designing CR-Based Surface Coatings for WWER-1200 Reactors Using MCU Software Package

# **Barsony Szabolcs**

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia e-mail: szabolcs.barsony01@gmail.com

**Abstract** – In the course of this work, the design of the AES-2006 is presented with special attention to the parameters of the core as a whole, and the individual parameters of fuel assemblies. The complete core is modeled, as well as the chromium-coating for various thicknesses (10-50  $\mu$ m).

Keywords: Cladding, Accident Tolerant Fuels (ATF), Cr-coating, WWER-1200, MCU.

# ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ В ФИЛИАЛЕ АО «АЭМ-ТЕХНОЛОГИИ» «АТОММАШ» В Г.ВОЛГОДОНСК

# А.Ч. Хорцева, Е.А. Цвелик

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Современное промышленное производство использует цифровые и компьютерные технологии во всех аспектах своей работы. Практически все процессы, от непосредственного контроля и управления технологическим процессом до бизнеспланирования и документооборота, осуществляются в настоящее время с применением цифровых данных и цифровой инфраструктуры. В данной работе спроектированы модули для цифровизации системы документооборота отдела технического контроля, отдела неразрушающих методов контроля, центральной заводской лаборатории по операционному контролю. Реализация этих модулей для Атоммаш осуществлялась в системе SAP ERP.

*Ключевые слова:* автоматизация, электронный документооборот, программное обеспечение SAP ERP, оценка соответствия, цифровая трансформация.

Цифровая трансформация — это внедрение современных технологий в бизнеспроцессы предприятия. Цифровизация процессов актуальна не только на уровне отдельных предприятий: целые отрасли выбирают для себя этот путь развития как единственную возможность соответствовать стремительно меняющимся условиям окружающего мира. Цифровые амбиции Госкорпорации «Росатом» — технологическое лидерство, как на российском рынке, так и в мире. Атоммаш как одно из предприятий корпорации также движется по этому пути, который принципиально меняет подходы к управлению и производству, существенно повышая конкурентоспособность продукции и эффективность работы предприятия.

Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск – единственное в России предприятие, способное изготавливать полный комплект оборудования реакторного зала АЭС, включая корпус реактора с внутрикорпусными устройствами и парогенераторы в сборе. Комплектность поставки и выполнение всех видов контроля изготовления оборудования на различных этапах производства обеспечивают гарантию качества изделий [1].

Процесс обеспечения сопроводительной документацией является одним из важных составляющих аспектов изготовления оборудования для атомных станций. В настоящее время система документооборота по операционному контролю не предусматривает автоматического оформления, согласования и утверждения документации в электронном варианте, а осуществляется на бумажных носителях с «живыми» подписями согласующих лиц [2].

Для обеспечения сквозного контроля хода производства на предприятии используется автоматизированная система управления производством в программном обеспечении SAP ERP, позволяющая отслеживать состояние выполнения производственной программы по всем производственным заказам на любом переделе [3].

Процесс изготовления оборудования сопровождается постоянным операционным контролем с оформлением большого количества документов в бумажном виде (направления на контроль, заключения об испытаниях, акты ВИК, извещения и т.д.) для последующего формирования отчетного паспорта готового оборудования. Схема документооборота представлена на рисунке 1.

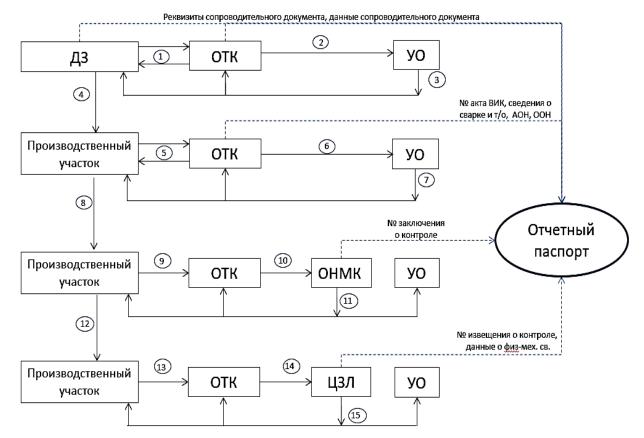


Рисунок 1 — Схема документооборота (ДЗ — дирекция по закупкам, ОТК — отдел технического контроля, ОНМК — отдел неразрушающих методов контроля, ЦЗЛ — центральная заводская лаборатория, УО — уполномоченная организация)

В рамках проведенного анализа документооборота выявлен ряд проблем при проведении операционного контроля и создании отчетной документации:

- -Потери времени на предъявление контрольных операций;
- -Ошибки в сопроводительной документации;
- -Отсутствие информации о статусе операции в соответствии с планом качества;
- -Избыточные затраты на бумагу и копирование для создания нескольких копий одного документа.

Вследствие вышеизложенного, возникает необходимость рационализации методов создания, обработки и хранения, поиска и перемещения информации (документов) с разработкой совершенно новых приемов, режимов и методик оценки, анализа и оптимизации как внутренних, так и внешних процессов предприятия, используя современные компьютерные технологии.

Путем решения подобных проблем является автоматизация документооборота при проведении операционного контроля в программном обеспечении SAP ERP, что сократит время протекания процесса изготовления оборудования [4].

Для реализации электронного документооборота по контролю качества изготовления продукции и обеспечению управления качеством в программном обеспечении SAP ERP были разработаны и находятся на стадии тестовой эксплуатации специализированные модули, настроенные для работы отделов технического контроля, неразрушающих методов контроля и центральной заводской лаборатории, которые позволяют осуществлять формирование сопроводительных и отчетных документов в электронном формате с их последующим сохранением и использованием из базы данных для подготовки отчетного паспорта оборудования [5].



Рисунок 2 – Процессы документооборота, разработанные в ПО SAP ERP и находящиеся на стадии тестовой эксплуатации

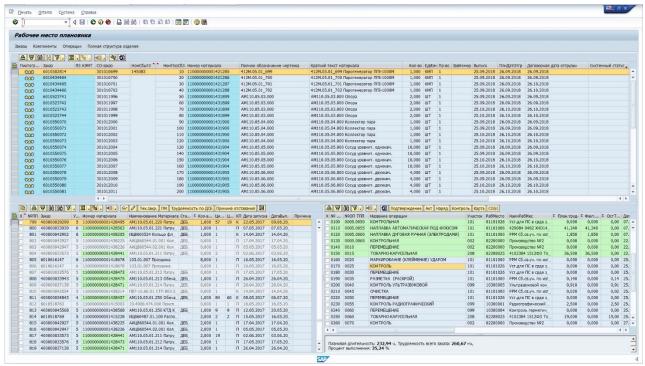


Рисунок 3 – Пример рабочего окна в ПО SAP ERP (верхнее окно – оборудование, изготавливаемое по проекту; левое нижнее окно – детали и сборочные единицы оборудования; правое нижнее окно – технологический процесс изготовления конкретной детали или сборочной единицы)

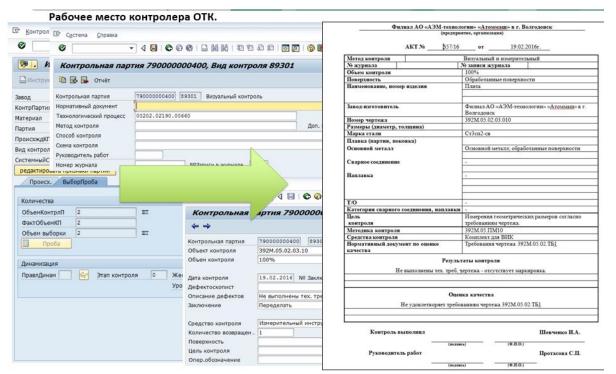


Рисунок 4 – Ввод результатов контроля и формирование акта ВИК

Также в настоящее время ведется разработка технического задания для программного модуля «Оценка соответствия» в ПО SAP ERP, который позволит автоматизировать и сократить сроки проведения оценки соответствия оборудования Уполномоченной организацией, осуществляющей контроль над изготовлением.

Реализация данного проекта в программном обеспечении SAP ERP позволит в полном объеме решить следующие задачи [6]:

- -исключение потерь времени на перемещения персонала для закрытия операций,
- -исключение необходимости ведения множества журналов в бумажной форме,
- -исключение дублирующих проверок отчетной документации по предшествующим технологическим операциям,
- -автоматизировано формирование отчетного паспорта изделия из сформированной базы данных результатов контроля,
- -автоматический сбор информации в отчетные документы, ранее вводимой в систему документооборота,
  - -мониторинг загрузки оборудования, персонала,
- -автоматическое отслеживание допуска к работе аттестованного персонала по видам работ,
- -сбор статистических данных по участкам о качестве выполнения технологических операций,
- -мониторинг фактического состояния выполнения контрольных операций, ключевых событий по договору,
- -своевременное информирование заинтересованных подразделений о результатах контролей/испытаний.

Таким образом, цифровая трансформация проанализированных процессов позволяют вовлечь персонал предприятия в электронный документооборот в системе управления производством и качеством, что ведет к значительному сокращению сроков разработки и согласования производственной и сопроводительной документации, и в итоге к сокращению сроков выпуска продукции).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Официальный сайт АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.aemtech.ru.
- 2. Ребрин, Ю.И. Управление качеством. Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2004. 174 с.
- 3. Абросимов Л.И., Борисова С.В., Бурцев А.П. Бизнес и информационные технологии для систем управления предприятием на базе SAP. Издательство «Лань», 2019. 812 с.
- 4. Приказ «О формировании отчетного паспорта изделия в автоматизированной системе SAP ERP». Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск.
- 5. Регламент обращения отчетной документации в системе электронного документооборота, совместно с оформлением оригиналов документов при проведении операционного контроля. Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск.
- 6. Протоколы совещаний по организации работ по формированию отчетного паспорта в SAP ERP. Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск. 2020-2021 г.

# Digital Transformation of Operational Control Processes in «Atommash» the Branch of JSC «AEM-Technology» in Volgodonsk

# A.Ch. Khortseva<sup>1</sup>, E.A. Tsvelik<sup>2</sup>

Volgodonsk Engineering and Technical Institute - Branch of the National Research Nuclear University
"MEPHI", Volgodonsk, Rostov region, Russia

<sup>1</sup>e-mail: aniya.khortseva@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: eatsvelik@mephi.ru

**Abstract** – Modern industrial production uses digital and computer technology in all aspects of its work. Almost all processes, from direct control and management of the technological process to business planning and document flow, are currently carried out using digital data and digital infrastructure. In this work, modules have been designed for the digitalization of the document flow system of the quality control department, non-destructive testing department, and central plant laboratory for operational control. The implementation of these modules for Atommash was carried out in the SAP ERP software system.

Keywords: automation, document flow, SAP ERP software, conformity assessment, digital transformation.

УДК 620.179.118.7

# РАЗВИТИЕ МЕТОДА ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

# З.С. Волкова, М.Б. Иваний, В.И. Сурин, А.А. Щербаков

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В работе приводится описание методики и программы для частотно-временного представления сигналов электрического неразрушающего контроля. Методика предполагает использование преобразования Вигнера-Вилля и оконной функции Блэкмана. Также описываются проведенные для проверки методики эксперименты. Один из них направлен на изучение развития структурных повреждений в частотно-временном представлении для упрочненного сплава ПОС-76, испытанного в процессе ползучести. Приводятся изменение относительной текущей деформации образца в процентах и соответствующее изменение скорости ползучести от времени, а также временная зависимость амплитуды сигнала контроля на фоне спектрограммы частотно-временного представления. Полученные результаты соотносятся с тем фактом, поликристаллических материалах при средней степени деформации в условиях множественного скольжения основным контролирующим ползучесть механизмом является механизм генерации полос скольжения. Второй эксперимент описывает применение методики к результату обнаружения зародышевой микротрещины при растяжении стали ЭИ847.

*Ключевые слова*: электрический неразрушающий контроль, частотно-временное представление сигналов, частотные характеристики, преобразование Вигнера-Вилля, функция Блэкмана, структурные дефекты, процесс ползучести, деформационное упрочнение, генерация полос скольжения, микротрещины.

Задача применения методов частотно-временного представления к результатам электрического неразрушающего контроля является актуальной, поскольку это позволяет не только эффективно выявлять различные типы дефектов структуры, но и определять их частотные характеристики. Известно, что преобразование Вигнера-Вилля локализует частотно-временную структуры сигнала. Если энергия сигнала сконцентрирована во времени около точки  $t_0$  и по частоте возле точки  $\upsilon_0$ , то и энергия преобразования Вигнера-Вилля этого сигнала будет сконцентрирована в окрестности точки  $(t_0,\upsilon_0)$  с протяженностью, равной частотной и временной протяженности сигнала. Одним существенным недостатком преобразования Вигнера-Вилля является снижение разрешающей способности метода в результате возникающих интерференций, обусловленных квадратичными свойствами преобразования [1].

По определению, для дискретного сигнала f преобразование Вигнера-Вилля WW [n,k] записывается в виде ряда:

$$WW[n,k] = \sum_{n=-N}^{N-1} f[n + \frac{p}{2}]f^* \left[n - \frac{p}{2}\right] \exp\left(\frac{-i2\pi kp}{N}\right).$$

На рисунке 1 показан пример идентификации развития структурных повреждений в частотно-временном представлении для упрочненного сплава ПОС-76, испытанного в процессе ползучести. Общая деформация образца перед проведением эксперимента составляла несколько процентов. Для поддержания процесса ползучести, после выхода на режим испытаний, постепенно стравливали нагрузку от первоначального значения 280 МПа до 220 МПа – к концу эксперимента.

Слева на рисунке показано изменение относительной текущей деформации образца в процентах и соответствующее изменение скорости ползучести от времени. На рисунке 1 справа, на фоне спектрограммы частотно-временного представления (ЧВП) приведена временная зависимость амплитуды сигнала контроля (красного цвета). Значения модуля спектральной функции приведены в условных единицах. Ширину окна выбирали равной 60-ти отсчетам. Для уменьшения влияния интерференционных помех использовали оконную функцию Блэкмана [1].

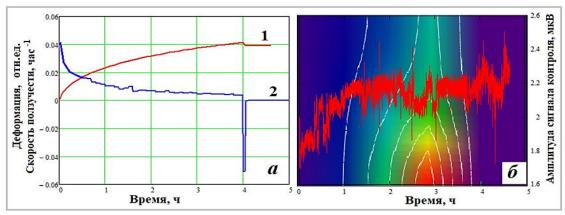


Рисунок 1 — Частотно-временное представление ползучести упрочненного сплава ПОС-76: a — кривые ползучести (1) и скорости ползучести (2);  $\delta$  — изменение сигнала контроля во времени (красный цвет) и построенная по этому сигналу спектрограмма

Максимальный сдвиг функции, стоящей под знаком суммы, за границей ширины окна определяли целым значением длительности эксперимента в часах (N<sub>max</sub>= 4). При суммировании оставляли только члены, имеющие положительные значения индексов. Максимальное значение частоты на рисунке  $1 \, \delta$  равно 20 условным единицам. Предполагаемый процесс, локализованный в данном ЧВП, связан с активацией деформационного упрочнения после стадии неустановившейся ползучести, со временем начала процесса – около одного часа. В соответствии с результатами работы М.А. Штремеля [2], в поликристаллических материалах при средней степени деформации в условиях множественного скольжения основным контролирующим ползучесть механизмом является механизм генерации полос скольжения. Начало этого процесса характеризуется появлением ИВН в широком интервале частот, и максимум процесса приходится на временной интервал 2,5-3,5 часа с максимальными значениями спектральной функции в низкочастотном диапазоне (рис. 1 б). Видно некоторое уменьшение амплитуды сигнала контроля в этом временном интервале, которое в соответствии с КДА может быть связано с уменьшением количества пятен образующихся микроконтактов.

Расчетную методику и программу для построения частотно-временных спектрограмм применили к результату обнаружения зародышевой микротрещины при растяжении стали ЭИ847 ([3], рис. 2). В качестве функции, стоящей под знаком суммы, использовали двойное БПФ сигнала контроля, полученного на уровне фиксации

SLS=4,086. В отличие от предыдущего случая, для микротрещины спектральная функция имеет достаточно широкий (конечный) диапазон частот. Расчетные погрешности временного интервала локализации процесса связаны с малой экспериментальной выборкой (27 отсчетов) и узкой шириной окна (4 отсчета).

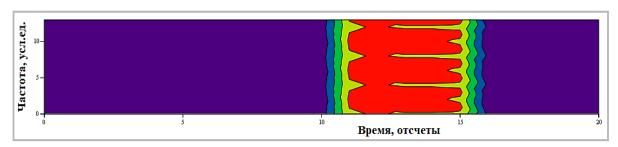


Рисунок 2 — Частотно-временное представление зародыша трещины в стали ЭИ847 на уровне фиксации SLS=4,086

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований по договору №19-08-00266/19 от 10.01.2019.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Time frequency signal analysis and processing. / Edited by B. Boashash. Elsevier, 2003 1056 p.
- Штремель, М.А. Прочность сплавов. Часть II. / М.А. Штремель Москва : МИСИС, 1997 527 с.
- 3. *Сурин, В.И.* Применение метода сканирующей контактной потенциометрии для регистрации образования зародышевой трещины в сталях / В.И. Сурин, В.И. Польский, А.В. Осинцев, П.С. Джумаев // Дефектоскопия. − 2019. − №1 − С. 53-60.

# Development of the Method of Time-Frequency Representation of Electrical Control Signals

Z.S. Volkova, M.B. Ivaniy, V.I. Surin, A.A. Shcherbakov<sup>1</sup>

National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia <sup>1</sup>e-mail: AAShcherbakov@mephi.ru

Abstract – The paper describes a methodology and program for the time-frequency representation of electrical non-destructive testing signals. The technique involves the use of the Wigner-Ville transform and the Blackman window function. The experiments carried out to verify the methodology are also described. One of them is aimed at studying the development of structural defect in the time-frequency representation for the hardened POS-76 alloy tested in the creep process. The change in the relative current deformation of the sample in percent and the corresponding change in the creep rate with time, as well as the time dependence of the amplitude of the control signal against the background of the spectrogram of the time-frequency representation are given. The results obtained are consistent with the fact that in polycrystalline materials with an average degree of deformation under multiple slip conditions, the main mechanism controlling creep is the mechanism of generation of slip bands. The second experiment describes the application of the technique to the result of detecting an embryonic microcrack during tension in EI847 steel.

*Keywords:* electrical non-destructive testing, time-frequency representation of signals, frequency characteristics, Wigner-Ville transform, Blackman function, structural defects, creep process, strain hardening, generation of slip bands, microcracks.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

**В.Д. Ожерельев**\*, Е.А. Абидова\*\*

\*Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Проведена имплементация алгоритма градиентного бустинга на архивные значения концентраций газов в трансформаторном масле. В ходе работы был написан Python-код для решения задачи принадлежности текущего технического состояния трансформаторов к одному из рассматриваемых.

*Ключевые слова*: машинное обучение, мультиклассовая классификация, градиентный бустинг.

На сегодняшний день определилась тенденция, связанная с эксплуатацией силовых трансформаторов АЭС с продлённым сроком службы. Это, в свою очередь, влечёт за собой необходимость в повышенном контроле состояния данного оборудования. Развитие неисправностей, дефектов трансформаторов сопряжено с выделением характерных газов в трансформаторном масле. В начальной стадии развития дефектов их концентрация невелика. Газы длительное время могут сохраняться в масле. Достигая критических значений концентраций газов, имеют место проявления различного рода отказов, которые влекут за собой кардинальное снижение ресурса трансформаторов. Для контроля текущих значений концентраций газов применяются различные датчики-газоанализаторы. Фиксируя эти значения с определённым периодом дискретизации, и сохраняя их в архив, можно определить состояние трансформаторов.

Обладая значениями концентраций  $H_2$ , CO,  $C_2H_2$  и  $C2H_4$ , поставим задачу классификации. Пусть X – признаковое множество объекта, Y – конечное множество классов [1]. Существует неизвестная зависимость – отображение  $y^*$ :  $X \rightarrow Y$ , значение, которого известны только на объектах конечной обучающей выборки  $X_m = (x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)$  [1]. Необходимо построить алгоритм а:  $X \rightarrow Y$ , способный классифицировать произвольный объект  $x \in X$  [1]. Применительно к данной задаче Y выглядит следующим образом:  $\{0, 1, 2, 3\}$ , где 0 – это метка исправной работы, 1 – это метка частичного разряда, 2 – это метка разряда низкой энергии, 3 – это метка низкотемпературного термического дефекта.

Решение данной задачи имеет место в области машинного обучения. Исходные данные — это матрица 420х4. Столбцы — это газы, выделенные в трансформаторном масле, а строки — наблюдения этих газов. Состояние оборудования для этих данных известно. Вид матрицы исходных данных:

$$\begin{bmatrix} \mathsf{H2}_{1,1} & \mathsf{CO}_{1,2} & \mathsf{C2H4}_{1,3} & \mathsf{C2H2}_{1,4} \\ \mathsf{H2}_{2,1} & \mathsf{CO}_{2,2} & \mathsf{C2H4}_{2,3} & \mathsf{C2H2}_{2,4} \\ \vdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ \mathsf{H2}_{420,1} & \mathsf{CO}_{420,2} & \mathsf{C2H4}_{420,3} & \mathsf{C2H2}_{420,4} \end{bmatrix}$$

Сформируем матрицу «объекты-признаки» и присоединим к ней метки принадлежности. Для формирования матрицы вычислим медианные значения по столбцам. Таким образом, X размерностью 420х4 превратим в вектор-строку, размерность которой равна 1х4. После добавления метки принадлежности к определённому классу получим вектор:

 $<sup>^{**}</sup>$ Волгодонский инженерно-технический институт НИЯУ МИФИ, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

 $[median(H2) median(C0) median(C2H4) median(C2H2) Y_i]$ 

где median(H2, CO,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_2$ ) – медианные значения концентрации  $H_2$ , CO,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_2$  соответственно,  $Y_i$  – метка принадлежности к классу.

Имеется массив, содержащий 100 файлов со значениями концентраций газов. Над всем массивом проделаем вышеописанную операцию, а после конкатенируем полученные строки. В итоге, получим матрицу data 100x5.

Основа решения данной задачи – это алгоритм градиентного бустинга, применяемый для задач регрессии, классификации, ранжирования. Суть алгоритма заключается в построении модели предсказания в форме ансамбля моделей (например, деревьев решений), которые строятся последовательно [2]. Следующее дерево учится на ошибках предыдущего [2]. Затем этот процесс повторяется с увеличением количества таких моделей. В итоге, получается модель, способная к обобщению на данных [2]. решении задачи будем использовать В GradientBoostingClassifier из модуля ensemble библиотеки sklearn.

Импортировав данный классификатор, проведём его имплементацию на 80% данных от объёма data в «сыром» виде, т.е. без настройки параметров его сигнатуры. Результативность алгоритма оценим по численному значению метрики ассигасу на 20% данных от объёма data. Результат классификации представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Результат классификации

No	Прогнозируемая метка	Реальная метка	№	Прогнозируемая метка	Реальная метка
1	0	0	11	0	3
2	0	0	12	3	3
3	0	0	13	2	2
4	3	3	14	1	1
5	1	1	15	1	1
6	3	3	16	1	1
7	1	1	17	0	0
8	2	2	18	3	2
9	3	3	19	2	2
10	2	2	20	0	0

Значение метрики accuracy равно 0,9. Это означает, что из 20 тестовых сигналов алгоритм неверно спрогнозировал метку принадлежности лишь в двух случаях. Эти случаи необходимо рассматривать отдельно и выяснять причину неверной классификации. Таким образом, алгоритм с дефолтными настройками неплохо справился с задачей.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Задача классификации [Электронный ресурс]. URL: https://wiki.loginom.ru/articles/ classification-problem.html (дата обращения: 20.01.2021).
- 2. Градиентный бустинг (CatBoost) в задачах построения торговых систем. Наивный подход [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mql5.com/ru/articles/8642 (дата обращения: 04.02.2021).

# Results of Application of the Gradient Boosting Algorithm for Classification of the State of Power Transformers

V.D. Ozhereliev<sup>\*1</sup>, E.A. Abidova<sup>\*\*2</sup>

\*Rostov nuclear power plant, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360 \*\*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Rostov region, Russia <sup>1</sup>e-mail: VictorOzhereliev@yandex.ru

**Abstract** – The implementation of the gradient boosting algorithm on the archived values of gas concentrations in transformer oil is carried out. In the course of the work, Python code was written to solve the problem of whether the current technical condition of the transformers belongs to one of the considered ones.

Keywords: machine learning, multiclass classification, gradient boosting.

УДК 681.518.5

# МЕТОД ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

# О.А. Задорожнюк, Е.А. Абидова

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Электроприводная арматура атомных электрических станций является ответственным элементом оборудования АЭС [1]. В процессе эксплуатации детали арматуры подвергаются различным видам изнашивания, что с течением времени приводит к возникновению различного рода отказов [2]. Потому, особо важно наличие своевременного ремонта арматуры. Стратегия ГК Росатом направлена на переход от обслуживания по регламенту – к ремонту по фактическому состоянию. Это достигается внедрением систем технического диагностирования состояния арматуры без ее разборки и демонтажа.

*Ключевые слова:* диагностика электроприводной арматуры, чувствительность, диагностический комплекс, метод главных компонент, метод повышения чувствительности электрических параметров к механическим дефектам, ремонт по текущему состоянию.

В работе предлагается метод повышения чувствительности электрических параметров к механическим дефектам.

Механические дефекты распознаются по вибрационными параметрам. Проблемой такого диагностирования оборудования АЭС может являться его труднодоступность и радиоактивная загрязненность, поэтому важно отметить, что предлагаемый метод не требует специального размещения комплекса в условиях АЭС, разборки и демонтажа арматуры т.к. вся диагностика производится по току. Внедрение данной Методики снижает затраты на диагностирование одной единицы оборудования почти в 14 раз.

С целью повышения чувствительности диагностирования был предложен подход на основе МГК. Метод главных компонент, получивший широкое распространение в прикладной математике позволяет выделить наиболее существенную составляющую исходной информации.

Для демонстрации преимуществ предлагаемого подхода были проведены эксперименты в лабораторных условиях.

Первая серия экспериментов была направлена на иллюстрацию повышения чувствительности.

Во время работы оборудования регистрировались электрические параметры. Затем сопоставлялись плотности распределения вероятности параметров исправного и неисправного оборудования. Но исходные распределения токовых параметров практически совпадали, что исключало обнаружение дефекта.

Далее был апробирован предлагаемый метод и те же сигналы были спроецированы на высшие компоненты сингулярного разложения. Вероятности

ошибок снизились до приемлемого уровня. Таким образом, чувствительность явно повысилась.

Следующая серия экспериментов проводилась для иллюстрации избирательности предлагаемого подхода по отношению к разным видам дефектов. Эксперимент состоял в регистрации сигналов электрической мощности заведомо исправной ЭПА и оборудования с дефектами.

Полученные сигналы тока были предварительно обработаны штатными методами. Сравнение среднеквадратических значений сигналов и сравнение спектров диагностических сигналов позволяют обнаружить дефект.

Далее к тем же данным был применен подход на основе МГК. По результатам, кластер исправного состояния удален от кластеров, соответствующих неисправностям, а кластера неисправных состояний почти не совпадают.

Предлагаемый метод, повышающий качество диагностирования, может быть реализован в пилотном образце универсального измерительного комплекса, разработанного по заказу ГК РОСАТОМ для контроля технического состояния и настройки ЭПА. Комплекс обладает лучшими техническими характеристиками по сравнению с действующим приборным парком. Измерительный комплекс (ИК) предназначен для регистрации и анализа токовых, виброакустических, ультразвуковых сигналов и сигналов напряжения при проведении диагностического обследования электроприводного оборудования (ЭПО).

Результат повышения чувствительности, продемонстрированный в работе, чрезвычайно актуален в условиях перехода АЭС Российской Федерации на 18-ти месячный топливный цикл.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Андропов*, *Е.В.* Повышение надежности эксплуатации АЭС на основе реализации принципа разнообразия / Е.В. Андропов, И.Р. Коган, В.П. Поваров, Л.П. Павлов // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. -2017. −№ 3. C. -33-44.
- 2. *Бакиров*, *М.Б.* Разработка и внедрение технологии оперативной диагностики повреждения ответственного оборудования как процедуры управления ресурсом АЭС / М.Б. Бакиров, В.П. Поваров // Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика. 2015. №1. С5-17.

# Method of Increasing the Sensitivity of Diagnosing Shut-Off Valves by Electrical Parameters

# O.A. Zadorozhnyuk<sup>1</sup>, E.A. Abidova<sup>2</sup>

Volgodonsk Engineering and Technology Institute - National Research Nuclear University "MEPhI",
Volgodonsk, Rostov region, Russia

<sup>1</sup>e-mail: fedotova09876@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: e-abidova@mail.ru

**Abstract** – Electric actuator fittings of nuclear power plants are a critical element of nuclear power plant equipment. During operation, reinforcement parts are subjected to various types of wear, which over time leads to the occurrence of various kinds of failures. Therefore, it is especially important to have timely repair of fittings. The strategy of the State Corporation Rosatom is aimed at the transition from maintenance according to the regulations to repair according to the actual state. This is achieved by the introduction of systems for technical diagnostics of the state of the valve without disassembling and dismantling.

*Keywords:* diagnostics of electric drive valves, sensitivity, diagnostic complex, method of principal components, method of increasing the sensitivity of electrical parameters to mechanical defects, repair according to the current state.