

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**Выпуск посвящен 20-летию
ОАО «Концерн Росэнергоатом!»**



**Научно-практический журнал
№ 1 (2) 2012 март**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 1 (2) 2012 МАРТ

Основан в ноябре 2011 г.
(Свидетельство о регистрации от 3 ноября 2011 г. ПИ № ФС77 – 47155)
Выходит 4 раза в год

Учредитель:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Национальный исследовательский ядерный университет
«Московский инженерно-технический институт»

Главный редактор:

М.Н. Стриханов, доктор физико-математических наук, профессор

Редакционная коллегия:

М.Н. Стриханов, (главный редактор, д.ф.-м.н., проф.),
Ю.И. Пимшин (заместитель главного редактора, д.т.н., проф.),
А.М. Агапов (д.т.н., проф.), А.В. Чернов (д.т.н., проф.),
В.А. Руденко (д.с.н., проф.), Ю.П. Муха (д.т.н., проф.),
В.В. Кривин (д.т.н., проф.), В.И. Ратушный (д.ф.-м.н., проф.),
Ю.С. Сысоев (д.т.н., проф.), А.В. Паламарчук (к.т.н.),
В.Е. Шукшунов (д.т.н., проф.), В.П. Поваров (к.ф.-м.н.),
Н.И. Лобковская (к.ф.н., доцент)

Ответственный секретарь:

Н.И. Лобковская (к.ф.н., доцент)

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ	5
А.А. Сальников <i>Ростовская АЭС: перспективы и задачи</i>	6
В.А. Руденко <i>Инициализация подготовки специалистов для обеспечения развития крупномасштабной безопасной ядерной энергетики</i>	10
ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	15
Е.Н. Бакаева, Н.А. Игнатова <i>Экологическая безопасность почв в зоне наблюдений Волгодонской АЭС по данным биотестирования</i>	16
Е.А. Бураева, Л.В. Зорина, В.П. Рогов, В.В. Стасов, Д.А. Скоржинский <i>Естественная радиоактивность приземного слоя воздуха г. Ростова-на-Дону</i>	22
Е.И. Шаврак, О.И. Горская, И.А. Генераленко, Д.С.Шаврак <i>Особенности формирования солевого состава водоема-охладителя Ростовской АЭС</i>	32
ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС	39
Волобуев Ю.С., Доронин А.Ю., Доронин Ю.В. <i>Оптимизация технологии односторонней сварки опытных образцов стали аустенитно-ферритного класса с использованием керамического флюса фкб-4</i>	40
А.П. Елохин, М.В. Жилина, Д.Ф. Рау <i>Метод расстановки постов АСКРО для двух и более энергоблоков АЭС</i>	53
О.А. Губеладзе, В.А. Москаев <i>Исследование теплового воздействия на корпус транспортно-упаковочного комплекта</i>	63
В.В. Кривин, М.Ю. Виниченко, В.А. Толстов <i>Математическая модель сварки неповоротных стыков труб для мультимедийного тренажёра сварщика</i>	71
ЭКСПЛУАТАЦИЯ АЭС	79
М.Б. Бакиров, В.А. Муранов, А.С. Киселев, В.Н. Медведев <i>Обоснование продления срока службы защитных оболочек АЭС с ВВЭР-1000</i>	80
К.Н. Проскуряков, К.С. Новиков, С.О. Беликов <i>Прогнозирование условий возникновения виброакустических резонансов в оборудовании первого контура РУ С ВВЭТ-1000</i>	91
С.А. Баран, И.А. Якубенко <i>Температурный режим работы электрогенератора ТВВ-1000-4УЗ на 104% мощности</i>	98
С.Л. Кужеков <i>О целесообразности совершенствования релейной защиты и диагностики электродвигателей напряжением свыше 1 кВ для собственных нужд АЭС</i>	101

П.В. Синельщиков, А.В. Чернов <i>Особенности использования методов анализа частотных составляющих токового сигнала ЭПА.</i>	109
М. Э. Пинчук, И.А. Якубенко <i>Резервы повышения эффективности технического обслуживания и ремонта атомных электростанций</i>	113
Е.А.Абидова, Ю.П. Муха, О.Ю. Пугачёва, А.В. Чернов <i>Снижение информационной неопределенности при диагностике электроприводной арматуры</i>	117
Н.О. Калинина, В.И. Нагай <i>Совершенствование систем электромагнитной блокировки коммутационных аппаратов на основе бесконтактных датчиков положения</i>	123
СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС	129
В.Т. Корниенко <i>Проблемы квалификации ядерного терроризма</i>	130
Н.И. Лобковская <i>Инновационные подходы в кадровой политике атомной отрасли: банк данных молодых специалистов вузовского центра карьеры</i>	135

ОТ РЕДАКЦИИ

Росэнергоатому - 20 лет! Все эти годы наш институт тесно связан с концерном. Сегодня ОАО «Концерн Росэнергоатом» объединяет все 10 отечественных атомных станций, из которых Ростовская АЭС является для нас базовым предприятием, надежным партнером.

Мы не случайно завели этот разговор о партнерстве. Сегодня уже мало получать материальную или какую-либо другую помощь от учредителя, а взамен поставлять ему кадры, требующие доучивая и дотягивания до специалиста атомного производства. На современном этапе ответ на вызов времени, связанный с развитием атомной отрасли, состоит в необходимости переключения интересов научно-технического сообщества на решение актуальных задач отрасли, в обеспечении притока талантливой молодежи и квалифицированных научно-технических кадров, в оптимизации возрастного состава работников предприятий, сохранении и передаче критических знаний. Фундаментальная наука должна обеспечивать создание научных и технологических основ для решения современных задач широкомасштабного инновационного развития атомной энергетики, гарантируя ее эффективность, безопасность и конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках.

То, что нас связывают именно такие отношения, подтверждает и VIII ежегодная научно – практическая конференция, посвященная глобальной безопасности ядерной энергетики, которая проходит в эти дни в Волгодонске. Еще два года назад на подобном мероприятии мы могли говорить только о безопасности вводимого в эксплуатацию очередного блока Ростовской атомной станции, сегодня будем обсуждать вопросы глобальной безопасности всех ядерных программ. Конференция приобрела статус международной, и на участие в ней пришли заявки из-за рубежа, из стран, где атомная энергетика переживает ренессанс. Проверенные временем безопасность и надежность российских атомных энергоблоков стали фундаментом для передовых достижений на глобальном рынке ядерных технологий.

Мы, выстраивая отношения с филиалом концерна Ростовской атомной станцией, всем сердцем «прорастая в ней», так же как и атомщики, понимаем, что подготовка квалифицированных кадров – залог безопасной, надежной и эффективной работы атомной энергетики.

Наш вуз уже может поделиться опытом!

В.А. Руденко,
руководитель ВИТИ НИЯУ МИФИ

РОСТОВСКАЯ АЭС: ПЕРСПЕКТИВЫ И ЗАДАЧИ

А.А. Сальников

<i>Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция»</i>	<i>Branch of JSC «Concern Rosenergoatom» «Rostov Nuclear Power Plant»</i>
--	---

В настоящее время Ростовская АЭС самая молодая из действующих российских АЭС. В декабре 2011 года станция отметила десятилетие с момента сдачи первого энергоблока в промышленную эксплуатацию. Первый энергоблок был пущен спустя 23 года с момента начала строительства, реактор – через 20 лет с того дня, как сошел с производственного конвейера. Второй энергоблок был принят в промышленную эксплуатацию в декабре 2010 г. С одной стороны, это предмет нашей гордости, с другой – специфика эксплуатации, модернизации и усовершенствования оборудования, длительное время находившегося в режиме консервации.

Впрочем, это не означает, что оборудование, обеспечивающее производство и безопасность технологических процессов морально или физически устарело. Мы эксплуатируем один из самых надежных и безопасных атомных реакторов – ВВЭР-1000.

Основные задачи Ростовской АЭС в 2012 г.:

1. Обеспечение безопасной и надежной эксплуатации оборудования и систем.
2. Подготовка к прохождению осенне-зимнего максимума нагрузок 2012-2013 гг.
3. Обеспечение годовой выработки электрической энергии в объеме, не менее 14,724 млрд. кВт.час.
4. Обеспечение КИУМ – не менее 84,63%.
5. Реализация решений по противоаварийным действиям в случае возникновения аномальных внешних событий природного и/или техногенного характера.

По блоку №1

1. Организовать работы в период текущего ремонта продолжительностью 6 суток с 05 по 10 мая и среднего ремонта для обеспечения плановой продолжительности не более – 40 суток (с 10 августа по 18 сентября).
2. Обеспечение годовой выработки электрической энергии в объеме, не менее 7,673 млрд. кВт.час.
3. Обеспечение КИУМ – не менее 87,35%.

По блоку №2

1. Организовать работы в период капитального ремонта для обеспечения плановой продолжительности не более – 60 суток (с 19 мая по 17 июля).
2. Обеспечение годовой выработки электрической энергии в объеме, не менее 7,051 млрд. кВт.час.
3. Обеспечение КИУМ – не менее 80,27%.
4. Проведение работ по повышению мощности до 104 % номинального уровня – выполнение соответствующих испытаний (июль - август 2012 г.) после получения разрешения от Ростехнадзора РФ. По результатам испытаний будет принято решение о возможности опытно-промышленной эксплуатации энергоблока №2 Ростовской АЭС в

течение 3-6 топливных кампаний (2012-2017г) на уровне мощности 104% от номинальной.

Новые ТВС. 18-месячная кампания

В последние годы весьма интенсивно разрабатываются и внедряются на АЭС новые, перспективные типы тепловыделяющих сборок (ТВС), в частности, ТВС-А, ТВС-2, ТВС-2М. Целью их разработки и внедрения является повышение надёжности эксплуатации и экономических характеристик энергоблоков. Новые ТВС позволяют достигать весьма высоких выгораний ядерного топлива, что повышает экономическую конкурентоспособность действующих энергоблоков и ядерной энергетики в целом.

Одновременно с внедрением новых ТВС на энергоблоках ВВЭР-1000 выполняется постепенный переход на 18-ти месячную топливную кампанию. Ее целью является увеличение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ), повышение энерговыработки на действующих энергоблоках и, как следствие, повышение производительности труда.

Внедрение ТВС-2М и переход на работу в 18-ти месячной топливной кампании требует решения комплекса проблем, связанных с хранением и вывозом отработавшего ядерного топлива (ОЯТ):

- обеспечение вывоза отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) с большой глубиной выгорания и высоким остаточным энерговыделением;
- необходимость обоснования и внесения в сертификат-разрешение на конструкцию упаковки и перевозку транспортных упаковочных комплектов с отработавшим ядерным топливом серийных реакторов ВВЭР-1000 изменений, допускающих перевозку ТВС-2М со средней глубиной выгорания топлива до 68,0 МВт*сут/кг U и обогащением до 5,0 %.

Кроме того, переход на 18-ти месячную топливную кампанию, а, следовательно, на 18-ти месячный межремонтный период входит в противоречие с некоторыми действующими нормами и правилами, которые, на наш взгляд, необходимо пересмотреть и привести в соответствие с требованиями сегодняшнего дня.

Модернизация

Атомный энергоблок является весьма сложным и совершенным техническим объектом, воплощением самой передовой технической мысли. Но время идёт, техника совершенствуется и для того, чтобы не отстать от современного уровня, даже самый совершенный механизм нуждается в постоянном улучшении и модернизации.

Основными целями модернизации на АЭС являются:

- обеспечение безопасной и устойчивой работы АЭС в соответствии с критериями и требованиями действующих норм и правил в области использования атомной энергии;
- продление эксплуатационного ресурса энергоблоков;
- увеличение производства электрической и тепловой энергии на энергоблоках АЭС;
- снижение эксплуатационных расходов в расчёте на выработанный киловатт-час;
- повышение надёжности и экономической эффективности АЭС для обеспечения их конкурентоспособности на федеральном рынке электроэнергии.

Основные направления модернизации Ростовской АЭС:

Техническая стратегия модернизации энергоблоков Ростовской АЭС формируется на основании Сводной долгосрочной программы производственно-технической деятельности ОАО «Концерн Росэнергоатом» и Комплексной долгосрочной программы-прогноза модернизации Ростовской АЭС.

Процесс модернизации на атомной станции - планомерный и постоянный. Он проходит не только в рамках планово-предупредительных ремонтов, но и в межремонтный период, и включает в себя замену оборудования на более совершенное, а также установку новых технологических систем, обеспечивающих еще более надежную, безопасную и экономически выгодную эксплуатацию атомной станции.

В ходе выполнения программы модернизации и продления работы энергоблоков на Ростовской АЭС в период 2002 – 2011 гг. выполнены несколько сотен мероприятий по замене и модернизации систем и оборудования.

В настоящее время на Ростовской АЭС реализуются следующие основные направления модернизации:

- Мероприятия для снижения последствий запроектных аварий на Ростовской АЭС (Фукусима-Дайичи);
- Мероприятия по замене медесодержащего теплообменного оборудования II контура;
- Модернизация электротехнического оборудования, включая замену воздушных выключателей ОРУ 220, 500 на элегазовые. Модернизация будет закончена в 2012 г.;
- Модернизация оборудования I контура с переходом на уплотнения из терморасширенного графита;

При реконструкции и модернизации необходимо применять, как правило, однотипное теплотехническое оборудование, электрооборудование, оборудование КИПиА и устройства РЗА, с учетом опыта его эксплуатации, а при конкурсном отборе приоритетным должны быть технические характеристики, надежность, а не их стоимость.

Подготовка специалистов

Наряду с блоками Ростовской АЭС в нашей стране строятся и сдаются новые промышленные объекты, кадровые службы которых уже сегодня объявляют «охоту» за толковыми головами. Речь, конечно, не идет о тотальном кадровом голоде. Но вопрос профессиональной подготовки персонала для атомной станции – не праздный.

Сейчас выпускник профильного вуза, отучившийся по атомной специальности пять лет, еще года на три садится за парту и за тренажеры учебного подразделения атомной станции. И только потом он может получить допуск для работы на БЩУ. Я не хочу сейчас говорить о качестве вузовского образования, но даже традиционно сильнейшие вузы не готовы сегодня дать студенту тот уровень подготовки, который необходим на таком специфическом предприятии, как АЭС. Я полагаю, проблема в том, что теория, как правило, не закрепляется в полной мере практикой – вузы территориально удалены от станций. К тому же программы подготовки, которые вполне удовлетворяли требованиям атомных станций лет 10-15 назад, сегодня требуют корректировки. На атомных станциях эксплуатируется оборудование нового поколения, применяются самые современные технологии.

Два года назад в Волгодонске открылся ВИТИ НИЯУ МИФИ. Подготовка высококвалифицированных специалистов непосредственно в городе обеспечит комплектование и закрепление, прежде всего, местных кадров на нашей АЭС. Начиная с первого курса, будущие атомщики, осваивая специфику профессии и нарабатывая опыт, занимаются в учебно-тренировочном подразделении атомной станции, проходят

практику на предприятии.

Более того, концерн «Росэнергоатом» выделяет средства на разработку программ для обучения студентов и создания на базе УТП Ростовской АЭС регионального центра по формированию кадрового потенциала для отрасли. Волгодонск должен стать крупным образовательно-производственным центром, ориентированным на кадровое обеспечение ядерно-энергетического, научно-технического комплекса и комплекса по обеспечению ядерной, радиационной и экологической безопасности не только атомных станций, но и отрасли в целом. Время покажет. Но мы, конечно, рассчитываем на свои местные кадры, подготовленные по самым высоким образовательным стандартам.

Ядерная энергетика в настоящее время является тем самым локомотивом, который тянет за собой многие смежные отрасли экономики. Базовым вопросом для самой атомной энергетики есть и будет вопрос обеспечения безопасной эксплуатации АЭС. Это неоспоримый приоритет, который определяет главное направление нашего движения.

Сальников Андрей Александрович – заместитель Генерального директора - директор филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция».
E-mail: admin@rosnpp.org.ru

SalnikovAndrey A. – deputy General Director - Director of the branch of JSC «Concern Rosenergoatom» «Rostov nuclear power plant».
E-mail: admin@rosnpp.org.ru

ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗВИТИЯ КРУПНОМАСШТАБНОЙ БЕЗОПАСНОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В.А. Руденко

<i>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»</i>	<i>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»</i>
---	--

Государство, сформулировав задачу развития ядерного комплекса страны, принимает необходимые меры по кадровому обеспечению атомной отрасли. Ежегодный ввод в эксплуатацию двух энергоблоков атомных электростанций до 2020г. требует тщательного анализа вопросов кадровой политики. Для закрепления амбициозных позиций России на мировом рынке ядерных технологий и услуг потребуются огромное число новых специалистов, а поэтому подготовка кадров для атомного энергопромышленного комплекса России и за рубежом выдвигается на первый план.

Научно-педагогическое сообщество отмечает, что решить проблему развития атомного образования возможно путем интеграции образовательных учреждений, научно-исследовательских институтов и объектов ядерной промышленности. При этом взаимодействие отраслевых предприятий с вузами является важнейшим принципом в организации практико-ориентированного обучения и, как следствие, обеспечения повышения качества подготовки выпускников профильных для атомной отрасли специальностей.

Для решения этой задачи был создан Национальный ядерный исследовательский университет «МИФИ», путем присоединения находящихся в регионах России учреждений высшего и среднего профессионального образования, осуществляющих подготовку кадров для атомной отрасли. Университет представляет собой систему структурных подразделений (филиалов), расположенных в регионах местонахождения атомных объектов. Необходимо подчеркнуть, что филиалы НИЯУ МИФИ являются равноценными партнерами головного университета, которые обеспечивают его региональную устойчивость.

Один из 10 вузов НИЯУ МИФИ создан в г.Волгодонске Южного федерального округа в 2009 году – Волгодонский инженерно-технический институт НИЯУ МИФИ. Вузу предстоит решать задачи, связанные с подготовкой специалистов для атомной отрасли, поскольку Ростовская АЭС, находящаяся в этом же городе, является важным звеном в реализации Государственной программы развития атомной отрасли РФ, где эксплуатируются первый и второй блоки, ведутся пусконаладочные работы на третьем энергоблоке, начато строительство четвертого, планируется строительство еще двух блоков, для которых требуются подготовленные кадры. Таким образом, в регионе формируется научно-образовательный, производственный кластер, обеспечивающий проведение научных исследований, подготовку и переподготовку кадров для атомной отрасли и появляется возможность реализовать непрерывную подготовку специалистов для ядерно-энергетического комплекса, включающую следующие уровни: среднее профессиональное образование, высшее и послевузовское профессиональное

образование, так как в структуру института включен «Волгодонский политехнический техникум».

Миссия ВИТИ НИЯУ МИФИ основывается на модернизации образовательного процесса, обеспечивающей совершенствование содержания и структуры подготовки специалистов в соответствии с возросшими потребностями атомной отрасли, обеспечении качественной опережающей подготовки специалистов для АЭС, минимизации сроков адаптации выпускников вуза на предприятиях за счет многоуровневой подготовки специалистов, и обеспечении интеграции науки, производства и образования.

Целевой функцией ВИТИ НИЯУ МИФИ является подготовка специалистов по одному из пяти приоритетных направлений программы стратегического развития НИЯУ МИФИ - ядерно-инжиниринговому блоку (инжиниринг в ядерной энергетике, энергетическое машиностроение и строительство АЭС).

Среди предприятий, расположенных в Волгодонске, непосредственно в госкорпорацию «Росатом» и концерн «Росэнергоатом» входят Ростовская АЭС и Волгодонский филиал ОАО «Атомэнергoproject», а также ряд акционерных обществ, выпускающих изделия для атомной энергетики (ОАО «Атоммашэкспорт», ООО «Энергомаш (Волгодонск) Атоммаш», ОАО «Полесье»), на которых востребованы выпускники ВИТИ НИЯУ МИФИ.

Непосредственно на Ростовскую АЭС до 2011г. трудоустраивалось ежегодно 15-20 выпускников института. В связи с пуском 3-го энергоблока Ростовской АЭС в 2012 году на АЭС требуется 250 специалистов ВПО, а в дальнейшем ежегодно 50-80 выпускников ВИТИ по специальностям: 140404.65 «Атомные электрические станции и установки», 140101.65 «Тепловые электрические станции», 140204.65 «Электрические станции», 140502.65 «Котло- и реакторостроение», 220301.65 «Автоматизация технологических процессов и производств», 230201.65 «Информационные системы и технологии». Наибольшая потребность на АЭС в выпускниках специальности 140404.65 «Атомные электрические станции и установки», первый выпуск которой в ВИТИ состоится в декабре 2014года.

В настоящий момент ВИТИ НИЯУ МИФИ может полностью удовлетворить потребность Ростовской АЭС в выпускниках ВПО по 5 специальностям, а с 2015 года и по специальности 140404.65 «Атомные электрические станции и установки».

В институте также ведется подготовка по программам СПО по специальности 140404.51 «Атомные электрические станции и установки» и потребность Ростовской АЭС удовлетворяется специалистами по ремонту оборудования АЭС (цех централизованного ремонта).

В мае 2011г. было подписано рамочное соглашение о сотрудничестве между ОАО «Атомэнергомаш» и НИЯУ МИФИ, в соответствии с которым на ряд структурных подразделений НИЯУ МИФИ возложена задача по подготовке квалифицированных кадров для ЗАО «Петрозаводскмаш», являющегося структурным подразделением ОАО «Атомэнергомаш». Одним из четырех структурных подразделений, на которые возлагается подготовка и переподготовка кадров для ЗАО «Петрозаводскмаш», определен ВИТИ НИЯУ МИФИ.

В 2012 году поступила заявка ЗАО «Петрозаводскмаш» на выпускников ВИТИ НИЯУ МИФИ специальностей 140502.65 «Котло- и реакторостроение», 150202.65 «Оборудование и технология сварочного производства», 151001.65 «Технология машиностроения».

Проведенные реорганизационные мероприятия позволяют решать возросшие кадровые потребности атомной отрасли за счет модернизации многоуровневого

(рабочий - техник – бакалавр – инженер-магистр) профессионального образования на основе слияния Волгодонского инженерно-технического института с Волгодонским политехническим техникумом НИЯУ МИФИ и интеграцией с РоАЭС в единый практико-ориентированный образовательный центр по подготовке высококвалифицированных специалистов с учетом требований отрасли.

Достижение целей, поставленных перед Волгодонским инженерно-техническим институтом, обеспечивается путем выполнения мероприятий Программы создания и развития НИЯУ МИФИ по основным видам деятельности и взаимодействия с предприятиями атомной отрасли. В этой связи нами были поставлены и решены следующие задачи:

- для качественного обучения студентов в полном объеме используется опыт в подготовке и переподготовке кадров, учебно-методические материалы учебно-тренировочного подразделения (УТИ) РоАЭС, включая полномасштабные тренажеры БШУ АЭС;

- осуществление интегрированного подхода к проведению практик на действующих и строящихся энергоблоках, а также предприятиях, выпускающих оборудование для АЭС, что способствует глубокой профессиональной ориентации студентов и закреплению их на базовых предприятиях;

- обеспечение потребности в инженерных кадрах Ростовской АЭС: в 2011г. 17 выпускников трудоустроены на атомную станцию, а в 2012 планируется трудоустройство 85 человек;

- привлечение ведущих специалистов АЭС для преподавания в вузе;
- прохождение преподавателями филиала стажировки на АЭС, что обеспечивает их профессиональный рост и позволяет им знакомиться с задачами, техникой и технологией строительства и эксплуатацией АЭС, а также способствует расширению тематики научно-исследовательских работ;

- создание студенческих строительных отрядов на строящихся блоках АЭС;
- создание научно-исследовательского подразделения, которое получило все необходимые лицензионные документы для работы на объектах атомной отрасли и выполняет значительные объемы хоздоговорных работ на объектах атомной энергетики;

- ежегодное проведение региональной научно-практической конференции на тему «Безопасность эксплуатации АЭС»;

- издание научно-практического журнала: «Глобальная ядерная безопасность».

Современный образовательный процесс в ВИТИ строится на основе сочетания достижений педагогических и информационных технологий. Для повышения качества подготовки кадров атомной отрасли используются в учебном процессе преподавателями электронные образовательные ресурсы, такие как презентации, видеолекции, видеоконференции, электронные учебники, мультимедиа курсы, компьютерные модели, образовательные порталы, образовательные ресурсы удаленного доступа и другие. Каждый тип электронных образовательных ресурсов в образовательном процессе ВИТИ решает ограниченный круг специфических задач, но их использование в сочетании с традиционными педагогическими технологиями обеспечивает повышение эффективности взаимодействия преподавателя и студента, новое качество образовательной среды вуза, новые возможности конкурентоспособности специалистов в отрасли.

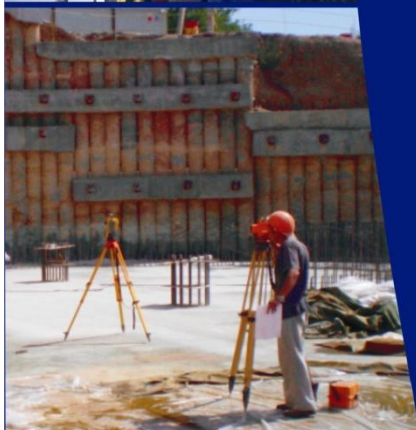
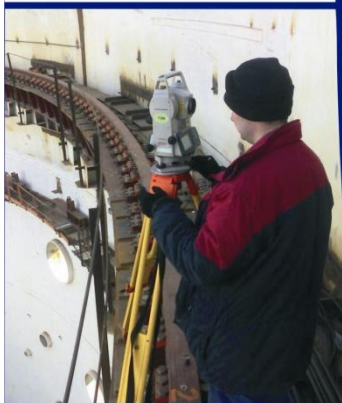
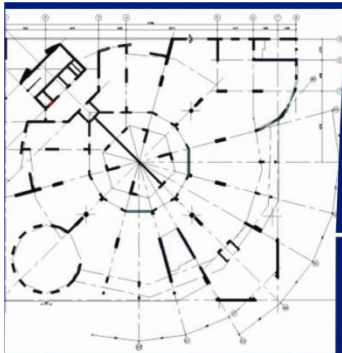
Повышение качества образования в вузах НИЯУ МИФИ обеспечивается за счет создания единого образовательного пространства. Для студентов разрабатываются индивидуальные траектории обучения, предоставляется возможность проходить

практику и глубже изучать деятельность предприятий, на которых планируют продолжить свою работу.

Именно кадры являются определяющим звеном безопасной эксплуатации, и поэтому инициализация на правительственном уровне программы подготовки кадров путем создания ядерного университета обеспечит привлечение лучших кадров страны на высокотехнологичное производство, которым является ядерная энергетика.

Руденко Валентина Анатольевна – доктор социологических наук, профессор, руководитель, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».
E-mail:VARudenko@mephi.ru

RudenkoValentina A. – Doctor of Sociology, full professor, the head of Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI».E-mail:VARudenko@mephi.ru



Общество с ограниченной ответственностью
Научно-производственная фирма

«ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ»

- разработка проекта производства геодезических работ (ППГР) на строящиеся блоки атомных электростанции;
- геодезическое обеспечение обследования зданий и сооружений АЭС;
- геодезическое сопровождение строительных процессов при возведении блоков АЭС;
- геодезическое обеспечение монтажа технологического оборудования АЭС;
- диагностика технического состояния оборудования и эксплуатация блоков АЭС.

ИНЖЕНЕРНАЯ  ГЕОДЕЗИЯ

344041, г. Ростов-на-Дону, ул. Мадояна, 60, оф 4
Тел.: (863) 248-09-89 Факс: (863) 236-12-70
[www. geo-rostov.ru](http://www.geo-rostov.ru) geodez@real36.com

**Г
Л
О
Б
А
Л
Ь
Н
А
Я**

**Я
Д
Е
Р
Н
А
Я**

**Б
Е
З
О
П
А
С
Н
О
С
Т
Ь**

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 504.53.054:620 (470.61)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЧВ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЙ РОСТОВСКОЙ АЭС ПО ДАННЫМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

Е.Н. Бакаева, Н.А. Игнатова

<i>Южный отдел Института водных проблем РАН, Гидрохимический институт</i>	<i>Southern division of the Institute of Water Problems of Russian Academy of Sciences, Hydrochemical institute</i>
---	---

Методом биотестирования проведен анализ токсичности проб верхнего слоя почв пяти участков в зоне наблюдений Ростовской АЭС и почв почвенного профиля контрольного участка. Необработанные почвы и их водные вытяжки по результатам биотестирования оказывали угнетающие действие на развитие и размножение четырех тест-объектов. Токсичность почв, вероятно, связана с повышенной солонцеватостью почв, хозяйственной деятельностью человека.

Ключевые слова: токсичность, тест-объект, биотестирование, почвы, экологическая безопасность.

The toxicity analysis of topsoil samples from five areas in the zone of observation of Rostov nuclear power plant and soil of the controlled plot, is done with the help of biotesting method. According to the results of this biotest uncultivated soils and their water extracts had a depressing effect on the development and reproduction of four test-objects. The soils toxicity is probably due to the high alkalinity of soils and human economical activity.

Keywords: toxicity, test-object, biotesting, soils, ecological safety.

Существующая на сегодня система экологической безопасности в Российской Федерации, как составляющая национальной безопасности, представляет собой совокупность законодательных, медицинских и биологических мероприятий, направленных на поддержание равновесия между биосферой и, как естественными внешними нагрузками, так, и в первую очередь, все возрастающими по прессу и разнообразию антропогенными нагрузками.

В целом экологическая безопасность – это процесс обеспечения защищенности жизненно важных интересов личности, общества, природы, государства и всего человечества от реальных или потенциальных угроз, создаваемых антропогенным или естественным воздействием на окружающую среду.

Объектами экологической безопасности являются природные ресурсы и природная среда наравне с правами, материальными и духовными потребностями личности, материальной основой государственного и общественного развития. Наиболее значимыми объектами биосферы, определяющими функции всего живого, являются почвы. Радиоактивность – естественный фактор в биосфере для всех живых организмов. И, в тоже время, среди биосферных объектов почвы обладают наиболее высокой естественной степенью радиоактивности. Кроме того, почва (педосфера) – один из основных компонентов биосферы, где происходит локализация искусственных радионуклидов, сбрасываемых в окружающую среду вследствие техногенной деятельности человека. Особенностью радиоактивных загрязнителей является то, что

они, обычно, не изменяют плодородия почв, но накапливаются в урожае. Распределение по почвенному профилю антропогенных радионуклидов зависит от ряда причин, в том числе типа почв.

Экологические последствия радиоактивного загрязнения почв опасны тем, что включаясь в биологический круговорот, радионуклиды через растительную и животную пищу попадают в организм человека и, накапливаясь в нем, вызывают радиоактивное облучение. В экологическом отношении наибольшую опасность представляют ^{90}Sr и ^{137}Cs .

Система экологической безопасности включает три блока: комплексную экологическую оценку территории, экологический мониторинг и управленческие решения. Первые два блока первоначально опирались только на строго количественные аналитические методы. Однако, значения концентраций ограниченного числа определяемых веществ из массы, содержащихся в окружающей среде, не дают экологического осмысления воздействия токсикантов на окружающую среду. Реальную оценку воздействия загрязняющих веществ может дать только биота, поэтому, позднее, более активно стали применяться качественные (или полуколичественные) биологические методы, способствующие получению адекватного ответа биоты, попадающей под воздействие внешних естественных и антропогенных факторов.

Среди биологических методов обеспечения экологической безопасности большое значение в последнее время приобретает биотестирование. Биотестирование направлено на оценку суммарного токсического действия всего комплекса загрязняющих веществ, содержащихся в среде, с помощью тест-объектов. Биотестирование предполагает использование в контролируемых условиях биологических тест-объектов для выявления и оценки действия факторов окружающей среды (в том числе и токсических) на организм, его отдельную функцию или систему организмов.

Материал и методы исследования

Методом биотестирования проведен анализ токсичности проб верхнего слоя почв пяти участков в зоне наблюдений Волгодонской АЭС и почв почвенного профиля контрольного участка КУ-12.

Пробы почв отобраны в ходе комплексных исследований по изучению экологического состояния окружающей природной среды в районе Ростовской АЭС совместно с лабораторией ядерной физики при Южном Федеральном Университете в 2008–2009 годах. Отбор проб проведен на 5 участках: т.1 – контрольный участок 201, т.2 – мусоросжигательный завод (дорога в 2 км), т.3 – 3 км от ст. Подгоринская, т.4 – 30 км зона ст. Жуковская (рядом с заправкой), т.5 – контроль (садовая земля). Исследовали верхний слой (0–5 см) почвы, который представлял собой однородные мелкодисперсные частицы.

Кроме того, оценивали токсичность проб почвенного профиля контрольного участка 12. КУ-12 относится к водораздельным участкам II Центрального (южного) ландшафтно-геохимического района и расположен на целинных землях: профиль – промывной, почва – лугово-каштановая, солонцеватая, тяжело-суглинистая, растительность – полынь, типчак, мятлик, донник.

Проводили биотестирование неизмененных почв и их водных вытяжек. Для оценки токсичности неизмененных почв применяли биотест на фитотоксичность (фитотест) на семенах редиса *Raphanussativus* [1], его ростковый и корневой тесты, и биотест с использованием личинок хирономид *Chironomusplumosus*. [2]

В качестве тест-объектов для водной вытяжки использовали тест-объекты двух

трофических уровней: автотрофных и гетеротрофных организмов. Из автотрофов использовали культуру зеленых микроводорослей *Scenedesmusobliquus*, из гетеротрофов – общепринятый тест-объект *Daphniamagna* [3] в остром опыте и коловраток *Brachionuscalyciflorus* [4] в остром и хроническом опытах. Тест-показателями служили коэффициент прироста микроводорослей, гибель олигохет и дафний, гибель и плодовитость коловраток, процент выклева семян, длина ростков и корней редиса.

Водные вытяжки получали следующим образом. Навески почвы в соотношении 1:10 с профильтрованной водой экстрагировали на встряхивателе в течение 1 часа. Полученную водную вытяжку отстаивали в течение 1 суток. После чего медленно, не взмучивая осадок, полученную вытяжку пропускали сифоном через газ № 76–78 с целью отделения мельчайших частиц взвеси.

Все эксперименты проводили в трехкратной повторности. Степень токсичности оценивали по отклонению (%) тест-показателей в опытных сериях от контрольных. Контроль для почв – садовая земля по горизонтам, для водных вытяжек – водная вытяжка почв дехлорированной водопроводной водой. Общее токсическое действие почв оценивали по показателю тест-объекта, проявившему наибольшую чувствительность.

Результаты и обсуждение исследований

Поверхностный слой почв. Результаты биотестирования почв с использованием тест-объектов различной систематической принадлежности и трофического уровня показали близкие результаты.

Так, в эксперименте с тест-объектом *Scenedesmusobliquus* негативное действие почв в опытных вариантах (т.1, 2, 3) проявилось на четвертые сутки: процент отклонения от контроля составил от 40 до 50%, что позволило оценить водные вытяжки этих участков, как оказывающие острое токсическое действие. Водные вытяжки почв участка т. 4 (ст. Жуковская) не оказывали токсического действия, поскольку процент отклонения от контроля коэффициента прироста микроводорослей составил в этой пробе не более 10% (рис.1).

Эксперименты с тест-объектом *Chironomusplumosus* показали аналогичный результат. Гибель хирономид была зафиксирована на третьи сутки эксперимента и составила от 20 до 40% (рис.2). На четвертые сутки гибель животных продолжилась. На шестые сутки гибель животных возросла и составила от 40 до 70%. Таким образом, только одна проба (т.4) у ст. Жуковская не оказывала токсического действия.

Результаты биоанализа почв по фитотоксичности также показали наличие острого токсического действия во всех пробах, кроме (т.4) у станицы Жуковская (таблица 1). Чувствительность проявили все используемые тест-показатели (выклев семян, длина ростков, длина корней).

Таблица 1 – Результаты биотестирования проб почв в районе Ростовской АЭС по данным фитотоксичности по трем показателям *Raphanussativus*

№№ участка	Выклев, %	Длина ростков, откл. от К. %	Длина корней, откл. от К, %	Токсическое действие
1	2	3	4	5
т. 1	70	93,8	34,8	ОТД
т. 2	35	–71,3	21,1	ОТД

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
т. 3	45	78,6	60,2	ОТД
т. 4	70	24,2	– 6,5	Нет ОТД
ОТД – острое токсическое действие				

Таким образом, анализ результатов оценки токсичности почв по трем биотестам показал наличие острого токсического действия на следующих участках: т. 1 – контрольный участок 201, т. 2 – мусоросжигательный завод (дорога в 2 км), т.3 – 3 км от ст. Подгоринская. Следует отметить, что среди этих токсичных проб наиболее негативные значения показателей всех тест-объектов отмечены на участке у мусоросжигательного завода и ст. Подгоринской. Токсичность указанных участков, вероятно, связана с хозяйственной деятельностью и близостью дорог.

Почвенный профиль. Естественные радиоактивные элементы распределяются по профилю почв обычно относительно равномерно, но в некоторых случаях они аккумулируются в иллювиальных и глеевых горизонтах. В почвах и породах присутствуют преимущественно в прочносвязанной форме. Тип профилей ^{137}Cs на КУ 12 относится к промывному типу профилей [5] и отличается относительно невысокой или очень низкой величиной $A(h)$ у поверхности (до 40 Бк/кг), глубоким проникновением ^{137}Cs (до 45см). Относительные запасы в слоях 0–15см и 15–45см часто соизмеримы или больше на большей глубине. Структура профилей очень разнообразна по годам. Так, в большинстве профилей по данным Давыдова М.Г. и Бураевой Е.А. (кроме 2004, 2007, 2008 гг.) нет максимума у поверхности, и есть на большой глубине. [5]

Вертикальное распределение ^{137}Cs на данном участке определяется различными причинами: вымыванием мелкозема после засухи по трещинам во время летних ливней, различной степенью солонцеватости переходного горизонта, значительным развитием микрорельефа, обеспечивающим перераспределение выпавших осадков и др. Поэтому важным является, наряду с изучением распределения ^{137}Cs по профилю почв, изучение токсичности этих же слоев почвенного профиля.

Профили почв формируются в результате особых механизмов переноса ^{137}Cs по почвенному профилю, специфичных для сухого климата и существенного влияния влаги через процессы инфильтрации и кольматажа. В любом случае скорость переноса ^{137}Cs увеличивается, особенно резко при кольматаже – после длительного сухого периода почва механически разрушается и при коротких обильных последующих осадках ^{137}Cs может быстро проникнуть на значительную глубину. При этом может быть преодолен и естественный барьер для ^{137}Cs – солонцеватый горизонт при 15–20 см. В обычных условиях из-за незначительной плотности и низкой водонепроницаемости при наличии ионов Na в этом горизонте имеет место ускоренная сорбция ^{137}Cs . Наличие максимума в удельной активности A_i Бк/кг $A(h)$ и запасах P_i Бк/м² $P(h)$ на этих глубинах может быть связано с солонцеватостью. [5]

В сухом климате влияние влаги (атмосферной или грунтовой) может проявиться в виде транспирации – переноса ^{137}Cs к поверхности с влагой, испаряющейся с поверхности почвы. Для рассматриваемого района характерно и наличие смытых почв.

Биотест по фитотоксичности с использованием трех тест-показателей свидетельствует об угнетающем действии на выклев семян (рис.3). Отклонение от контроля составило от –30 до –70%. На горизонте 15–20 см выклева семян не было. Верхние горизонты почвы оказывали небольшое стимулирующее действие на развитие ростков редиса, нижние горизонты с 10–15 см – угнетающее действие. Полностью

непригодны для семян редиса оказались пробы почвы горизонта 15–20 см. По данным трех тест-показателей фитотеста действие почв можно оценить, как острое токсическое.

Результаты биотестирования на двух тест-объектах (*Dahniamagna*, *Brachionus calyciflorus*) свидетельствуют о негативном действии водных вытяжек почв на тест-показатель «выживаемость» (рис.4). Однако, наиболее важным для прогноза развития популяции из используемых тест-показателей является плодовитость. Короткоциклические виды, такие как коловратки, позволяют за небольшой промежуток времени (четыре суток) проследить смену 3–4 поколений.

Результаты биотестирования водных вытяжек почв по плодовитости выживших коловраток также свидетельствуют о негативном воздействии почв, что проявлялось в снижении плодовитости и абортации яиц.

Возрастание токсичности почв с глубиной можно объяснить, во-первых, повышением солонцеватости почв с горизонта 15–20 см, во-вторых, одинаково сухое жаркое лето с короткими ливневыми дождями в 2006 – 2008 годах могло способствовать проникновению загрязняющих веществ с поверхности в более глубокие слои почв с дождевым смывом.

Данные биотестирования дают адекватную картину общего воздействия всего комплекса абиотических и биотических факторов среды на биоту. [6] Анализ результатов биотестирования почв в зоне наблюдений Волгоградской АЭС позволяет сделать следующие выводы:

- токсичность поверхностного слоя почв связана с работой мусоросжигательного завода и близостью автомобильных дорог;
- перераспределение содержания ^{137}Cs по профилям промывного типа [5] и увеличение токсического воздействия почв на биоту с глубиной профилей связано с особенностями почв и климата: солонцеватым барьером почвенных горизонтов и сухими жаркими летними сезонами, способствующими естественному кольматации;
- выявленная токсичность почв в районе Ростовской АЭС экологически безопасна и не связана с радиоактивным загрязнением, а отображает реакцию биоты на воздействие всех внешних факторов, в том числе хозяйственно-бытовой деятельностью человека.

Литература

1. СанПиН 2.1.7.573–96 Санитарная охрана почвы гигиенические требования к использованию сточных вод. Утв. Постановлением № 46 Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.96.
2. Р 52.24.635–2002 Методические указания. Проведение наблюдений за токсическим загрязнением донных отложений в пресноводных экосистемах на основе биотестирования. СПб., 2002. 32 с.
3. Р 56.24.566–94 Методы токсикологической оценки загрязнения пресноводных экосистем. М., 1994. 130 с.
4. Р 52.24.662 –2004 Оценка токсического загрязнения природных вод и донных отложений пресноводных экосистем методами биотестирования с использованием коловраток. М., 2006. 60 с.
5. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Рахманов И.Б., Малаева Т.Ю., Сушкевич Л.В., Тимонина Ю.А. Вертикальное распределение ^{137}Cs в почвах и донных отложениях Цимлянского водохранилища в районе расположения РоАЭС. // В сб. научных трудов научно-технической конференции «Научно-инновационное сотрудничество». 2002. Т. 2. С. 132–133.

6. Бакаева Е.Н., Никаноров А.М. Гидробионты в оценке качества вод. М., 2006. 234 с.

Бакаева Елена Николаевна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Южный отдел Института водных проблем РАН, Гидрохимический институт.

Игнатова Надежда Анатольевна – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник.

Bakaeva Elena N. – Doctor of Biological science, senior staff scientist, Southern division of the Institute of Water Problems of Russian Academy of Sciences, Hydrochemical institute. E-mail: rotaria@mail.ru

IgnatovaNadezhda A. – candidate of Biological science, junior scientist.

E-mail: ignatse@yandex.ru

УДК 551.510.71, 551.510.72

ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА г. РОСТОВА-НА-ДОНУ

Е.А. Бураева, Л.В. Зорина, В.П. Рогов, В.В. Стасов, Д.А. Скоржинский

<i>Научно-исследовательский институт физики, Южный федеральный университет</i>	Scientific-Research Institute of Physics, Southern Federal University
--	--

В рамках мониторинга радиоактивности приземного слоя атмосферы в г. Ростове-на-Дону (в период 2002-2008) определялось содержание естественных радионуклидов в аэрозолях (1 раз в неделю) и осадках (1 раз в месяц).

Получены данные о корреляционных связях объемной активности (ОА) ^7Be в аэрозолях с числами Вольфа, с температурой и количеством выпавших осадков. Получены данные о сезонной зависимости плотности выпадений естественных радионуклидов и зависимости ОА от метеопараметров (температуры, количества осадков).

Ключевые слова: Радионуклиды, приземный слой воздуха, естественная радиоактивность, умеренные широты, осадки, температура, корреляция, атмосферные аэрозоли

The content of natural radionuclides in the aerosols (once a week) and atmosphere deposits (once a month) within the framework of monitoring a radio-activity of a ground layer of atmosphere in Rostov-on-Don was determined (during the period 2002-2008).

Information about correlation's connections between content ^7Be in aerosols and Wolf's numbers, temperature and rainfall volume was received. The data about seasonal dependence of content and volume of natural radionuclides on meteoroparameters (temperature, rainfall) was received.

Keywords: radionuclides, the surface layer of air, natural radioactivity, the moderate latitudes, precipitation, temperature, correlation, atmospheric aerosols.

Особую роль в радиоактивности атмосферы играет приземный слой воздуха, в котором содержатся радионуклиды как космогенного, так и земного происхождения, а также находятся основные источники техногенного радиоактивного загрязнения и проходят многие процессы переноса радионуклидов и поступления их на земную поверхность, в водные экосистемы, в живые организмы, в том числе и в человека. В приземном воздухе расположены практически все пункты контроля за радиоактивностью атмосферы. Определение объемных активностей радионуклидов и их временных вариаций позволяют решать проблемы радиоэкологии и ядерной метеорологии.

В радиоэкологии этот контроль необходим для выявления источников и масштабов воздействия ядерных взрывов, крупных радиационных аварий, работы предприятий ядерного топливного цикла и предприятий, добывающих и перерабатывающих минеральное и органическое сырьё. [1]

Радиоэкологическое состояние города должно быть предметом особого внимания исследователей: во-первых, в силу значительной техногенной нагрузки на экосистемы; во-вторых, более 70% населения развитых стран проживают в городских условиях. Тем

не менее, вплоть до аварии ЧАЭС проблемы радиоэкологии города практически не исследовались, и только после этого внимание к ним резко возросло, правда, только в отношении процессов, связанных с искусственными радионуклидами. [2]

Однако, не следует забывать, что и в обычных условиях в городах достаточно много источников поступления в экосистемы естественных радионуклидов (ЕРН) (космогенных – из верхних слоев атмосферы; радона, торона и их дочерних продуктов распада (ДПР) – с земной поверхности; ЕРН – с ветровым подъемом и с газоаэрозольными выбросами промышленных объектов и автотранспорта).

Очевидно, при данном состоянии проблемы радиоактивного загрязнения городов необходимо изучать приземный слой атмосферы города в целом, не учитывая различные источники радиоактивного загрязнения атмосферы города.

Климатические условия и экологическое состояние г. Ростова-на-Дону

Город Ростов-на-Дону (47° 14'с.ш; 39° 42'в.д) расположен на юго-востоке Восточно-Европейской равнины, в основном на правом берегу реки Дон, в 46 км от её впадения в Азовское море. Юго-западные окраины города примыкают к дельте реки Дон (донским гирлам). [3]

По климатическим условиям Ростовская область относится к дискомфортным территориям с высоким индексом патогенности [4], обусловленным как температурными условиями, так и особым ветровым режимом из-за наличия воздушного коридора по Кумско-Манычской впадине.

В степной зоне Ростовской области среднегодовая температура 8,2°C, а относительная влажность 72% [4,5]. В теплый период (апрель-октябрь) средняя температура +16,2 °C [5]. (14 °C [4]), а влажность 63%, причем в самый теплый месяц (июль) температура 23,1 °C. В холодный период (ноябрь-март), соответственно, средняя температура -3,0 °C (-4,6 °C), а влажность 85%, причем в самый холодный месяц (январь) температура -6,5 °C.

На площади ~350 км² крупнейшего на Юге России населенного пункта и промышленного центра – г. Ростова-на-Дону с населением более 1 миллиона человек (при высокой плотности ~2900 чел/км²) сосредоточено множество предприятий топливно-энергетического комплекса, машиностроения, металлообработки, химической и пищевой промышленности. [6] Город является крупным транспортным узлом. Доля выбросов от автотранспорта (от так называемых линейных источников) составляет ~94% общих выбросов при долях выбросов от промышленных предприятий ~4% и объектов энергетики ~2%. [7]

По твердой фазе атмосферных выпадений максимальные значения имеют место на расстоянии до 50-100 м от автодорог (причем ширина полосы загрязнений зависит от интенсивности движения). Наибольшие загрязнения наблюдаются в центре города (в 5-10 раз выше, чем в районах, прилегающих к реке). [6] По газовым выбросам зона влияния транспорта заметно шире.

Загрязнение воздушного бассейна города может снижаться за счет естественных аэрозолей при наличии «аэродинамического коридора» вдоль водоема, что создает предпосылки для хорошего самоочищения атмосферы. [8]

Содержание и поведение космогенного ⁷Be в г. Ростове-на-Дону

⁷Be дает вклад в хроническую дозу облучения человека, и для оценки этого вклада необходим контроль его содержания в атмосферных аэрозолях и осадках. Поскольку ⁷Be является радионуклидом космогенного происхождения, он может служить монитором [9,10 и др.] при контроле других радионуклидов в атмосфере, которые поступают в нее с земной поверхности.

В работе представлены результаты анализа данных по содержанию ⁷Be в

приземном слое воздуха г. Ростова-на-Дону, полученных в период 2002-2008 гг. [11] Продолжительность контроля недостаточна для выявления обратной связи объемной активности (ОА) ^7Be в аэрозолях с солнечной активностью (числами Вольфа), как это сделано YoshiYshikawa. [10]. Общая картина связи этих величин показана на рисунке 1.

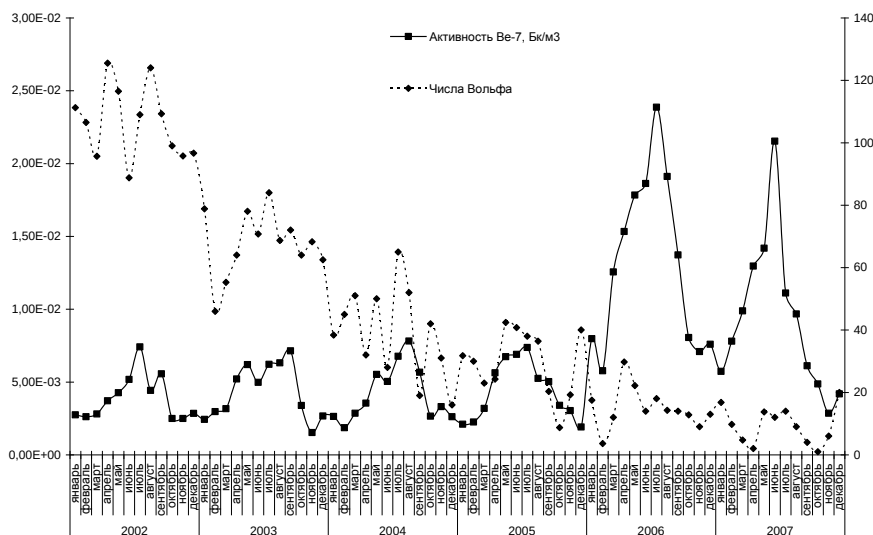


Рисунок 1 - Корреляция ОА ^7Be в аэрозолях с числами Вольфа за период 2002-2007 гг. [10,11]

Также удалось установить тренд изменений ОА ^7Be для второй половины 23-го цикла солнечной активности – возрастание ее среднегодовых значений к концу цикла (табл. 1).

Таблица 1 - ОА ^7Be , усредненная по сезонам за период 2002-2008 гг.

Год	ОА ^7Be , мБк/м³				max/min	ОА среднее, мБк/м³	W ср.
	зима	весна	лето	осень			
2002	4,43	3,66	5,07	2,33	2,29	3,82	107,0
2003	2,01	3,12	5,83	4,02	2,94	3,7	84,8
2004	2,34	3,89	6,43	3,97	2,71	4,15	68,9
2005	3,32	5,72	6,41	3,38	1,92	5,27	54,0
2006	3,04	7,78	9,97	5,05	3,31	6,89	15,2
2007	3,71	6,48	8,96	4,61	3,38	5,95	9,4
2008	3,46	7,15	9,09	5,19	3,36	6,24	8,2
2002-2008	3,19	5,40	7,39	4,08	2,84	5,02	49,7

Достаточно четко фиксируется известный для различных широт и климатических условий сезонный ход ^7Be в аэрозолях, связанный с весенней перестройкой атмосферы (табл. 1 и рис. 2). Сезонный ход подтвержден также Фурье-анализом всей совокупности данных за 7 лет – первая доминирующая гармоника имеет период 52 недели. [11]

Весенне-летний максимум ОА ^7Be в аэрозолях наблюдаются как ежегодно (табл. 2), так и в среднем за последние 7 лет (рис. 2). Средние за 7 лет ОА ^7Be в аэрозолях г. Ростова-на-Дону ~ 5,2 мБк/м³ (2002-2008 гг.), а для г. Москвы 4,4 мБк/м³. [12]

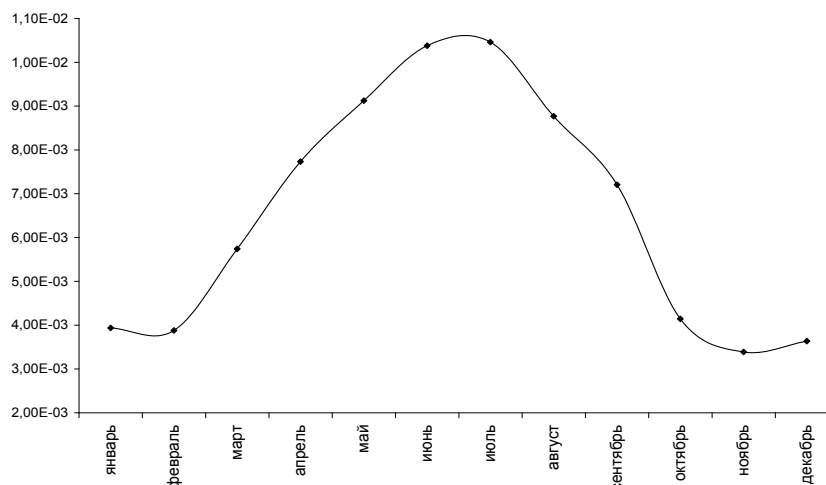


Рисунок 2 - Сезонный ход ОА ⁷Be, усредненной за 7 лет

Для умеренных широт должна быть зависимость от средних температур (T) и количества выпавших осадков. [11,12] Наибольшая степень корреляции ОА ⁷Be – T имеет место весной и летом (0,99 и 0,61 соответственно). Для холодных месяцев она либо низкая ($k=0,29 - 0,51$), либо даже отрицательная в отдельные периоды (осень 2002г., зима 2005 г.), но в среднем за 7 лет остается достаточно высокой (0,68). Полученные данные для широты 47°14'с.ш. подтверждают и существенно дополняют данные, полученные для широты 40°38'. [12]

Полученные данные о плотности выпадения ⁷Be на земную поверхность приведены в таблице 2. В среднем за 7 лет плотность выпадений наибольшая в весенне-летний период, как и сезонный максимум содержания ⁷Be в аэрозолях. [11]

Таблица 2 - Плотность выпадений ⁷Be на земную поверхность в среднем за 7 лет

Год	⁷ Be, плотность выпадений, мКи/км ² *мес				max/min	Средняя за год плотность выпадений
	зима	весна	лето	осень		
2002	0,79	0,38	0,91	1,01	2,7	0,77
2003	1,09	0,88	2,79	1,10	3,2	1,47
2004	0,56	3,31	1,56	0,65	5,9	1,52
2005	–	0,53	1,05	–	2,0	0,79
2006	0,82	1,34	2,37	–	2,4	1,24
2007	0,74	2,05	3,01	0,51	3,6	1,17
2008	0,11	1,05	4,75	0,22	41,9	1,53
2002-2008	0,69	1,36	2,35	0,70	8,84	1,21

Обобщенные результаты анализа связи содержаний ⁷Be в аэрозолях и осадках показывают наличие их обратной связи (коэффициенты корреляции по годам -0,61÷ -0,66).

Максимум количества осадков попадает на июнь – июль и он снижает ОА ⁷Be в аэрозолях. В целом это согласуется с данными по влиянию осадков на ОА ⁷Be в атмосфере для умеренных широт. [11]

Обратная зависимость между ОА ⁷Be в аэрозолях и содержанием его в осадках, обусловлена селективным вымыванием ⁷Be из атмосферы осадками. Это также

подтверждают высокие коэффициенты корреляции плотности выпадений на земную поверхность и количество атмосферных осадков ($\kappa = -0,82 - -0,98$).

В целом, результаты предварительного анализа содержания ^7Be в атмосферных аэрозолях и осадках позволяют выявить основные особенности вариации этих величин и их связи с климатическими характеристиками региона.

Содержание естественных радионуклидов ^{238}U , ^{234}Th , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{224}Ra и ^{40}K в атмосферных аэрозолях и осадках г. Ростова-на-Дону

Содержание ЕРН земного происхождения в приземном слое определяется ветровым подъемом пыли с земной поверхности, пылью дорожной и строительной, а также выбросами автотранспорта и промышленных предприятий.

За период 2002-2008 гг. получен ряд данных по содержанию в атмосферных аэрозолях и осадках ^{238}U , ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{224}Ra и ^{40}K (табл. 3, табл. 4).

Таблица 3 - Содержание ЕРН в атмосферных аэрозолях за период 2002-2008 гг. [11]

Год	ОА, Бк/м ³					
	^{234}Th	^{238}U	^{226}Ra	^{224}Ra	^{232}Th	^{40}K
2002	6,29E-05	1,40E-05	6,94E-06	4,70E-06	6,40E-06	2,54E-05
2003	1,06E-05	1,96E-05	1,24E-05	4,93E-06	6,55E-06	7,70E-05
2004	6,93E-05	9,24E-06	6,58E-06	3,41E-06	6,80E-06	3,57E-05
2005	1,30E-04	4,00E-06	8,89E-06	5,73E-06	7,07E-06	3,97E-05
2006	1,53E-04	5,82E-06	2,28E-05	7,04E-06	7,77E-06	5,62E-05
2007	1,91E-04	1,42E-05	2,02E-05	8,60E-06	7,72E-06	3,86E-05
2008	1,40E-04	1,09E-05	1,63E-05	6,39E-06	7,00E-06	5,27E-05
среднее	1,08E-04	1,11E-05	1,34E-05	5,83E-06	7,04E-06	4,65E-05

Таблица 4 - Содержание ЕРН в атмосферных осадках за период 2002-2008 гг.

Год	ОА, Ку/мес*км ²					
	^{234}Th	^{238}U	^{226}Ra	^{224}Ra	^{232}Th	^{40}K
2002	6,51E-04	8,02E-04	9,48E-05	1,21E-05	2,11E-05	9,62E-04
2003	5,58E-04	3,73E-04	4,45E-05	2,46E-05	2,70E-05	1,74E-04
2004	5,48E-04	3,78E-05	3,12E-05	1,60E-05	1,42E-05	7,20E-05
2005	4,75E-04	2,45E-05	3,88E-05	1,63E-05	1,68E-05	1,07E-04
2006	5,12E-04	9,53E-05	4,40E-05	2,03E-05	2,75E-05	8,53E-05
2007	4,45E-04	6,29E-05	4,82E-05	8,66E-06	1,62E-05	8,78E-05
2008	5,04E-04	4,38E-05	4,27E-05	1,48E-05	1,54E-05	9,13E-05
среднее	5,28E-04	2,06E-04	4,92E-05	1,61E-05	1,97E-05	2,26E-04

Установлено [11], что содержание ^{238}U , ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{224}Ra и ^{40}K в аэрозолях имеет более или менее ясно выраженный сезонный ход с максимумом в весенне-летний период и минимумом в осенне-зимний период (рис.3, рис. 4.). Причем сезонный ход ^{224}Ra , ^{232}Th и ^{40}K практически одинаков, в отличие от ^{226}Ra и ^{234}Th . Видимо такой неоднозначный сезонный ход ^{234}Th имеет место из-за своего небольшого периода полураспада ($T_{1/2}=24,1$ сут).

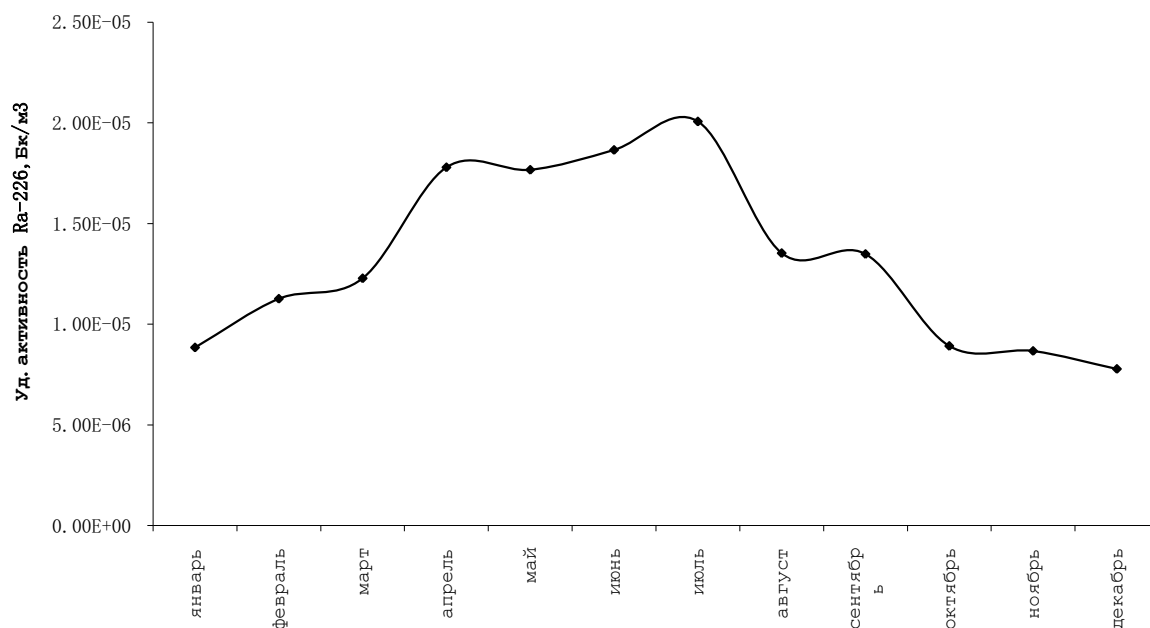


Рисунок 3 - Сезонный ход ОА ^{226}Ra , усредненной за 7 лет

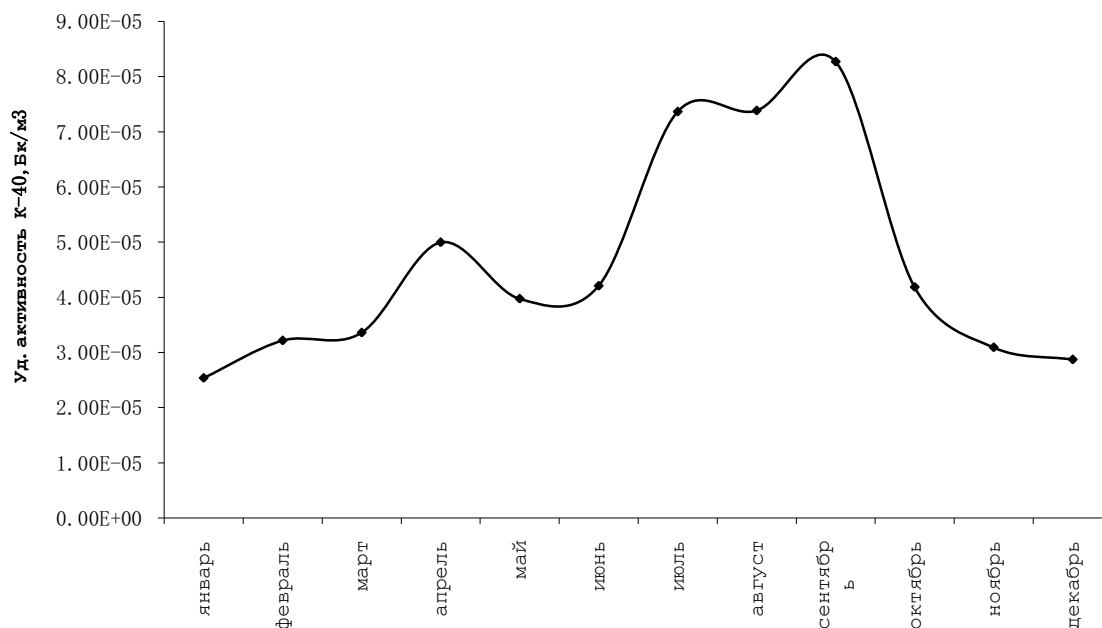


Рисунок 4 - Сезонный ход ОА ^{40}K , усредненной за 7 лет

Для сезонного хода всех ЕРН характерно наличие общих более или менее ярко выраженных особенностей: максимумы в апреле (перестройка в атмосфере) и минимумы в июне (максимум вымывания ОА осадками).

Корреляция среднемесячных содержаний ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{224}Ra и ^{40}K в атмосферных аэрозолях с содержанием в атмосферных осадках представлена в таблице 5. Обратная зависимость между ОА этих ЕРН в аэрозолях и содержанием их в осадках также обусловлена селективным вымыванием ЕРН из атмосферы осадками. [11]

Таблица 5 - Корреляция среднемесячных содержаний ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{224}Ra и ^{40}K в атмосферных аэрозолях с содержанием в атмосферных осадках

Год	Коэффициент корреляции				
	^{234}Th	^{226}Ra	^{224}Ra	^{232}Th	^{40}K
2002	-0,49	-0,59	-0,96	-0,99	-0,59
2003	-0,82	-0,38	-0,96	-0,72	-0,68
2004	-0,63	-0,55	-0,67	-0,67	-0,26
2005	-0,74	-0,54	-0,74	-0,59	-0,49
2006	-0,69	-0,61	-0,82	-0,62	-0,54
2007	-0,58	-0,49	-0,75	-0,60	-0,73
2008	-0,72	-0,57	-0,78	-0,68	-0,71
среднее	-0,67	-0,53	-0,81	-0,70	-0,57

Содержание радона, торона и их продуктов распада в приземном слое воздуха г. Ростова-на-Дону

Очевидна особая роль радона и его дочерних продуктов распада (ДПР) в приземном слое воздуха большого города, поскольку кроме эксгаляции радона с поверхности ненарушенных земель имеет место искаженная эксгаляция с урбанизированных территорий и его техногенные выбросы из разнообразных источников (в основном при сжигании органического топлива).

Для г. Ростова-на-Дону содержания радона, торона и их ДПР в атмосфере определялись систематически только в 2008 г. Среднегодовые уровни содержаний ^{222}Rn - 12,45 Бк/м³, ^{220}Rn - 0,33 Бк/м³, ^{214}Bi - 7,67 Бк/м³, ^{212}Bi - 0,25 Бк/м³, ^{214}Pb - 4,07 Бк/м³, ^{212}Pb - 0,32 Бк/м³, ^{222}Rn не имеет ярко выраженного сезонного хода. Ожидаемый широкий весенне-летний максимум содержания ^{222}Rn в аэрозолях модифицируется за счет значительного количества осадков в мае, июле и августе. Причем особую роль играет не столько количество осадков, сколько степень увлажнения грунта. Осенне-зимний максимум имеет, скорее всего, техногенный характер (связанный с отопительным сезоном), а максимумы в апреле и сентябре, возможно, связаны с повышенной эксгаляцией радона растениями (в вегетационный период) и с земной поверхности (по окончании летнего периода интенсивных дождей, подавляющих эксгаляцию радона с земной поверхности). [13]

Известно, что ^{210}Pb является самым долгоживущим ($T_{1/2}=22,26$ года) из дочерних продуктов распада ^{222}Rn ($T_{1/2}=3,823$ года). [14]

Среднемесячное содержание ^{210}Pb в атмосферных аэрозолях [15] варьирует в широких пределах (табл. 6): от 0,82 мБк/м³ до 5,61 мБк/м³ при среднегодовом содержании 1,90 мБк/м³. При этом его ОА существенно выше (в 10³ раз) [12] содержаний в аэрозолях ^{226}Ra (от 0,54 мБк/м³ до 3,2 мБк/м³) и, следовательно, содержащийся в воздухе ^{226}Ra никак не может быть основным источником образования в нем ^{222}Rn и ^{210}Pb . С другой стороны, коэффициенты корреляции содержания ^{210}Pb в аэрозолях с удельной загрязненностью атмосферы довольно низкие (2002г. - 0,45; 2003г. и 2004г. - 0,17). Это может быть указанием на то, что и ветровой подъем с земной поверхности не вносит существенного вклада в загрязнение атмосферы ^{210}Pb .

Таблица 6 - Содержания ^{210}Pb в аэрозолях, усредненные по сезонам и годам [15]

Год	^{210}Pb , ОА, мБк/м ³				<i>min</i>	<i>max</i>	ОА среднее, мБк/м ³
	зима	весна	лето	осень			
2002	1,7	1,09	1,31	1,52	0,31	4,96	1,41
2003	1,55	1,38	1,3	1,97	0,11	7,40	1,55
2004	1,62	8,99	1,28	1,43	0,2	3,40	1,18
2005	1,76	1,12	1,21	1,63	0,48	3,28	1,38
2006	6,9	3,16	3,35	3,2	0,12	1,68	4,09
2007	2,6	2,45	1,75	1,93	0,14	6,89	2,18
2008	2,2	2,11	1,56	1,85	0,11	6,04	1,98

На рисунке 5 четко проявляются осенне-зимние максимумы с ноября по март и весенне-летние максимумы в апреле и августе. Первый максимум (осенне-зимний) имеет техногенный характер. Ожидаемый широкий весенне-летний максимум содержания ^{210}Pb в аэрозолях модифицируются за счет значительного количества осадков в июне-июле. [15]

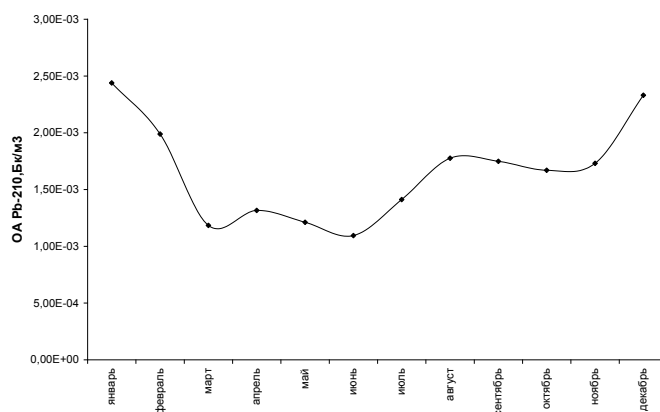


Рисунок 5 - Сезонный ход ОА ^{210}Pb за период 2002-2008 гг.

Зависимость ОА ^{210}Pb от количества выпавших осадков обратная. Это подтверждают и данные по плотности выпадения ^{210}Pb на земную поверхность (табл. 7). [15]

Таблица 7 - Плотность выпадения ^{210}Pb на земную поверхность

Год	^{210}Pb Бк/м ²				<i>max/min</i>	Средняя за год плотность выпадений
	зима	весна	лето	осень		
2002	21,45	6,50	42,74	15,87	6,5	21,64
2003	13,38	11,67	17,37	11,47	1,5	13,47
2004	18,09	25,15	47,52	30,13	2,6	30,22
2005	27,30	29,77	25,80	21,66	1,4	26,13
2006	41,83	60,81	50,57	32,01	1,9	46,31
2007	29,46	44,09	49,43	26,14	1,2	37,28
2008	32,07	52,32	41,26	31,19	1,6	39,71

При сравнении временного хода среднемесячных содержаний ^{210}Pb в атмосферных аэрозолях и в осадках [15] видно, что в большинстве случаев эти зависимости дополняют друг друга. Например, апрельский максимум для ^{210}Pb в аэрозолях 2002 г. и 2003 г. не сопровождался какими-либо особенностями во временном ходе ^{210}Pb в осадках и наоборот, июньский максимум во временном ходе ^{210}Pb для осадков компенсирует минимум во временном ходе ^{210}Pb для аэрозолей. Особенности содержания ^{210}Pb в аэрозолях и осадках соответствуют максимуму, выпавших в июне, осадков.

Выводы. За период 2002-2008 гг. в результате комплексного исследования процессов образования и переноса радионуклидов в приземной атмосфере крупного промышленного центра (на примере г. Ростова-на-Дону) получены данные еженедельного контроля содержаний радионуклидов ^7Be , ^{238}U , ^{234}Th , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{210}Pb , ^{40}K и ежемесячные данные по плотности выпадений их на земную поверхность.

В сезонном ходе всех радионуклидов (кроме радона и его ДПР) имеет место подъем содержания в аэрозолях в весенний период, связанный с перестройкой атмосферы, летнее повышение и зимнее понижение. Особо часто это проявляется для ^{232}Th и его продукта распада ^{224}Ra , а также для ^{40}K . ^{222}Rn и его ДПР (^{210}Pb) и не имеют ярко выраженного сезонного хода, причем особую роль играет осенне-зимний максимум техногенного происхождения. Для всех радионуклидов установлены корреляции их содержаний в аэрозолях и атмосферных выпадениях с количеством атмосферных осадков, а для ^7Be еще и с числами Вольфа (солнечной активностью) и температурой воздуха.

Литература

1. Махонько К.П. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 342 с.
2. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающую среду. Радиоэкология после Чернобыля. Под ред.: Ф. Уорнера, Р. Харрисона. М.: МИР. 1999. 647 с.
3. Меркулова К.А. Инженерно-геологические условия г. Ростова-на-Дону. Ростов н/Д.: РГПУ, 2006. 124 с.
4. Андреев С.С., Андреева Е.С. Биоклиматическая характеристика Ростовской области по индексу патогенности метеорологической ситуации. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение №9. 2003. С. 67-76.
5. Кутилин В.С., Смагина Т.А. Годовой режим температуры воздуха в зональных типах ландшафтов Ростовской области. // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сборник трудов IVмеждунар. конф., Ростов-на-Дону, 2007, С. 203-206.
6. Кутилин В.С., Смагина Т.А. Годовой режим относительной влажности воздуха в зональных типах ландшафтов. // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сборник трудов Vмеждунар. конф., Ростов-на-Дону, 2008, С. 272-274.
7. Лукьянченко А.Д. Автомобильный транспорт, как основной источник загрязнения атмосферы г. Ростова-на-Дону. // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сборник трудов Vмеждунар. конф., Ростов-на-Дону, 2008, С. 293-295.
8. Землянская Е.А. Особенности загрязнения поверхностных вод г. Ростова-на-Дону. // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сборник трудов IVмеждунар. конф., Ростов-на-Дону, 2007, С. 147-149.
9. Steinmann P., Billen T., Loizeau J.L. e.a. Berrilium-7 as a tracer to study

mechanisms and rates of metal scavenging from lake surface waters. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999. v. 63. № 11/12. P. 43-52.

10. Yoshi Yshikawae.a. Precipitation scavenging studies of radionuclides in air using cosmogenic ^7Be . // *Environmental radioactivity*, 1995. v. 26. P. 19-36.

11. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Малышевский В.С., Стасов В.В. Содержание ^7Be в приземном слое воздуха умеренных широт. // *Атомная энергия*, 2007. Т. 102. вып. 6. С. 370-374.

12. Петрова Т.Б., Охрименко С.Е., Власов В.К. и др. Содержание бериллия-7 в атмосферном воздухе г. Москва. // *АНРИ*, 2003. №3. С. 22-29.

13. Иванова Т.М. Оценка воздействия метеорологических факторов на объемную активность радона и плотность потока радона из грунта. // *АНРИ*, 2001. №2. С. 9-16.

14. Холопова Ю.В., Чечев В.П., Камынов Ш.В., Кузьменко Н.К., Недовесов В.Г. Оцененные значения ядерно-физических характеристик радиоактивных нуклидов, применяемых в народном хозяйстве. Справочник. // М.: Энергоатомиздат, 1982. 265 с.

15. Зорина Л.В., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Стасов В.В. Сезонная зависимость ^{210}Pb в приземном слое воздуха г. Ростова-на-Дону. // *АНРИ*, 2008. №3. С. 43-48.

Бураева Елена Анатольевна - кандидат химических наук, заведующая лабораторией радиоэкологических исследований Научно-исследовательского института Физики при Южном федеральном университете (НИИ Физики при ЮФУ).
E-mail: buraeva_elena@mail.ru

Зорина Людмила Валерьевна - научный сотрудник лаборатории радиоэкологических исследований Научно-исследовательского института Физики при Южном федеральном университете (НИИ Физики при ЮФУ). E-mail: zorinalv@mail.ru

Рогов Василий Павлович - студент 5 курса физического факультета Южного федерального университета. E-mail: rogovvasia47@yandex.ru

Стасов Виталий Викторович - младший научный сотрудник в лаборатории радиоэкологических исследований Научно-исследовательского института Физики при Южном федеральном университете (НИИ Физики при ЮФУ).
E-mail: Vitaly_Stasov@mail.ru

Скоржинский Данил Александрович - студент 5 курса физического факультета Южного федерального университета. E-mail: master-dm@mail.ru

Bouraeva Elena A. - candidate of Chemistry, the head of the laboratory of radioecological studies, Research Institute of Physics at Southern Federal University (RI at SFU). E-mail: buraeva_elena@mail.ru

ZorinaLudmila V. –scientist,laboratory of radioecological studies, Research Institute of Physics at Southern Federal University (RI at SFU).E-mail: zorinalv@mail.ru

RogovVasily P. - 5thyearstudent,FacultyofPhysics, SouthernFederalUniversity. E-mail: rogovvasia47@yandex.ru

StasovVitaly V. –junior scientist, laboratory of radioecological studies, Research Institute of Physics at Southern Federal University (RI at SFU). E-mail: Vitaly_Stasov@mail.ru

SkorjinskyDanil A. - 5th year student, Faculty of Physics, Southern Federal University. E-mail: master-dm@mail.ru

УДК 556.5.072 (470.45)(470.61)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОЛЕВОГО СОСТАВА ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ РОСТОВСКОЙ АЭС

Е.И. Шаврак, О.И. Горская, И.А. Генераленко, Д.С. Шаврак

<i>Волгодонский инженерно-технический институт Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»;</i> <i>филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция»;</i> <i>Федеральное государственное учреждение «Управление водными ресурсами Цимлянского водохранилища»;</i> <i>Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)</i>	<i>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»;</i> <i>Branch of JSC «Concern Rosenergoatom» «Rostov Nuclear Power Plant»</i> <i>Federal State Institution “Water resources management of Tsimlyansk reservoir”</i> <i>Southern Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)</i>
--	--

Рассмотрены особенности солевого состава водоема-охладителя (ВО) и формирующих его материальных потоков; проанализированы зависимости динамики солесодержания от характеристик источников питания ВО; определены критерии стабилизации солевого режима. Произведена проверка адекватности этих критериев.

Ключевые слова: солевой состав, водоем-охладитель, стабилизация, критерии.

The special characteristics of salt composition of cooling reservoir (CR) and material flows forming it are studied; the dependencies of salinity dynamics on the characteristics of the cooling reservoir's feeding supplies are analyzed; the criteria of salt regime stabilization are determined. Verification of these criteria adequacy is carried out.

Keywords: salt composition, cooling reservoir, stabilization, criteria.

Общей особенностью гидрохимических режимов водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций является постепенное повышение минерализации воды. [1-2] Основная причина этого - испарение значительных объемов воды, приводящее к концентрированию солей. В процессе эксплуатации водоема-охладителя Ростовской АЭС (ВО РоАЭС) выявилась специфическая черта формирования его солевого состава, заключающаяся в поступлении через дно в водоем высокоминерализованных грунтовых вод. [3-4] Целью данной работы является разработка критериев стабилизации солевого состава ВО. Рассмотрены, формирующие его, материальные потоки; охарактеризованы аккумуляционные процессы; проанализирована зависимость солесодержания от характеристик материальных потоков; сформулированы критерии стабилизации солевого состава; проведена проверка их адекватности.

ВО РоАЭС был создан путем отсечения мелководного участка Цимлянскоговодохранилища (ЦВ) с помощью фильтрующей дамбы. За время существования ВО в нем сложился гидрохимический режим, отличающийся от

сопряженного участка ЦВ повышенным уровнем минерализации. Мониторинг показателей гидрохимического режима ВО проводится аккредитованной лабораторией ОКЭБ РоАЭС. В результате статистической обработки этих данных за 2002-2009 гг. установлено, что среднее многолетнее содержание сульфатов, хлоридов и сухого остатка в ВО выше, чем в ЦВ, соответственно, в 3,2, 2,7 и 2,2 раза. Рост солесодержания в ВО происходил, в основном, в период с мая по октябрь. Остальное время реализовывались процессы уменьшения минерализации воды ВО. К основным потокам, питающим ВО, относятся подпитка из ЦВ, очищенные сточные воды, осадки, поверхностный сток, грунтовые воды. Через плотину, отделяющую ВО от ЦВ, и через дно ВО происходит постоянная фильтрация воды в ЦВ. В таблице 1 приведена информация о формирующем составе ВО потоках. Показатели солевого состава воды соответствуют данным 2005 года, объемы стоков — расходам для среднего года 50%-ной обеспеченности. В связи с отсутствием достоверной информации о составе грунтовых вод, данные по их солесодержанию были взяты такими же, как у фильтрационной воды.

Таблица 1 - Характеристики основных материальных потоков

Показатель	Подпитка из ЦВ	Очищенные сточные воды	Осадки	Поверхностный сток	Грунтовые воды	Фильтрация
C SO_4^{2-} , мг/дм ³	109	150	24	124	340	336
C Cl- , мг/дм ³	53	73	21	61	141	141
C(сухой остаток) , мг/дм ³	443	410	73	430	940	940
$V_{\text{стока, млн м}^3}$	25,3	0,65	7,7	6,4	1	11

Для оценки степени значимости потоков был рассчитан их вклад в общее поступление солей. При этом использовано два вида информации, принципиально отличающейся своим происхождением. Данные о подпитке и сточных водах (объемы, солесодержание) получены непосредственно в результате натурных замеров, которые осуществляются соответствующими технологическими службами РоАЭС. Характеристики фильтрационных потерь, грунтовых вод, осадков и поверхностного стока установлены косвенным путем: с помощью математических моделей [5] и экспертных оценок (табл.1). Полученные результаты свидетельствуют о том, что основными источниками поступления солей в ВО являются подпитка и поверхностный сток. Их вклад в солевой баланс в течение 2003-2008 гг. составлял, в среднем, 65% и 20%.

Оценку аккумуляционных процессов в ВО осуществляли с помощью балансовых расчетов. Все учитываемые материальные потоки разделяли на две группы, отличающиеся происхождением и степенью достоверности характеризующей их информации. В первую группу, называемую в дальнейшем потоками техногенного происхождения, включены подпитка и сточные воды. Показатели этих потоков контролируются с помощью контрольно-измерительной аппаратуры и лабораторных методов анализа. Ко второй группе, потокам природного происхождения, относятся осадки, поверхностный сток, грунтовые воды, фильтрация. Их характеристики, определяемые путем моделирования и экспертных оценок, обладают большей

степенью неопределенности. Вклад техногенных источников в солевой баланс ВО рассчитывали по формуле (1):

$$m_{\text{техногенн}}^i = V_{\text{п}}^i * C_{\text{ЦВ}}^i + V_{\text{св}}^i * C_{\text{св}}^i, \quad (1)$$

где $m_{\text{техногенн}}^i$ - масса минерального компонента, поступившего в ВО с подпиткой и очищенными сточными водами за i-й период (месяц, год), тн;

$V_{\text{п}}^i$ и $C_{\text{ЦВ}}^i$ - объем воды (млн м³), поступившей с подпиткой из ЦВ в течение i-го месяца, и концентрация в ней соответствующего компонента (мг/дм³);

$V_{\text{св}}^i$ и $C_{\text{св}}^i$ - объем (млн м³) и концентрация минерального компонента в сточных водах (мг/дм³), попавших в ВО за i-й период.

Доля природных источников в солевом балансе определяется на основании балансовых расчетов по формуле (2):

$$m_{\text{природн.}}^i = (C_{\text{ВО}}^{i+1} - C_{\text{ВО}}^i) * V_{\text{ВО}} - m_{\text{техногенн}}^i, \quad (2)$$

где $m_{\text{природн.}}^i$ - масса минерального компонента, тн, поступившего в ВО за i-й период (месяц, год) с поверхностным стоком, осадками, грунтовыми водами, за вычетом потерь с фильтрационными потоками;

$C_{\text{ВО}}^i$, $C_{\text{ВО}}^{i+1}$ - концентрации компонентов в водоеме-охладителе в начале и конце i-го периода (месяца или года), мг/дм³;

$V_{\text{ВО}}$ - объем водоема-охладителя, млн м³.

В таблице 2 приведена информация о поступлении солей в составе каждой из групп источников. Среди источников техногенного происхождения наиболее весомый вклад в солевой баланс ВО вносит подпитка. Поскольку вклад источников природного происхождения представлен отрицательной величиной, можно предположить, что основным природным фактором формирования минерализации является фильтрационный поток через дамбу и дно из ВО в ЦВ.

Таблица 2 - Роль источников техногенного и природного происхождения в формировании солевого режима ВО

Год	Накопление солей в ВО, тн в год	Поступление солей с источниками техногенного происхождения, тн в год			Поступление солей с источниками природного происхождения, тн в год
		подпитка	очищенные сточные воды	всего	
2005	943	11766	375	12140	-11197
2006	4865	13582	438	14020	-9155
2008	2160	10756	461	11217	-9057

Наряду с оценкой среднегодовых показателей аккумуляции было произведено рассмотрение зависимости динамики солесодержания от характеристик источников питания ВО. С этой целью предложено использовать величину ΔC_i ,

определяемую по формуле:

$$\Delta C_{\text{ВО}}^i = C_{\text{ВО}}^{i+1} - C_{\text{ВО}}^i = \frac{m_{\text{техноген}}^i}{V_{\text{ВО}}} + \frac{m_{\text{природн}}^i}{V_{\text{ВО}}}, \quad (3)$$

где все обозначения такие же, как и в формулах 1-2.

Были рассчитаны значения $\Delta C_{\text{ВО}}^i$ для 94 месяцев 2002-2009 гг, а также проведен корреляционно-регрессионный анализ взаимосвязей между показателями $\Delta C_{\text{ВО}}^i$ и величинами $M_{\text{техноген}}$ и $M_{\text{природн}}$. Установлено наличие статистически значимых корреляций высокого качества между $\Delta C_{\text{ВО}}^i$ и $M_{\text{природн}}$ при одновременном отсутствии каких-либо связей между $\Delta C_{\text{ВО}}^i$ и $M_{\text{техноген}}$. Данный факт свидетельствует о том, что определяющими факторами формирования минерализации ВО являются источники природного происхождения.

С помощью балансового метода нами сформулированы критерии стабилизации солевого режима ВО, соответствующие условиям $\Delta C_{\text{ВО}}^i \leq 0$:

$$\Delta C_{\text{ВО}}^i = 0, \text{ если } \frac{V_{\text{ф}}^i}{V_{\text{Σприход}}^i} = \frac{C_{\text{Σприход}}^i}{C_{\text{ВО}}^i} \quad (4)$$

$$\Delta C_{\text{ВО}}^i < 0, \text{ если } \frac{V_{\text{ф}}^i}{V_{\text{Σприход}}^i} > \frac{C_{\text{Σприход}}^i}{C_{\text{ВО}}^i} \quad (5)$$

где $C_{\text{Σприход}}^i$ - концентрация солевого компонента в обобщенном входном материальном потоке;

$V_{\text{Σприход}}^i$ - объем обобщенного входного потока; $C_{\text{ВО}}^i$ - концентрация компонента в ВО;

$V_{\text{ф}}^i$ - объем обобщенного выходного материального потока, представленного фильтрацией воды ВО через дамбу и дно ВО в ЦВ.

Адекватность предложенных критериев была проверена на временных диапазонах разной продолжительности (период апрель – декабрь 2006 года; 2005-2009 и 2002-2009 гг). Выбор периода определялся наличием достоверной информации о характеристиках материальных потоков и методикой исследования.

Для апреля – декабря 2006 годов связи с отсутствием информации о поверхностном стоке в качестве составляющих входного потока рассматривались только осадки и подпитка. Определенные расчетным путем значения $\frac{C_{\text{Σприход}}^i}{C_{\text{ВО}}^i}$

колебались в диапазоне 0,35-0,38, поэтому условие уменьшения солесодержания ВО для 2006 года имело следующий вид:

$$\Delta C_{\text{ВО}}^i < 0, \text{ если } \frac{V_{\text{ф}}^i}{V_{\text{Σприход}}^i} > 0,38$$

Это условие выполнялось в течение рассматриваемого периода только три месяца: апрель, ноябрь и декабрь. При этом была зафиксирована относительная стабилизация солесодержания ($\Delta C_{\text{ВО}}^i \leq 0$). Все остальное время (май-октябрь)

поддерживалось неблагоприятное соотношение объемов входных и выходных потоков, сопровождающееся повышением солесодержания. Таким образом, анализ ситуации в 2006 году подтверждает предположение, что динамика минерализации зависит от соотношения характеристик входных и выходных потоков. В весенне-зимний период 2006 года это соотношение было оптимальным, летом и осенью наблюдалось преобладание входных потоков над фильтрацией, что привело к накоплению солей в ВО.

В связи с недостаточностью информации об осадках и поверхностном стоке в качестве основного входного материального потока в 2005-2009 гг. рассматривалась подпитка. Условие уменьшения солесодержания ВО для 2005-2009 гг. имело следующий вид:

$$\Delta C_{\text{ВО}}^i < 0, \text{ если } \frac{V_{\text{ф}}^i}{V_{\text{Σприход}}^i} > 0,44,$$

где 0,44- соотношение средних концентраций сухого остатка в ЦВ и ВО за 2005-2009.

Анализ фактических данных показал, что это условие выполнялось только в 2008-2009 гг., что было связано с увеличением вклада фильтрационных потоков в баланс ВО. Как следствие, в 2008-2009 гг. отмечено уменьшение темпов роста солесодержания в ВО.

Солевой режим ВО изменяется в результате протекания сложного комплекса процессов. В ходе исследования динамики солесодержания в 2002-2009 гг. было установлено наличие 8 вариантов этих процессов, представленных в таблице 3. Самым неблагоприятным является наиболее часто встречающийся вариант № 1, осуществление которого приводит к увеличению всех показателей солесодержания. Чаще всего он реализуется в летнее время, когда, как было установлено выше, в материальном балансе преобладают входные потоки. Наиболее приемлемый вариант 4, способствующий снижению минерализации, характерен для весны и зимы, в это время наблюдается увеличение вклада фильтрационных процессов.

Таблица 3 - Варианты динамики показателей солесодержания воды ВО

№ варианта	Количество месяцев работы ВО в соответствующем режиме	Изменение показателя			Сезонные особенности реализации варианта	% случаев от общего
		хлориды	сульфаты	сухой остаток		
1	22	↑*	↑	↑	Лето	23,4
2	9	↑	↑	↓	Зима	9,6
3	11	↑	↓	↓	Лето, осень	11,7
4	16	↓	↓	↓	Весна, зима	17,0
5	13	↓	↑	↑	Весна-осень	13,8
6	9	↓	↓	↑	Лето, осень	9,5
7	5	↓	↑	↓	Зима	5,5
8	9	↑	↓	↑	Лето, осень	9,5
всего	94					

*Условные обозначения - ↑ - увеличение показателя, ↓ - уменьшение показателя.

Таким образом, оценка особенностей динамики минерализации в разные временные периоды свидетельствует о том, что рост солесодержания является следствием несбалансированности входных и выходных материальных потоков

минеральных веществ, невыполнения критериев стабилизации солевого режима.

Выводы

1. Основной особенностью солевого режима ВО в 2002-2009 гг. является прогрессирующее в период с мая по октябрь увеличение минерализации, сопряженное со стабильностью соотношений между концентрациями солей в ВО и ЦВ.

2. Материальными потоками, вносящими основной вклад в солевой баланс ВО, являются: среди источников техногенного происхождения – подпитка, среди источников природного происхождения – фильтрационный поток через дамбу и дно водоема в ЦВ. Динамика солесодержания определяется, преимущественно, потоками природного происхождения.

3. Наиболее благоприятные режимы, приводящие к уменьшению солесодержания или его стабилизации, реализуются при соотношении объемов фильтрационного потока из ВО и прихода воды в ВО равном или большем соотношения солесодержаний входного и выходного потоков.

Литература

1. Наталюк Н.Т., Шиманский Б.А. Гидрохимический режим водохранилища-охладителя Добротворской ГРЭС и р.Западный Буг. // Гидрохимия и гидробиология водоемов-охладителей тепловых электростанций СССР. Киев: Наукова думка, 1971. С.85-95.

2. Морозова О.Г. Особенности формирования гидрохимического режима водоема-охладителя БГРЭС-1 (монография) // О.Г. Морозова, Р.З. Пен, С.М. Репях / Изд. СО РАН «Наука», Новосибирск, 2001. – 216 с.

3. Бубликова И.А., Цуверкалова О.Ф., Баклыкова М.Г. Анализ влияния Волгодонской АЭС на концентрацию сульфатов в водоеме-охладителе// Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. -2010. -Спец. вып. – С. 146-150.

4. Шаврак Е.И., Сапельников В.М., Генераленко И.А. Исследование влияния Волгодонской АЭС на экологическое состояние Приплотинного плеса Цимлянского водохранилища // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. -2010. -Спец. вып. – С. 160-167.

5. Оценка воздействия Ростовской АЭС на окружающую среду// Атомэнергопроект. – Н. Новгород, 2008.

Шаврак Елена Игнатьевна - кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной экологии Волгодонского инженерно-технического института Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».
E-mail: merphi2013@yandex.ru

Генераленко Ирина Анатольевна - ведущий специалист отдела водопользования Федерального государственного учреждения «Управление водными ресурсами Цимлянского водохранилища»

Горская Ольга Ивановна - начальник отдела охраны окружающей среды филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция».
E-mail: gorskayavdonsk@rambler.ru

Шаврак Дмитрий Сергеевич - инженер, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт).
E-mail: ds.chernishov@yandex.ru



Shavrak Elena I. – candidate of Technical science, associate professor of the Engineering ecology Department, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: mephi2013@yandex.ru

Generalenko Irina A. -the leading specialist of the Water management department, Federal State Institution «Water resources management of Tsimlyansk reservoir»

Gorskaya Olga I. – the head of the Environmental protection department, the branch of JSC «Concern Rosenergoatom»«Rostov nuclear power plant».

E-mail: gorskayavdonsk@rambler.ru

Shavrak Dmitri S. - engineer, Southern Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute). E-mail: ds.chernishov@yandex.ru

**Г
Л
О
Б
А
Л
Ь
Н
А
Я**

**Я
Д
Е
Р
Н
А
Я**

**Б
Е
З
О
П
А
С
Н
О
С
Т
Ь**

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 621.791.75.04

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОДНОСТОРОННЕЙ СВАРКИ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ СТАЛИ АУСТЕНИТНО-ФЕРРИТНОГО КЛАССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЕРАМИЧЕСКОГО ФЛЮСА ФКБ-4

Волобуев Ю.С., Доронин А.Ю., Доронин Ю.В.

НПО «Цниитмаш», ООО «ЭКСПЕРТЦЕНТР»	Scientific production association «Cniitmash», Joint Stock Company «Expertcentre»
---------------------------------------	---

Для хранения отработанного ядерного топлива необходимы емкости специальной конструкции, изготовленные из сталей аустенитно-ферритного класса. Емкости должны быть специальной конструкции из сталей с содержанием бора не менее 1%.

Сварка стыкового соединения такого сборника является весьма трудной задачей в связи с наличием ряда проблем:

- проблема сохранения химического состава шва при сварке под флюсом;
- проблема выбора марки флюса с необходимыми сварочно-технологическими свойствами;
- проблема выбора технологии сварки, обеспечивающей двустороннее формирование шва.

В результате проведенных исследований разработаны специализированные марки стали, флюса и, формирующей обратную сторону шва, подкладной ленты.

Создана опытная технология односторонней сварки под флюсом корпуса сборника.

Ключевые слова: ядерная энергетика, сварка сталей, формирование шва, флюсы, гибкие ленты.

Capacities of the special design made of austenit-ferritic kind of steels are necessary for storage of the wasted nuclear fuel. Capacities must have a special design made of steel with the maintenance of boron not less than 1 %.

Welding of a butt bead of such capacity is a rather difficult problem in connection with presence of some problems:

- a problem of maintenance of a chemical compound of a welded bead when welding under a flux;
- a problem of a choice of mark of a flux with necessary welding-technological properties;
- a problem of a choice of technology of the welding providing bilateral formation of a weld.

As a result of the researches the specialized marks of steel, flux and supporting strip forming the back side of the weld are developed. The skilled technology of unilateral welding under the flux of the case of capacity is created.

Keywords: nuclear energy, steel welding, formation of welds, fluxes, flexible strips.

Введение

Одним из способов обеспечения ядерной безопасности хранилища отработанного ядерного топлива является размещение сборок тепловыделяющих элементов в чехлах, обладающих способностью поглощать тепловые нейтроны. Такой чехол представляет собой шестигранную трубу с толщиной стенки 6,0 мм, размером под ключ 257 мм, длиной до 4500 мм.

Для изготовления чехлов – эффективных нейтронных поглотителей требуются технологичные конструкционные материалы, содержащие в достаточном количестве элементы с большим сечением захвата нейтронов. К такого рода материалам относится бористая коррозионностойкая сталь (ЧС-82Ш) с содержанием бора 1,3–1,8%, разработанная ОАО НПО ЦНИИТМАШ и широко применяемая в настоящее время в отечественной ядерной энергетике.

Деформационные технологии, используемые в настоящее время при изготовлении данного вида продукции, имеют ряд существенных недостатков, к числу которых можно отнести в первую очередь сложность и трудоемкость получения передельной трубы с заданными геометрическими размерами, необходимость механической обработки с высоким уровнем точности, а также жесткие требования при последующем профилировании.

Целью настоящей работы является изучение возможности изготовления шестигранных труб из стали марки ЧС-82Ш, обеспечивающей содержание бора в металле сварного шва на уровне не менее 1,0 %, с применением автоматической сварки под флюсом, что в значительной мере упрощает процесс их производства. [1]

1. Подбор параметров режима сварки с использованием сварочных проволок марок ЭП792-ВИ и св-03Х19Н60М15. Оптимизация системы легирования керамического флюса.

Для оптимизации технологии однопроходной сварки стали марки с содержанием хрома не менее 14% и бора не менее 1% на базе опытного флюса ФКБ-1, обеспечившего максимальное содержание бора в сварном шве, с целью улучшения сварочно-технологических свойств флюса (отделимость шлаковой корки, формирование наплавленного валика и обратной стороны сварного шва, снижения количества дефектов в металле сварного шва и т.д.), [2] а также для получения стабильного содержания бора в металле сварного шва, была изготовлена партия нового керамического флюса, получившего условное обозначение ФКБ-4. Внешний вид керамического флюса представлен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид керамического флюса ФКБ-4
С использованием флюса ФКБ-4 в сочетании с проволоками марок Св-01Х12Н2

(ЭП792-ВИ) и Св-03Х19Н60М15 на режимах, представленных в таблице 1.1 выполнялась сварка пластин из стали марки (ЧС-82Ш), вырезанных из штатной шестигранной трубы.

Таблица 1.1 – Пределы изменения параметров режима сварки стали ЧС-82Ш под флюсом ФКБ-4 в сочетании с проволоками ЭП792-ВИ (1) и Св-03Х19Н60М15(2)

Номер образца	Параметры режима сварки		
	И _{св} , А	U _{св} , В	V _{св} , м/ч
1	450 ÷ 400	27 ÷ 30	24 ÷ 30
2	450 ÷ 400 ÷ 450	28 ÷ 32	24 ÷ 27

Внешний вид сварных швов представлен на рисунках 1.2 и 1.3.



Рисунок 1.2 – Внешний вид образца для подбора режима сварки под флюсом ФКБ-4 в сочетании с проволокой ЭП792-ВИ



Рисунок 1.3 – Внешний вид образца для подбора режима сварки под флюсом ФКБ – 4 в сочетании с проволокой Св-03Х19Н60М15

Одним из важных условий при оптимизации технологии сварки является достижение полного проплавления при минимальном усилении корневой и наружной части сварного шва. В результате проведенных экспериментов были выбраны оптимальные режимы для сварки стали марки (ЧС-82Ш) с использованием сварочных проволок Св-01Х12Н2 (ЭП792-ВИ) и Св-03Х19Н60М15 в сочетании с опытным

керамическим флюсом ФКБ-4. [3]

Таблица 1.2 – Режимы сварки под флюсом марки ФКБ - 4 в сочетании с проволоками марок Св-03Х19Н60М15 и ЭП792-ВИ

Марка сварочной проволоки	Оптимальные параметры режима сварки		
	Исв, А	Усв, В	Усв, м/ч
ЭП792-ВИ	420	29	30
СВ-04Х19Н60М15	400	32	27

В результате проведенных исследований установлено, что флюс марки ФКБ-4 обладает приемлемым уровнем сварочно-технологических свойств (хорошее формирование металла сварного шва, легкая отделимость шлаковой корки, отсутствие внешних дефектов-пор, трещин, шлаковых включений, подрезов и т.д., хорошее формирование обратной стороны сварного шва на «флюсовой подушке»). Химический анализ показал, что керамический флюс ФКБ-4 должен обеспечивать содержание бора в металле сварного шва не менее 1 %. [4]

2. Отработка технологии формирования обратной стороны сварного шва при односторонней сварке стали марки (ЧС-82Ш)

С проблемами формирования обратной стороны и корня шва при дуговой сварке постоянно сталкиваются при сборке различного рода металлоконструкций. Так, например, при сварке технологических и магистральных трубопроводов, обечаек резервуаров, криволинейных обводов корабельных металлоконструкций с ограниченными возможностями доступа к обратной стороне стыкового и углового соединения с одной стороны, и сложностью, дороговизной и неэффективностью использования различного рода центраторов и остающихся подкладок с другой, основной проблемой является создание технологичных, рентабельных и многофункциональных устройств и материалов, обеспечивающих стабильную форму обратного валика с гарантией стандартной прочности конструкции.

Для решения комплексной задачи – создания высокопроизводительного процесса односторонней дуговой сварки с двухсторонним формированием шва, необходимо выявить факторы, влияющие на появление внутренних и наружных дефектов обратного валика (неравномерной высоты и ширины, шлаковых и газовых включений, подрезов, низкоградусных углов перехода от усиления к основному металлу), и, в результате, разработать технологию и материалы, обеспечивающие бездефектную форму обратной стороны шва.

Как уже говорилось выше, в качестве возможных способов выполнения сварного соединения рассматривались два варианта формирования обратной стороны сварного шва:

- сварка с формированием обратной стороны одностороннего шва на «флюсовой подушке»;
- сварка с формированием обратной стороны одностороннего шва с помощью подкладных лент. Оба эти способа были реализованы в процессе проводимых экспериментов (рисунки 2.1 а, б, и 2.2 а, б).



а – вид сверху



б – вид снизу

Рисунок 2.1 – сварка под флюсом ФКБ-4 «на флюсовой подушке»



а – вид сверху



б – вид снизу

Рисунок 2.2 – сварка под флюсом ФКБ-4 на подкладной ленте ЛМС - 3

Однако, следует отметить, что добиться стабильных результатов, а тем более осуществить сварку с формированием обратной стороны сварного шва на «флюсовой подушке» с учетом требований к штатному изделию (минимальное усиление корневого валика), представляется весьма затруднительным.

Этому препятствуют довольно высокая критичность таких параметров, как величина сварочного тока, скорость сварки и размер зазора между свариваемыми кромками. Даже при незначительном превышении значения величины сварочного тока над заданным ($\leq 5\%$) и увеличении зазора между свариваемыми кромками на 1мм. возможно неудовлетворительное формирование обратной и наружной стороны шва.

Помимо этого определенные трудности неизбежно возникают при устройстве «флюсовой подушки» на внутренней поверхности свариваемой конструкции.

В данных условиях формирование обратной стороны сварного шва на гибких (мягких) подкладках является более предпочтительным, так как не требует сложных технологических приспособлений и обеспечивает, при отработанной технологии, стабильное качество металла одностороннего сварного шва. Необходимо также отметить, что мягкие однослойные и многослойные подкладки обеспечивают качественное формирование обратной стороны шва во всех пространственных положениях. Поэтому, при выборе подкладок предпочтение было отдано именно гибким (мягким) формирующим подкладкам.

На промышленном уровне для гарантии обеспечения необходимой формы обратного валика, с начала 80-годов и по настоящее время, выпускаются керамические подкладки одноразового использования фирмы «ESAB», марки ОК, керамические

подкладки КП и ПКП (ИЭС им. Е.О. Патона), подкладки фирмы Lincoln и др. фирм, в том числе и отечественных.

Для проведения исследований были выбраны гибкие подкладные ленты отечественного производства марки ЛМС-3 на основе стекловолокна, внешний вид которой представлен на рисунке 2.3, а схема подготовки стыкового соединения из стали марки (ЧС-82Ш) представлена на рисунок 2.4.



Рисунок 2.3 – Внешний вид гибкой однослойной подкладной ленты ЛМС - 3

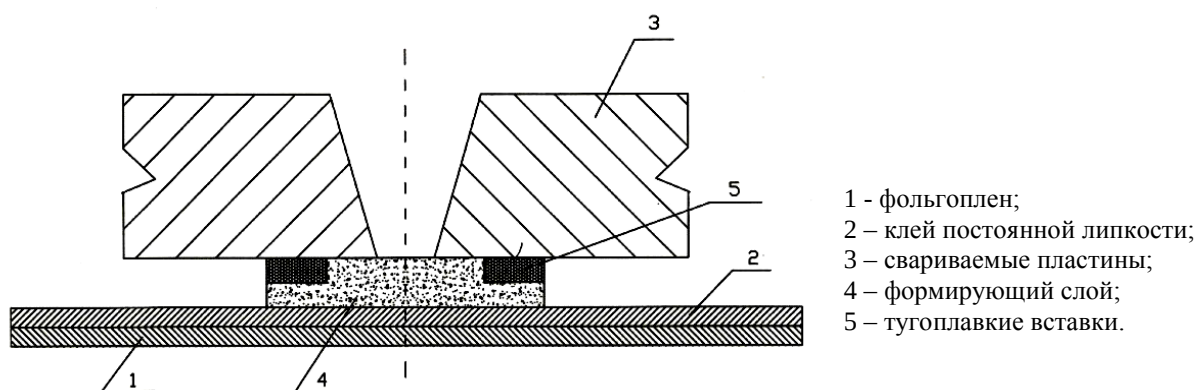


Рисунок 2.4 – Конструкция свариваемых образцов на подкладной ленте

Особенность подкладной ленты заключается в том, что она является средством неоднократного применения, в отличие от других керамических подкладок. Данная гибкая подкладка сплошная, в отличие от других типов. Лента двухкомпонентная и имеет две стороны: легкоплавкую и тугоплавкую. Тугоплавкая сторона фиксирует высоту обратного валика, а легкоплавкая дает плавность растекания металла.

Свариваемые пластины были собраны с зазором 1,6 мм, для жесткости по краям, были приварены ребра из той же стали. Сварка образцов проводилась на установке фирмы «ESAB» с использованием гибкой ленты ЛМС-3[5] в сочетании с флюсом ФКБ-4. Основная задача заключалась в достижении формирования обратной стороны валика с минимальным усилением, которое определяется свойствами образующегося шлака.

Режимы, на которых осуществлялась сварка с использованием подкладной ленты марки ЛМС-3 представлены в таблице 2.1.

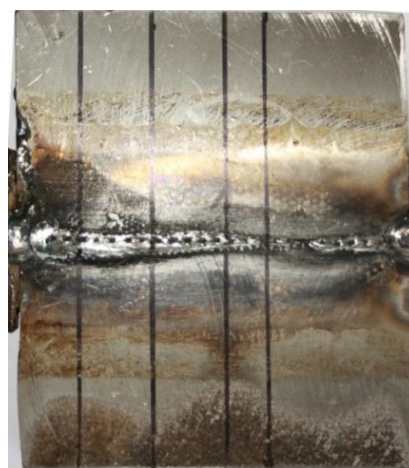
Таблица 2.1 – Режимы односторонней сварки с использованием подкладной ленты

Флюс	Марка проволоки	Диаметр проволоки, мм	Режим сварки		
			Исв, А	Усв, В	V св., м/ч
В 4 (тугоплавкая сторона)	ЭП 792	Ø 3	420-400	29	30
В 4 (легкоплавкая сторона)	03Х19Н60М15	Ø 3	380-420	29	30
В 3 (тугоплавкая сторона)	ЭП 792	Ø 3	450-500	30	30

Внешний осмотр сваренных образцов показал, что использование оптимальных режимов позволяет получать качественное формирование обратной стороны сварного шва (рисунок 2.5 а, б, 2.9 а, б).



а – вид сверху



б – вид снизу

Рисунок 2.5 – Образец, заваренный с использованием подкладной ленты ЛМС – 1 на тугоплавкой стороне



а – вид сверху



б – вид снизу

Рисунок 2.6 – Образец, заваренный с использованием подкладной ленты ЛМС – 3 на легкоплавкой стороне

Внешний вид подкладной керамической ленты ЛМС - 3 после сварки образца показан на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 – Внешний вид подкладной ленты после сварки

Контроль сварки рентгеновским просвечиванием подтвердил высокое качество стыковых соединений при односторонней сварке стали (ЧС-82Ш), выполненных как на «флюсовой подушке», так и с применением керамических подкладных лент. Односторонняя сварка с использованием керамического флюса ФКБ-4 показала практически полное отсутствие дефектов. В сварном шве не обнаружены шлаковые включения, поры, трещины. На рентгеновских снимках выявлены только технологические дефекты, а именно: неполное проплавление, что связано с отступлением от оптимальных режимов сварки. Рентгеновские снимки сварных соединений представлены на рисунке 2.11

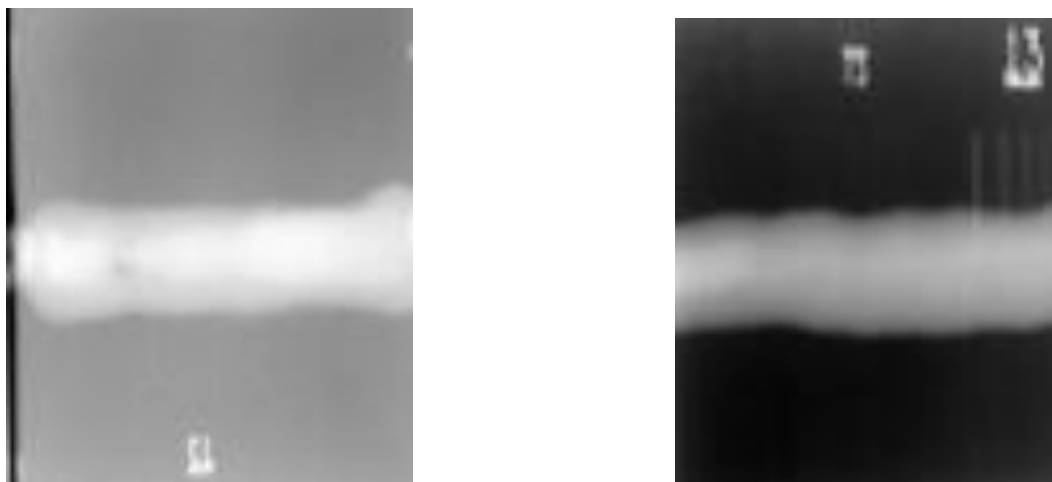


Рисунок 2.8 – Рентгеновские снимки сварных соединений

В результате проведенных исследований разработана технология автоматической односторонней сварки под керамическим флюсом стыковых соединений стали марки ЧС82-Ш, толщиной 6 мм с формированием обратной стороны сварного шва при помощи гибкой подкладной ленты марки ЛМС-3 и «флюсовой подушки», которая позволяет обеспечивать качественное сварное соединение при односторонней сварке с полным проплавлением.

3 Исследование свойств металла сварного соединения, выполненного на стали марки ЧС-82Ш под флюсом ФКБ-4

3.1 Проведение механических испытаний

Учитывая положительный опыт, полученный при проведении предварительных исследований по сварке стали марки ЧС-82Ш, были заварены контрольные сварные соединения под опытным керамическим флюсом ФКБ-4 на оптимальных режимах в сочетании со сварочными проволоками марок Св-03Х19Н60М15 и ЭП792-ВИ.

Для проведения механических испытаний, согласно СТП 2700-137-80 и СТП 2700-197-81, была изготовлена серия образцов (рисунок 3.1) для испытаний на растяжение и на статический изгиб.



Рисунок 3.1 – Образцы для механических испытаний на растяжение и статический изгиб

Результаты испытаний на растяжение представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты испытаний на растяжение сварных соединений, выполненных автоматической односторонней сваркой на стали ЧС-82Ш, с использованием сварочных проволок Св-03Х19Н60М15 и ЭП792-ВИ в сочетании с опытным керамическим флюсом ФКБ-4

Марка сварочной проволоки	Температура, °С	Временное сопротивление разрыву, МПа
ЭП792-ВИ	+20	486
ЭП792-ВИ		497
Св-03Х19Н60М15		429
Св-03Х19Н60М15		490

Испытания показали, что разрушение всех образцов происходит по основному металлу, носит хрупкий характер без пластического течения. Сварное соединение обладает достаточно высоким уровнем прочностных характеристик, сопоставимым с характеристиками основного металла.

Испытания на статический изгиб показали, что разрушение контрольных образцов происходит по основному металлу при различных углах изгиба, при этом минимальный составляет ~ 5°, а максимальный – 30°, что также свидетельствует о хрупком характере разрушения и низкой пластичности основного металла (рисунок 3.2 а, б).



а



б

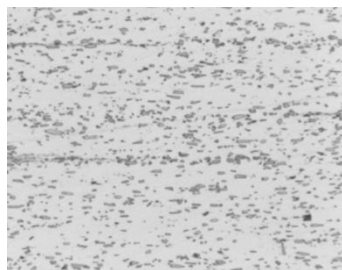
- а– образцы, выполненные с применением сварочной проволоки марки ЭП792-ВИ
 б– образцы, выполненные с применением сварочной проволоки марки Св-03Х19Н60М15

Рисунок 3.2 – Характер разрушения сварных образцов в результате испытаний на статический изгиб

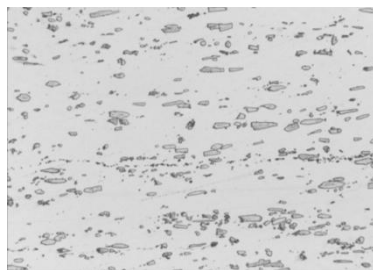
3.2 Проведение металлографических исследований

Исследования микроструктуры сварных соединений показало, что структура сварных швов, выполненных под керамическими флюсами, отличается от околошовной зоны и основного металла (рисунок 3.3 – 3.7). Металл сварного шва имеет более мелкозернистую структуру, чем основной металл и зона термического влияния, что, по-видимому, и сказывается на результатах испытаний.

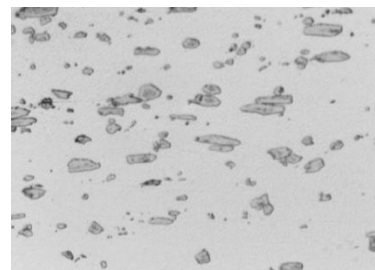
Необходимо также отметить, что металл сварного шва, выполненный сварочной проволокой марки Св-03Х19Н60М15, имеет ориентированную дендритную структуру, в то время, как структура металла сварного шва, полученного с использованием проволоки марки ЭП792-ВИ, имеет разориентированный характер, однако, имеет более крупные структурные элементы. Структура металла, как в одном, так и другом варианте, состоит из матрицы и боридной эвтектики. Что касается зоны термического влияния, то при сварке с использованием проволоки марки ЭП792-ВИ она имеет большие размеры, что может быть вызвано более высоким тепловложением при использовании указанной проволоки. В целом можно сделать вывод, что структура металла сварного шва имеет более предпочтительный характер по сравнению с основным металлом и особенно зоной термического влияния.



а) x 100



б) x 200



в) x 400

Рисунок 3.3 – Микроструктура основного металла в образцах из стали ЧС-82Ш

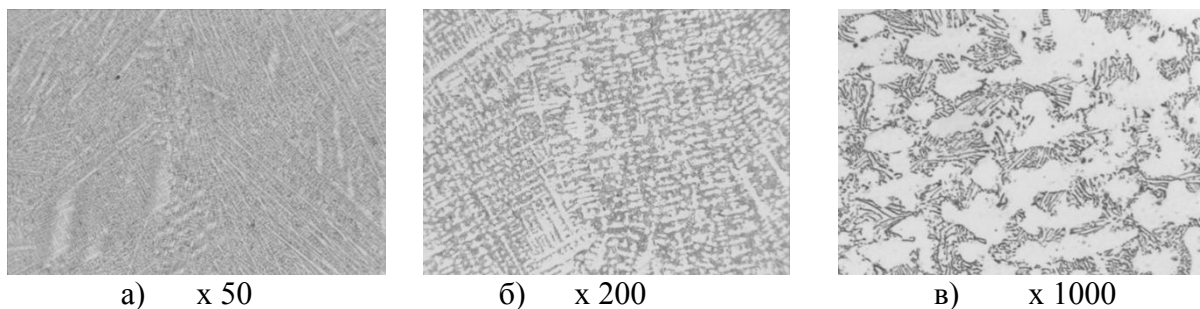


Рисунок 3.4 – Микроструктура металла сварного шва, полученного при сварке опытного образца из стали ЧС-82 Ш под керамическим флюсом ФКБ-4 в сочетании с проволокой марки Св-03Х19Н60М15

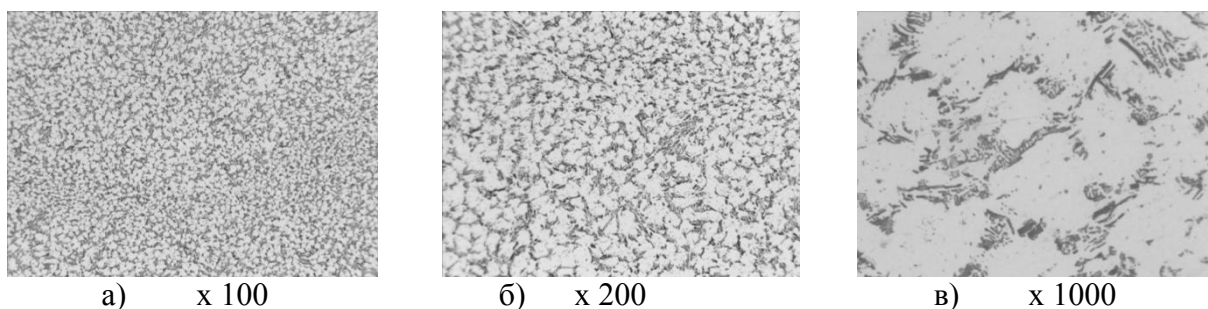


Рисунок 3.5 – Микроструктура металла сварного шва, полученного при сварке опытного образца из стали ЧС-82 Ш под керамическим флюсом ФКБ-4 в сочетании с проволокой марки Св-01Х12Н2 (ЭП792-ВИ)

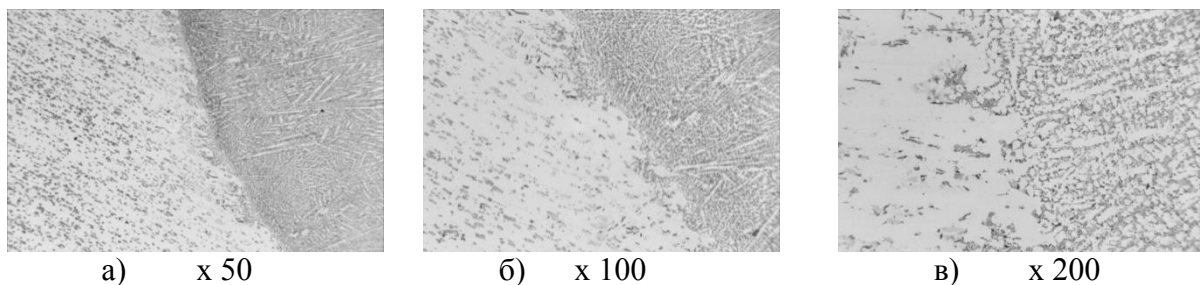


Рисунок 3.6 – Микроструктура металла околошовной зоны в образце из стали ЧС-82 Ш, полученного при сварке под керамическим флюсом ФКБ – 4 в сочетании с проволокой марки Св-03Х19Н60М15

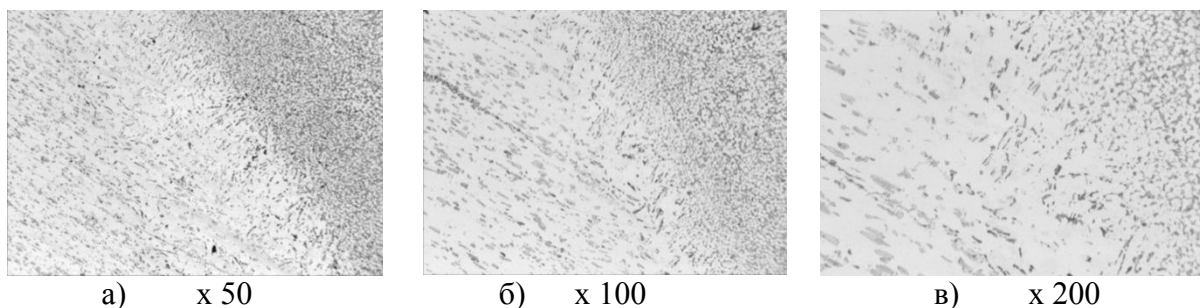


Рисунок 3.7 – Микроструктура металла околошовной зоны в образце из стали ЧС-82 Ш, полученного при сварке под керамическим флюсом ФКБ-4 в сочетании с проволокой марки Св-01Х12Н2 (ЭП792-ВИ)

4 Разработка технологии сварки трубного стыка

Полученные в рамках настоящей работы результаты исследований позволяют сделать вывод о возможности получения сварного соединения с регламентированным содержанием бора в металле сварного шва на уровне не менее 1%, а также с необходимыми эксплуатационными характеристиками на уровне требований к основному металлу. В связи с этим было принято решение, сварить продольный трубный стык из стали марки ЧС-82 Ш, толщиной 6мм под керамическим флюсом марки ФКБ-4 в сочетании со сварочной проволокой марки ЭП792-ВИ с использованием подкладной ленты марки ЛМС-3. Трубный стык был собран с зазором 2 мм.

Сварка осуществлялась при следующих значениях режима: $I_{св.} = 380 - 475 \text{ А}$; $U_{св.} = 30 \text{ В.}$; $V_{св.} = 29,5 - 30 \text{ м/ч}$. В результате установлено, что оптимальные значения тока должны находиться в пределах 380-420 А при прочих равных значениях. Указанный сварочный ток позволяет получать сварной стык с полным проплавлением и минимальным усилением обратной и наружной стороны шва.

Внешний вид сваренной трубы представлен на рисунке 4.1



а – вид сверху



б – вид снизу

Рисунок 4.1 – Внешний вид фрагмента трубы, сваренной под флюсом ФКБ – 4 с применением сварочной проволоки ЭП792-ВИ

Таким образом, в результате проведенных исследований, показана возможность получения сварного варианта шестигранных труб из стали марки ЧС-82Ш с использованием стандартных сварочных проволок и керамического легирующего флюса, обеспечивающего содержание бора в металле сварного шва не ниже 1 %, с характеристиками сварного соединения на уровне основного металла.

Заключение

1. Показана возможность получения качественного сварного соединения с полным проплавлением при односторонней сварке с формированием обратной стороны шва на «флюсовой подушке» или на специальных гибких подкладных лентах. Осуществлен выбор подкладной ленты отечественного производства, обладающей оптимальным комплексом физико-химических характеристик, а также подобраны режимы для односторонней сварки под керамическим флюсом в сочетании со стандартными проволоками.

2. Проведены исследования металлургических характеристик металла сварного шва, выполненного под опытным керамическим легирующим флюсом в сочетании с проволоками марок Св-01Х12Н2 (ЭП792-ВИ) и Св-03Х19Н60М15, обеспечивающим не менее 1 % бора в металле сварного шва.

3. Исследования механических характеристик сварного соединения показали, что металл сварного шва обладает более высокими механическими характеристиками.

Разрушение разрывных и гибовых образцов происходит по основному металлу и зоне термического влияния.

4. Радиографический контроль качества металла сварного соединения не выявил дефектов в виде пор, трещин, шлаковых включений и т.д.

5. В результате металлографических исследований установлено, что структура металла сварного шва отличается от структуры основного металла и околошовной зоны и имеет более предпочтительный характер по сравнению с основным металлом и, особенно, зоной термического влияния.

6. Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, позволили разработать технологию односторонней сварки трубного стыка и заварить опытный стык трубы из стали ЧС-82Ш с формированием обратной стороны стыка на гибкой подкладной ленте. Внешним осмотром и измерениями дефектов в виде пор, трещин, шлаковых включений и т. д. не обнаружено.

7. Таким образом, проведенные исследования показали возможность изготовления шестигранных труб из стали марки ЧС-82Ш с использованием сварочных технологий, как альтернативный вариант деформационным процессам. Вместе с тем необходимо проведение дополнительных исследований в следующих направлениях:

- оптимизировать состав металла сварного шва;
- провести исследования о возможности и влиянии многопроходной сварки на структуру и свойства металла сварного шва;
- исследовать влияние керамического флюса на состав металла сварного шва, как одно из средств оптимизации его состава;
- провести исследования по определению влияния погонной энергии на структуру металла сварного шва и околошовной зоны;
- определить необходимость предварительного подогрева и термической обработки после сварки;
- исследовать коррозионные свойства металла сварного шва и сварного соединения.

Литература

1. Губенко С.И., Беспалько В.Н., Жиленкова Е.В., Балев А.Е. Влияние качества трубной заготовки на технологические свойства стали 04X14T3P1Ф // Теория и практика металлургии. 2006. С. 158–160.

2. Подгаецкий В.В. Флюсы для механизированных способов сварки, защитные газы и сварочные проволоки сплошного сечения. – К.: 1976. 72 с.

3. Потапов Н.Н Основы выбора флюсов при сварке сталей. – М.: 1979. 168 с.

4. Потапов Н.Н. Окисление металлов при сварке плавлением. – М.: 1985. 216 с.

5. Доронин Ю.В. Односторонняя сварка в строительстве. – М.: 1990. 150 с.

Волобуев Юрий Сергеевич – НПО «Цниитмаш», Москва, заведующий лабораторией, к.т.н.

Доронин Александр Юрьевич – НПО «Цниитмаш», инженер.

Доронин Юрий Викторович – ООО «Экспертцентр», д.т.н., Москва.

E-mail: bekkenbauer@yandex.ru

Volobuev Jurii S. – candidate of Technical Science, the chief of laboratory, scientific production association «Cniitmash».

Doronin Alexandre J. - engineer, scientific production association «Cniitmash».

Doronin Jurii V. - Doctor of Technical science, Joint Stock Company «Expertcentre». E-mail: bekkenbauer@yandex.ru



УДК 621.039

МЕТОД РАССТАНОВКИ ПОСТОВ АСКРО ДЛЯ ДВУХ И БОЛЕЕ ЭНЕРГБЛОКОВ АЭС

А.П. Елохин, М.В. Жилина, Д.Ф. Рау

*Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»*

*National Research Nuclear University
“MEPhI”*

Рассматривается метод расстановки постов радиационного контроля автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) для двух и более энергоблоков АЭС с оптимизированной системой гамма-датчиков, расположенных на местности вокруг каждого из энергоблоков определенным образом: равномерно по азимуту и на различном расстоянии от источника выбросов, в частности, датчики могут быть расположены на местности по спирали Архимеда.

Для оптимизации числа датчиков, расположенных между блоками, находят точки пересечения прямых, проходящих через источник выбросов и датчики, расположенные на спирали. Точки пересечения этих прямых и определяют необходимое число датчиков, которые следует установить между блоками АЭС, и их координаты. При этом датчики дублирующие друг друга, расположенные на кривых, с целью экономии финансовых и материальных средств, следует отбросить. Для большего числа энергоблоков, расположенных на одной прямой или симметрично друг относительно друга, для оптимального выбора постов радиационного контроля может быть применен метод трансляции (перемещения).

Ключевые слова: Ключевые слова: контроль радиационной обстановки окружающей среды, обнаружение радиоактивных выбросов АЭС, ядерно-физические, спектрометрические, дозиметрические характеристики газоаэрозольной радиоактивной примеси.

The main idea of the article is the method of arrangement of posts of the radiation control of the automated monitoring system of radiation conditions (RCAMS) for two and more power units of the atomic power station with the optimized system of the gamma-ray sensors located in the district round each of power units in a certain way: evenly on an azimuth and on various distance from an emission source, in particular, sensors can be located on district on Archimedes spiral.

To optimize the number of sensors located between blocks it is necessary to find points of intersection of the straight lines passing through the source of emissions and the sensors located on the spiral. These very points of intersection of the straight lines define necessary number of the sensors to be installed between the blocks of the atomic power station and their coordinates. In this case the sensors duplicating each other, located on curves, for the purpose of economy of financial and material means, are necessary to reject. For a larger number of the power units, located on one straight line or symmetrically relative to each other, the method of the transferring (moving) can be applied for an optimum choice of radiation monitoring posts.

Keywords: radiation control of the environment, detection of radioactive emissions of the atomic power station, nuclear-physical, spectrometry, dosimetric characteristics of a gas and aerosol radioactive impurity.

Для радиационного контроля окружающей среды вокруг объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), включая и АЭС, используют автоматизированные системы контроля радиационной обстановки (АСКРО), эффективное развитие которые получили после радиационной аварии на Чернобыльской АЭС. Основу АСКРО, как известно, составляют детекторы фотонного излучения, расположенные определенным образом вокруг объектов использования атомной энергии, метеодатчики, используемые для определения параметров и состояния устойчивости атмосферы в регионе ОИАЭ, программное обеспечение, используемое для обработки данных измерений и прогностических расчетов для оценки масштабов радиоактивного загрязнения окружающей среды в условиях радиационных аварий. [1] Принципиальная схема содержания АСКРО приведена на рисунке 1.

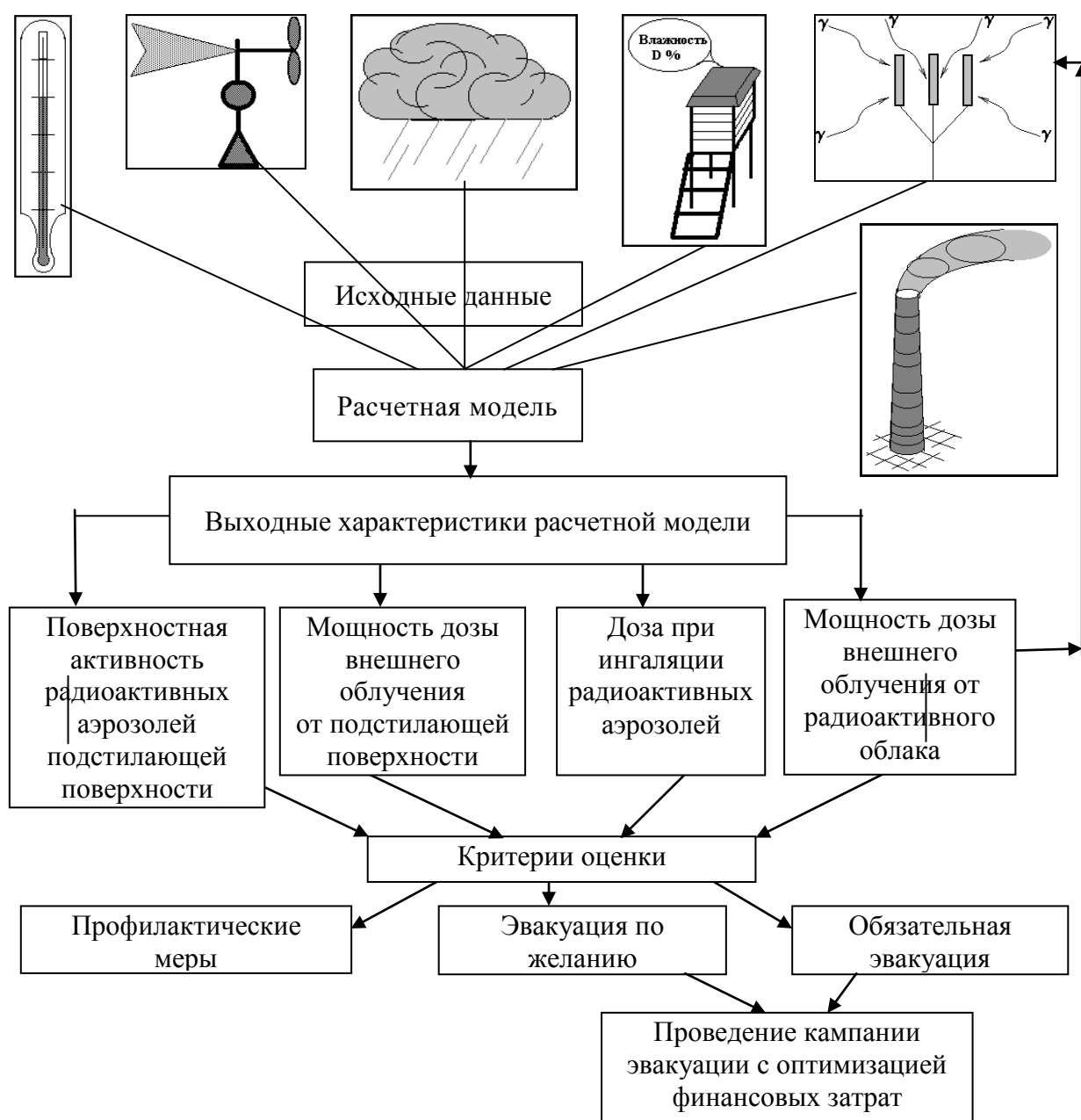


Рисунок 1 – Структурная схема АСКРО

Для своевременного выявления радиоактивных выбросов, определения направления распространения радиоактивного облака, их дозиметрических характеристик и возможных последствий для окружающей среды разработаны и эксплуатируются различные технические средства или системы контроля, причем, в зависимости от характера источника выбросов и целей контроля датчики системы контроля могут быть размещены непосредственно на промплощадке АЭС, в санитарно-защитной зоне, в зоне наблюдения.

Характер размещения и количество датчиков в рассматриваемой области имеют определяющее значение и вытекают из демографических, экономических и экологических требований. Экономические и экологические требования вступают в противоречие, поскольку в первом случае выгоднее использовать систему радиационного контроля с меньшим количеством датчиков, а экологические требования (высокая степень информативности о радиационной обстановке при любом варианте выброса и его направлении распространения), наоборот, диктуют необходимость использования большего количества датчиков.

Возникающие противоречия устраняются, если датчики контроля разместить по периметру санитарно-защитной зоны (СЗЗ) так, чтобы при любом направлении ветра датчики мощности дозы (МД) постов автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) могли зарегистрировать гамма-излучение факела радиоактивных выбросов или радиоактивного облака. Оптимальное количество датчиков (следовательно, и постов контроля) в этом случае находят следующим образом.

Полагают, что рассеяние радиоактивной примеси происходит с высоты $h_{эф}$ при наихудших метеорологических условиях, в качестве которых можно рассматривать категорию устойчивости типа F из класса устойчивости модели Пасквилла-Гиффорда. [2] Этот класс устойчивости характеризуется сильным ветровым переносом и слабой поперечной диффузией факела выбросов. На подстилающей поверхности на расстоянии $r \leq 3R_0^*$ км от источника выбросов радиоактивной примеси задают значение МЭД, равное предельно-допустимому для населения (ПДМД = 14 мкЗв/ч), полагая, что такую мощность дозы создает факел выбросов, распространяющийся в заданном направлении, в выбранной точке. Рассчитывают распределение мощности дозы на местности в направлении, перпендикулярном к радиусу, считая, что в максимуме распределения, т.е. на конце радиуса, значение МЭД составляет ПДМД. В полученном распределении находят расстояние, на котором значение мощности дозы оказывается равным порогу чувствительности датчика $(D'_\gamma)_{min} = 0,1$ мкЗв/ч.

Если это расстояние δ , то необходимое число датчиков определяют целой частью отношения: $N_n = [2\pi r / 2\delta] = [\pi r / \delta]$, а достаточное – на единицу больше.

$$N_d = N_n + 1 \quad (1)$$

Такой подход может быть реализован в любой автоматизированной системе контроля радиационной обстановки (АСКРО) в районе размещения объектов атомной промышленности (АЭС), которая бы содержала датчики для измерения метеопараметров атмосферы, измерения температуры, давления и скорости воздушного потока в венттрубе, датчики мощности дозы фотонного излучения, расположенные

* R_0 – характерный радиус СЗЗ, составляющий до недавнего времени 3 км. В настоящее время, в связи с существенным снижением уровней выброса газоаэрозольной примеси в атмосферу российских АЭС, работающих в штатном режиме величина R_0 уменьшается в полтора-два раза. [3]

вокруг источника радиоактивных выбросов в соответствии с, указанным выше, условием их достаточности, многоканальную анализирующую аппаратуру, линии информационной связи для передачи результатов измерений от каждого из датчиков в соответствующий канал анализирующей аппаратуры. [1]

Однако, как установлено авторами, в результате детального анализа условий возникновения радиоактивных выбросов, формирования факела, его изотопного состава, распространения радиоактивного облака в атмосфере при различных классах ее устойчивости (от А до F в рамках модели Пасквилла-Гиффорда) и т.д., принцип размещения датчиков контроля в упомянутой выше системе контроля полностью справедлив лишь при условии, что выброс радиоактивной примеси при штатной работе или аварийной ситуации происходит из вентиляционной трубы АЭС. В этом случае наиболее важные параметры радиоактивных выбросов – начальная температура T_0 , давление P_0 струи выброса, величина полной активности (мощность), радионуклидный состав и спектр гамма-излучения могут быть измерены датчиками, установленными внутри вентиляционной трубы, и с помощью этих данных может быть проведена оценка степени радиационной опасности выбросов. Совершенно иная ситуация возникает при радиоактивных выбросах в виде перегретой газовой струи из отверстий, клапанов, неплотностей сосудов, рваных отверстий или щелей, возникающих в случае взрывов или разрывов резервуаров, находящихся под высоким давлением и высокой температурой. Подобная ситуация характеризует запроектную аварию. [4,5]

При таких авариях экспериментально невозможно определить ни параметры струи, выбрасываемой из отверстий, ни объемную активность выброса, ни его радиационные характеристики, поскольку неизвестен спектр или средняя энергия фотонного излучения, и, следовательно, отсутствует возможность дать прогностический расчет масштабов радиоактивного загрязнения окружающей среды, а также оценить экологические последствия такой радиационной аварии. Подобные аварии хоть и редко, но возникают, в чем нас убеждают события, произошедшие на японской АЭС Фукусима-1 в марте 2011 года, и их последствия с точки зрения радиологического воздействия на население не могут быть прогнозируемы, если АЭС не обеспечена АСКРО.

Принцип расстановки постов радиационного контроля автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) с учетом этих особенностей для одного энергоблока был предложен в работах, [4,5] в дальнейшем получил широкое распространение в России в результате использования его в базовом и других проектах ОАО «Атом-энергопроект» [6–9] и рекомендован [10] в качестве базового проекта АСКРО для АЭС и других ОИАЭ.

Сущность расстановки постов, предложенный в указанных работах, заключается в использовании в системе контроля логически необходимого и достаточного количества датчиков НД, размещенных на местности равномерно по азимуту определенным образом. Каждый из датчиков N_i : где $i = 1, 2, \dots, N_D$ установлен на расстоянии R_i – от источника радиоактивных выбросов (на расстоянии r_i от основания источника), отличным от соответствующих расстояний всех остальных датчиков, например, по спирали Архимеда (см. рис. 2). В центре располагается источник радиоактивного загрязнения. Величина приращения азимутального угла $\Delta\varphi = 2\pi/N_D$ между направлениями соседних датчиков выбиралась равной, а $R_i = R_0 i \Delta\varphi$

Система АСКРО работает следующим образом. После ее установки на местности и в рабочем режиме датчики МЭД регистрируют постоянно (или периодически) уровни мощностей доз в своих точках размещения. Сигналы измерения по линиям связи

поступают в анализирующую аппаратуру, где эти сигналы сопоставляют с опорными уровнями, определенными предварительно в нормальных условиях работы АЭС. По любому отклонению сигналов с датчиков от опорных вырабатывается команда об изменении ситуации в зоне контроля. По характеру изменения судят о степени радиационной опасности персонала, принимается то или иное решение по предупреждению и оповещению возникшей ситуации.

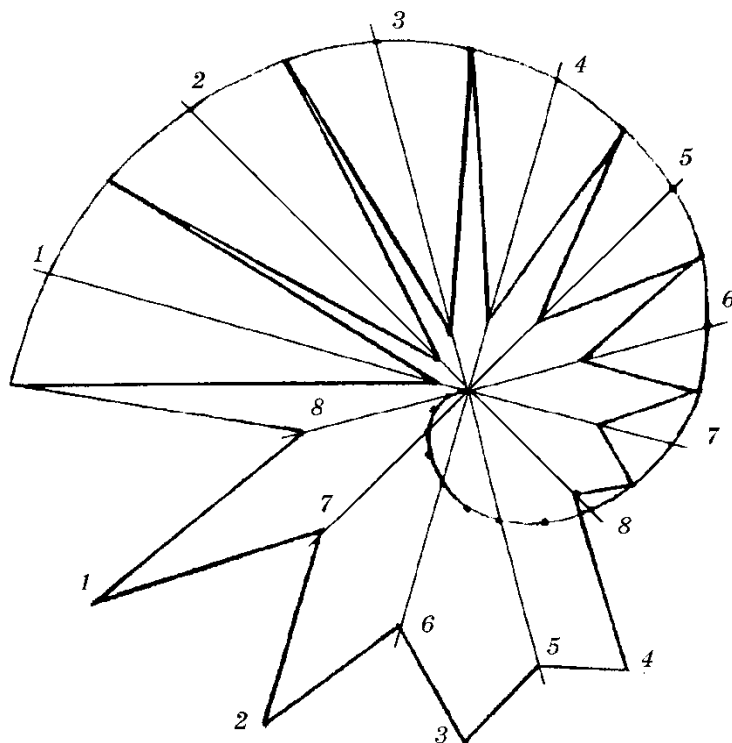


Рисунок 2 – Возможное размещение постов контроля АСКРО в СЗЗ по спирали Архимеда (на пересечении кривой с лучами) и многолучевой звездой (в вершинах и основаниях лучей)

Предложенная система АСКРО позволяет по показаниям датчиков фотонного излучения определить дифференциальный спектр $\varphi(E)$ гамма-излучения радиоактивных выбросов (факела, радиоактивного облака), а по спектру $\varphi(E)$ – среднюю энергию спектра, уточнить величину полной активности выбросов, уровни радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, оценить масштабы загрязнения окружающей среды в целом и рассчитать дозовую нагрузку на население как при проектных, так и запроектных авариях на АЭС.

Рассмотренный выше метод размещения постов контроля целесообразен для одного блока АЭС, но недостаточен для двух или более, поскольку, размещая на каждом блоке систему гамма-датчиков указанным выше способом, мы можем получить дублирование датчиков на каком-то направлении, что, в конечном итоге, может привести их количество к избыточному или, во всяком случае, далеко не оптимальному.

Для оптимизации числа датчиков, расположенных между блоками АЭС, предварительно, на каждом блоке их расставляют по спирали Архимеда (см. рис. 3) и находят точки пересечения двух семейств прямых, проходящих через источники выбросов и датчики расположенные на кривых.

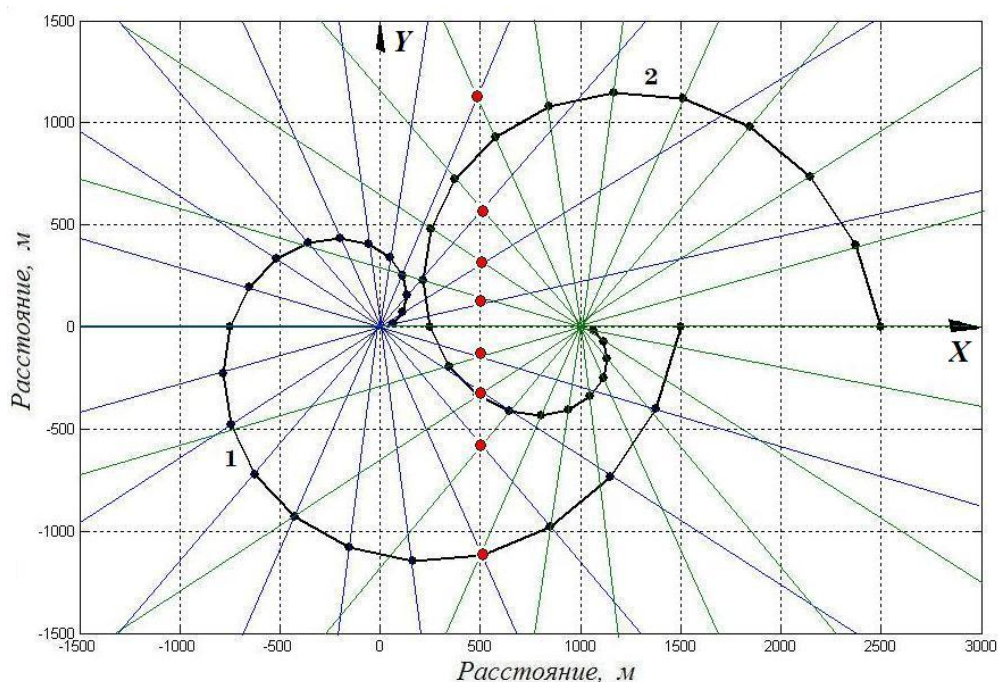


Рисунок 3 – Метод расстановки гамма-датчиков системы АСКРО для двух блоков АЭС

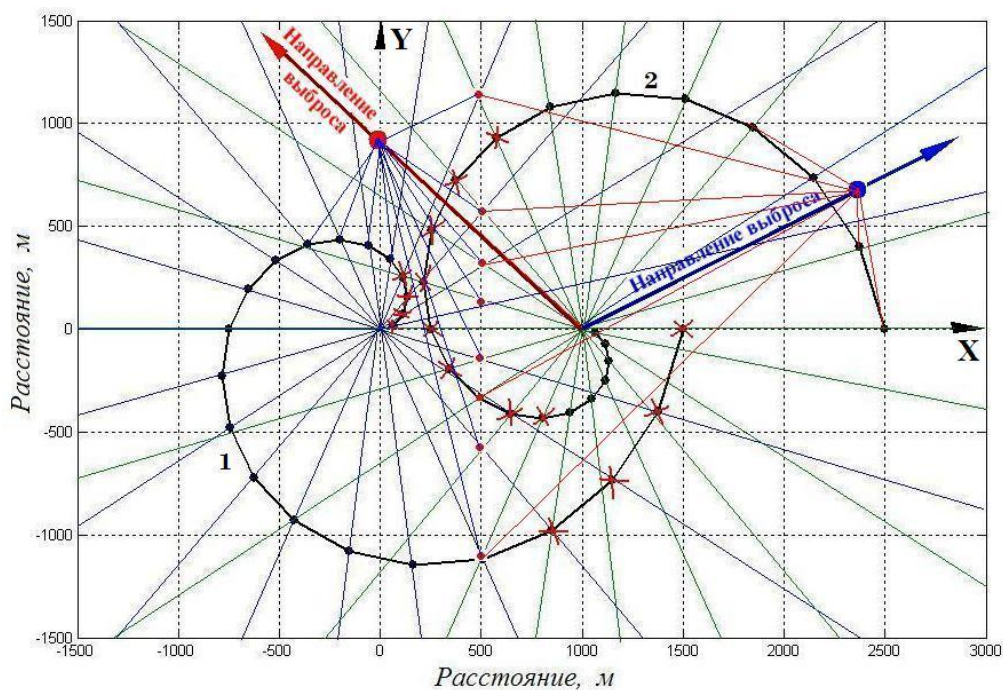


Рисунок 4 – Выделение дублирующих датчиков на выделенных направлениях

Затем находят дублирующие точки на выделенных направлениях. При этом датчики, дублирующие друг друга, расположенные на кривых, с целью экономии финансовых и материальных средств можно отбросить (см. перечеркнутые точки на рисунке 4), а точки, находящиеся на пересечении двух семейств прямых и определяют необходимое число датчиков, которые следует установить между блоками АЭС, и их

координаты (см. вертикально расположенные точки на рисунках 3 и 4).

Семейство прямых, характеризующих кривую 1 (спираль Архимеда) определяется уравнением:

$$y_i^{(1)} = x \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad (1)$$

где $\varphi = i \cdot \Delta\varphi, i = 1, 2, \dots, m$;

$$\Delta\varphi = 2\pi/N_d,$$

N_d – достаточное количество датчиков системы АСКРО, располагающихся вокруг одного блока АЭС ($N_d = 22$), чтобы при любом азимутальном угле выброса радиоактивной примеси в атмосферу факел выбросов мог быть зарегистрирован при сильно устойчивом метеорологическом состоянии атмосферы (категории F модели Пасквилла-Гиффорда).

Кривые 1 и 2 описываются уравнением: $R = R_0 \cdot \varphi$. Значение R_0 выбирают из условия $R_{\max} = R_0 \cdot 2\pi$. Откуда следует $R_0 = R_{\max}/2\pi$. В качестве $R_{\max}$ принимают $R_{\max} = 1500,0$ м – расстояние от источника выбросов с общей активностью $Q = 5 \cdot 10^6$ Ки, расположенного на высоте $h = 100$ м, на котором источник создает мощность эквивалентной дозы фотонного излучения сравнимую с естественным фоном.

Семейство прямых, характеризующих кривую 2 определяется уравнением:

$$y_i^{(2)} = (x_0 - x) \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad (2)$$

где x_0 – расстояние между источниками возможных выбросов радиоактивной примеси в атмосферу.

В точках пересечения семейства прямых $y_i^{(1)} = y_i^{(2)}$, а значение абсциссы точек пересечения не зависит от φ (индекса i) и равно:

$$x = x_0/2. \quad (3)$$

Напротив, значения ординат точек пересечения семейств прямых зависят от угла φ (индекса i) и определяются выражением:

$$y_i^{(1)} \equiv y_i^{(2)} = \frac{x_0}{2} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 0,5x_0 \cdot \operatorname{tg}(i \cdot \Delta\varphi), \quad (4)$$

где в соответствии с рисунками 3, 4 $i = \pm 1, 2, 3, 4$.

При определении ординат датчиков значения индекса i должно быть ограничено так, чтобы выполнялось условие:

$$\sqrt{(y_i^{(1)})^2 + (0,5x_0)^2} \leq R_{\max} \quad (5)$$

После построения системы датчиков АСКРО, удовлетворяющих требованиям для каждой из систем дублирующие друг друга датчики, в целях экономии финансовых и материальных средств, можно отбросить (см. перечеркнутые точки на рисунке 4). Окончательная картина размещения датчиков АСКРО для двух блоков АЭС приведена на рисунке 5.

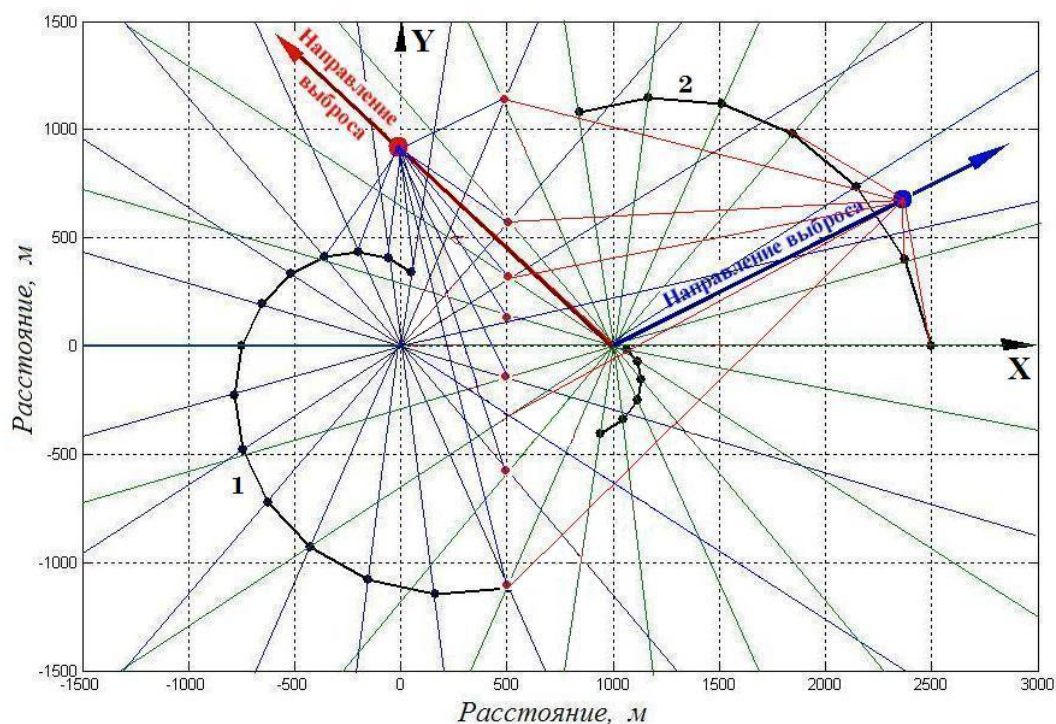


Рисунок 5 – Принципиальная схема размещения гамма-датчиков АСКРО для двух блоков АЭС

Стрелками указаны гипотетические направления выбросов радиоактивной примеси в атмосферу на одном из источников. Крупные точки на выделенных направлениях представляют собой центр масс радиоактивного выброса, распространяющегося в данном направлении. Прямые, соединяющие центры масс с гамма-датчиками АСКРО, указывают на систему опроса показаний датчиков, которые (показания) затем используются для определения спектра и средней энергии фотонного излучения радиоактивной примеси, распространяющейся по ветру.

Если система АСКРО строится для трех блоков АЭС, расположенных на одной прямой (как показывает практика), то решается аналогичная задача для второго и третьего блоков АЭС путем трансляции (перемещением) кривой 1 по оси X с размещением источника выбросов на расстоянии x_0 от второго источника, и т.д.

В случае выброса радиоактивной примеси в атмосферу в условиях радиационной аварии на АЭС с заданными, например, левым или правым направлениями, система АСКРО, в соответствии с рисунком 5, опрашивает все датчики, регистрируя их показания, определяет состояние устойчивости атмосферы для уточнения условий рассеяния радиоактивной примеси, определяет радионуклидный состав радиоактивной примеси, используя показания спектрометрического оборудования или, в случае его отказа, показания датчиков АСКРО, [11] определяя спектр и среднюю энергию фотонного излучения в этом случае, и осуществляет прогнозирование радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население, обеспечивая, таким образом, руководство АЭС информацией для принятия соответствующего решения.

В случае отказа спектрометрического оборудования, задача прогнозирования радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население в условиях направленного выброса, характеризуемого шлейфом факела выбросов, решается следующим образом:

1) Факел выбросов в направлении его распространения в атмосфере аппроксимируют линейным источником с заданной плотностью, как функцией расстояния от источника.

2) Определяют точку центра масс на прямой (крупные точки на заданных направлениях).

3) Используя показания датчиков системы АСКРО и специальное математическое обеспечение, [12–14] определяют спектральный состав фотонного излучения и его среднюю энергию.

4) Осуществляют прогнозирование распространения радиоактивной примеси в атмосфере, используя специальное математическое обеспечение, [15,16] и проводят оценку дозовых нагрузок на персонал и население в условиях радиационной аварии, обеспечивая, таким образом, руководство АЭС необходимой информацией для принятия соответствующих решений (профилактика, эвакуация по желанию, принудительная эвакуация и т.д.), позволяющих минимизировать последствия радиационных аварий.

Литература

1. Хамьянов Л.П., Елохин А.П., Рау Д.Ф., Чистохин В.М. Автоматизированная система радиационного контроля на АЭС. Теплоэнергетика, Энергоатомиздат, 1989, №12, с.21–23.

2. Учет дисперсионных параметров атмосферы при выборе площадок для атомных станций. Руководство по безопасности (серия изданий по безопасности) № 50–SG-S6. Вена: МАГАТЭ, 1982г.105 с.

3. Иванов Е. А., Хамьянов Л.П., Кочетков О.А. и др. Расчет и обоснование размеров санитарно-защитных зон и зон наблюдения вокруг АЭС. Методические указания МУ 2.6.1.42–01. М., Федеральное управление медико-биологических и экстремальных проблем, 2001, 26 с.

4. Елохин А.П. Рау Д.Ф. Система контроля радиационной обстановки в зонах размещения объектов атомной промышленности. Патент РФ № 2042157 20.08.96 бюллетень 23.

5. Елохин А.П. Принципы размещения датчиков мощности дозы вокруг АЭС. Атомная энергия, т.76, вып.3, март, 1994 с. 188 – 193.

6. Khalupkova G.I., Elokhin A.P., Raou D.F., Ryzov N.V., Skatkin V.M., Parishev V.Y. TACIS-91 Nuclear Safety. Projekt 1.11: Development of Automatic control system of Radiation dose level. Task: Determination of Suitable Monitoring System-Prediction of Contamination. Moscow, 1995, Doc.№RGR0017, p.1–16

7. Автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО) в районе размещения Калининской АЭС. Проектно-сметная документация пускового комплекса АСКРО. Проект. Пояснительная записка. МИНАТОМ РФ, ГНИПКИИ АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ, 1995, 26с.

8. Разработка автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) в районе размещения Калининской АЭС. Москва, АТОМЭНЕР-ГОПРОЕКТ, дог. №66П/258 от 30.11.92.

9. Рабочая документация по привязке АСКРО к площадке Балаковской АЭС. Москва, АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ, дог. №95–66П/120 30.10.95–28.12.97.

10. Елохин А.П., Жилина М.В. (НТЦ ЯРБ), Рау Д.Ф., Иванов Е.А. (ВНИИАЭС). Положение о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на

персонал и население. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РБ – 053 – 09. Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.06.2010 г. № 465. 79 с.

11. Елохин А.П., Жилина М.В. (НТЦ ЯРБ). Оценка спектральных характеристик фотонного излучения по показаниям гамма-датчиков. «Экологические системы, приборы», 2011, №5, стр. 31–42.

12. Scofield N. Proc. Symp. NAS-NS 3017, 1962, p.108.

13. Su Y. Study of scintillation spectrometry unfolding methods // Nucl. Instr. Meth., 1967, v.54, p.109–115.

14. Fabian H.U., Nemsman U. Determination of the energy spectrum of a gamma-ray flash // Atomkernenergie, 1970, BD 16, S. 143–145.

15. Методы расчета распространения радиоактивных веществ в окружающей среде и доз облучения населения. М.: МХО ИНТЕРАТОМЭНЕРГО, 1992, 334 с.

16. Методика расчета рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах. РД 52.18.717–2009. Обнинск: ООО «Принт-Сервис», 2009, 113с.

17. Методические указания по расчету радиационной обстановки в окружающей среде и ожидаемого облучения населения при кратковременных выбросах радиоактивных веществ в атмосферу. МПА–98. Минатом России, 1998.

Елохин Александр Прокопьевич – доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

E-mail: APElokhin@mephi.ru

Рау Дмитрий Федорович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник центра по радиационной безопасности, охране окружающей среды и техники безопасности персонала АЭС.

Жилина Мария Владимировна – инженер, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

E-mail: mashazhilina@mail.ru

Elokhin Alexander P. – Doctor of Technical science, Professor, National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: APElokhin@mephi.ru

Raou Dmitriy F. – candidate of Technical science, senior staff scientist of the Centre for Radiation Safety, Environmental Protection and NPP Personnel Safety Engineering.

Zhilina Maria V. – engineer, National Research Nuclear University «MEPhI».

E-mail: mashazhilina@mail.ru

УДК 536.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОРПУС ТРАНСПОРТНО-УПАКОВОЧНОГО КОМПЛЕКТА

О.А. Губеладзе, В.А. Москаев

Ростовский военный институт ракетных войск (РВИРВ)	Rostov Military Institute of Rocket Troops (RMIRT)
---	---

В статье рассматривается высокотемпературное воздействие на корпус транспортно-упаковочного комплекта, выполненного из органопластика, в зоне пожара. Представлены результаты его математического и физического моделирования. Были проведены экспериментальные исследования образцов двухслойной конструкции транспортно-упаковочного комплекта и анализ их результатов с помощью фрактальной размерности процесса остывания внешней поверхности образцов, которые позволили выявить дефектные участки стенок конструкции.

Ключевые слова: тепловое воздействие, транспортно-упаковочный комплект.

The high-temperature influence on the transport packaging kit body in the fire area made from organoplastic is discussing in the article. The results of its mathematical and physical modeling are represented. Experimental research samples of two transport packaging design and analysis of their results using the fractal dimension of the process of cooling of the outer surface of the samples were conducted, which have identified defective construction wall areas

Keywords: thermal effects, transport packaging.

Исследуем высокотемпературное воздействие на корпус транспортно-упаковочного комплекта (ТУК) в зоне пожара (многослойная цилиндрическая тонкостенная оболочка с внутренним радиусом $r_{\text{вн}}$, длиной l). Дифференциальное уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах:

$$\frac{\partial \Theta_i(\eta_i, F_0)}{\partial F_0} = \kappa_i \left[\frac{\partial^2 \Theta_i(\eta_i, F_0)}{\partial \eta_i^2} + \frac{1}{\eta_i} \frac{\partial \Theta_i(\eta_i, F_0)}{\partial \eta_i} \right],$$

где $\kappa_i = \frac{a_i}{a_{\text{min}}}$, a_{min} – наименьшая теплопроводность;

$\eta_i = \frac{r_i}{r_n}$, r_i^0 – внутренний радиус i -го слоя;

r_i^N – внешний радиус i -го слоя;

$\Theta_i(\eta_i, F_0) = \frac{T_c^2 - T_i}{T_c^2 - T_0}$ – относительная избыточная температура i -го слоя;

$F_0 = \frac{a\tau}{\delta^2}$ – число Фурье;

$\delta = \sum_{i=1}^n \delta_i$ – толщина конструкции комплекта.

Изменением температуры в окружном направлении пренебрегаем $\left(\frac{\partial \varphi}{\partial \tau}\right) = 0$.

Начальное условие:

$$\Theta_i = (\eta_i, Fo)_{|Fo=0} = f_i(\eta_i).$$

Граничные условия:

$$\frac{\partial \Theta_1(\eta_1^0, Fo)}{\partial \eta_1} + Bi_1 [\Theta_1(\eta_1^0, Fo) - D] = 0; \quad (1)$$

$$-\frac{\partial \Theta_n(\eta_n^N, Fo)}{\partial \eta_n} + Bi_n \Theta_n(\eta_n^N, Fo) = 0; \quad (2)$$

$$\Theta_{i-1}(\eta_{i-1}^N, Fo) = \Theta_i(\eta_i^0, Fo); \quad (3)$$

$$h_{i-1} \frac{\partial \Theta_{i-1}(\eta_{i-1}^N, Fo)}{\partial \eta_{i-1}} = h_i \frac{\partial \Theta_i(\eta_i^0, Fo)}{\partial \eta_i}, \quad (4)$$

где $h_i = \frac{\lambda_i}{\lambda}$,

λ – коэффициент теплопроводности слоя с температуропроводностью a ;

$$Bi_1 = \frac{\alpha_1 \delta}{\lambda_1}; \quad Bi_n = \frac{\alpha_2 \delta}{\lambda_n};$$

α_1 и α_2 – коэффициенты теплопередачи на внутренней и внешней поверхностях конструкции транспортно-упаковочного комплекта;

$$D = \frac{T_c^2 - T_c^1}{T_c^2 - T_0} - \text{безразмерная температура.}$$

Общее решение представим в виде суммы:

$$\Theta_i(\eta_i, Fo) = S_i(\eta_i) + P_i(\eta_i, Fo),$$

где $S_i(\eta_i)$ – решение нестационарной задачи при однородных граничных условиях и неоднородных начальных условиях;

$P_i(\eta_i, Fo)$ – решение стационарной задачи теплопроводности при неоднородных граничных условиях (1), (2) и условиях сопряжения (3), (4).

$$S_i(\eta_i) = E_i(\eta_i) + G_i \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

$$\text{где} \quad E_i = \frac{D}{h_i \chi}; \quad G_i = \frac{1}{Bi_2} E_1 + \frac{D}{\chi} \left(\sum_{k=1}^i \frac{\eta_k}{h_k} - \frac{\eta_i}{h_i} \right); \quad \chi = \frac{1}{Bi_2 h_n} + \frac{1}{Bi_1 h_1} + \sum_{k=1}^n \frac{\eta_k}{h_k}.$$

Найдем функции $P_i(\eta_i, Fo)$:

$$\frac{\partial P_i(\eta_i, Fo)}{\partial Fo} = \kappa_i \left[\frac{\partial^2 P_i(\eta_i, Fo)}{\partial \eta_i^2} + \frac{1}{\eta_i} \frac{\partial P_i(\eta_i, Fo)}{\partial \eta_i} \right].$$

Начальные условия:

$$P_i(\eta_i, Fo)|_{Fo=0} = f_i(\eta_i) - S_i(\eta_i).$$

Граничные условия:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_1(\eta_1^0, Fo)}{\partial \eta_1} + Bi_1 P_1(\eta_1^0, Fo) &= 0; \\ -\frac{\partial P_n(\eta_n^N, Fo)}{\partial \eta_n} + Bi_2 P_n(\eta_n^N, Fo) &= 0; \\ P_{i-1}(\eta_{i-1}^N, Fo) &= P_i(\eta_i^0, Fo); \\ h_{i-1} \frac{\partial P_{i-1}(\eta_{i-1}^N, Fo)}{\partial \eta_{i-1}} &= h_i \frac{\partial P_i(\eta_i^0, Fo)}{\partial \eta_i}. \end{aligned}$$

Частное решение системы определяется в виде произведения двух функций, одна из которых, $R_i(\eta_i)$, зависит только от безразмерной координаты η_i , а другая представляет собой функцию числа Фурье:

$$P_i(\eta_i, Fo) = C_1^i \exp\left(-\mu^2 \frac{a\tau}{\delta^2}\right) [C_2^i J_0(\mu\eta_i) + C_3^i Y_0(\mu\eta_i)],$$

где μ – некоторая постоянная;

C_1^i, C_2^i, C_3^i – постоянные интегрирования;

$J_0(\mu\eta_i), Y_0(\mu\eta_i)$ – функции Бесселя первого и второго рода нулевого порядка.

Общее решение

$$P_i(\eta_i, Fo) = \sum_{j=1}^{\infty} C_1^i e^{-\mu_j^2 \kappa_i \tau} [C_{2j}^i J_0(\mu_j \eta_i) + C_{3j}^i Y_0(\mu_j \eta_i)]$$

С учетом $J_0'(z) = -J_1(z)$; $Y_0'(z) = -Y_1(z)$, обозначив $C_{1j}^i \cdot C_{2j}^i = A_j^i$ и $C_{1j}^i \cdot C_{3j}^i = B_j^i$, получим:

– для первого слоя внутренней оболочки:

$$A_j^1 (Bi_1 J_0(\mu_j \eta_1^0) - \mu_j J_1(\mu_j \eta_1^0)) + B_j^1 (Bi_1 Y_0(\mu_j \eta_1^0) - \mu_j Y_1(\mu_j \eta_1^0)) = 0; \quad (5)$$

– для внешнего слоя

$$A_j^n [\mu_j J_1(\mu_j \eta_n^N) + Bi_2 J_0(\mu_j \eta_n^N)] + B_j^n [\mu_j Y_1(\mu_j \eta_n^N) + Bi_2 Y_0(\mu_j \eta_n^N)] = 0. \quad (6)$$

Для внутренних слоев:

$$A_j^{i-1} J_0(\mu_j \eta_{i-1}^N) + B_j^{i-1} Y_0(\mu_j \eta_{i-1}^N) = A_j^i J_0(\mu_j \eta_i^0) + B_j^i Y_0(\mu_j \eta_i^0); \quad (7)$$

$$h_{i-1} [A_j^{i-1} \mu_j J_1(\mu_j \eta_{i-1}^N) + B_j^{i-1} \mu_j Y_1(\mu_j \eta_{i-1}^N)] = h_i [A_j^i \mu_j J_1(\mu_j \eta_i^0) + B_j^i \mu_j Y_1(\mu_j \eta_i^0)]. \quad (8)$$

Составив определитель системы уравнений (5)–(8) относительно неизвестных A_j^i ,

B_j^i и, приравняв его к нулю, разложим по строке. Решив полученное трансцендентное уравнение, найдем положительные корни μ_j . Матрица определителя имеет «ленточный» характер с диагональным расположением отличных от нуля элементов, поэтому неизвестные A_j^i и B_j^i определяются с точностью до некоторой константы, т.е. однозначно могут быть определены только соотношения A_j^i/A_j^n , B_j^i/A_j^n или A_j^i/B_j^n , B_j^i/B_j^n при заданном n .

После прекращения высокотемпературного воздействия на конструкцию необходимо учесть изменения T_c^2 . Если в момент времени τ^* высокотемпературное воздействие прекращается, то решение представим, как сумму для соответствующих моментов времени – результатов решения задачи при T_c^2 , $Bi_2 = \alpha_2 \delta / \lambda_2$, $\tau \in [0; \tau_k]$ и результатов при T_c^{2*} , $Bi_2^* = \alpha_2^* \delta / \lambda_2$, $\tau \in [\tau^*; \tau_k]$. В нашем случае, после прекращения высокотемпературного воздействия продолжаем считать, что наружная поверхность контактирует с внешней средой ($T_c^2 = 950^\circ\text{C}$; $Bi_2 = 170$), а к полученным результатам добавим результаты решения задачи при $T_c^{2*} = -930^\circ\text{C}$; $Bi_2^* = 1,66$ для каждого последующего момента времени (начиная с τ^*).

Оптимальным путем исследования тепловых процессов является использование расчетно-теоретических методов с экспериментальной отработкой и окончательной проверкой при натурных испытаниях. Суть эксперимента сводится к тому, чтобы с помощью некоторой физической модели воспроизвести условия высокотемпературного воздействия на объект. Эффективность данного метода исследования во многом зависит от точности моделирования тепловых процессов.

С целью проведения экспериментальных исследований создана установка Т-653Ф. Использовались фрагменты корпуса ТУК. Теплофизические характеристики материалов корпуса определялись с помощью комплектов ИТ-Л-400 и ИТ-С-400. Запись сигналов термопар производилась осциллографом, а также измерение значений температуры осуществлялось с помощью микровольтнаноамперметра. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

Номер опыта		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Время воздействия $\tau_{\text{воз}}$, с		302	308	296	307	297	305	295	306	304
Время начала роста температур в точке*										
	21	608	606	599	616	608	614	597	614	600
	22	608	606	599	616	608	614	597	614	600
	31	618	614	605	624	615	621	602	623	605
Максимальное приращение температуры ΔT_{max} , град	11	388	395	381	394	385	391	380	390	392
	12	386	395	382	393	384	389	382	391	391
	21	28	36	24	35	26	31	23	30	34
	22	30	37	24	36	27	32	24	33	34
	31	27	35	23	35	24	29	29	30	31
*21, 22 – область сопряжения предпоследнего и последнего слоев конструкции ТУК; 31 – внутренняя поверхность ТУК										

Как показали расчеты по представленной выше модели – даже за незначительный промежуток времени на внешней поверхности достигаются такие значения температуры, при которых органопластики начинают терять свои прочностные

свойства. Для определения времени начала растрескивания использовались фрагменты внешнего слоя корпуса ТУК, из которых были изготовлены образцы (длина×ширина×толщина = 48,7мм × 27мм × 10 мм). С помощью источника тепловыделений создавался поток горячего воздуха T_c . Регистрировалось время начала растрескивания $\tau_{рм}$ материала внешнего слоя ТУК. График с результатами эксперимента представлен на рисунке 1.

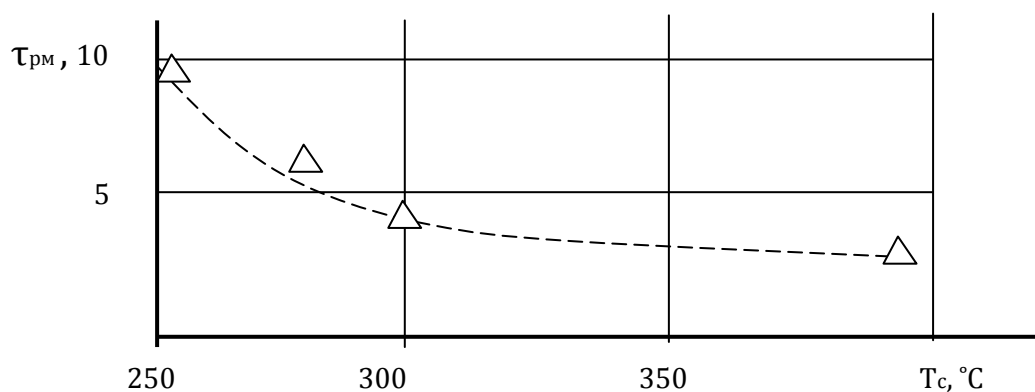


Рисунок 1 – График результатов эксперимента

С целью обнаружения и оценки влияния расслоения между двумя разнородными слоями (органопластиком и пенопластом) в стенке транспортно-упаковочного комплекта на его теплофизические характеристики, были проведены экспериментальные исследования, в ходе которых осуществлялся нагрев образцов размерами 100×100×20 мм. В исследуемых образцах с одного торца были сделаны воздушные прослойки на границе раздела слоев (толщина расслоения 2 мм, длина и ширина 30 мм, глубина залегания 0,01 м от внешних поверхностей слоев). Образцы нагревались со стороны органопластика в течение 300 секунд до температуры ~390 °С на внешней поверхности, затем источник нагрева отключался во избежание начала деструкции органопластика. Значения температур на поверхностях дефектных и бездефектных участков каждого из образцов регистрировались пирометром MiniTemp MT6.

Таблица 2 – Экспериментальные данные остывания внешней поверхности образцов

Бездефектные участки образцов		Дефектные участки образцов	
τ , мин	$T, ^\circ\text{C}$	τ , мин	$T, ^\circ\text{C}$
5,3	370	6,5	263
7,34	216	7,35	236
8,2	190	8	223
9,1	175	8,5	216
10,15	155	9	207
10,44	153	10,5	187
11,59	135	12	154
12,58	126	13	138
14,05	117	14	120
15,3	108	15	111

Построены кривые зависимости средней температуры поверхности внешнего слоя образцов от времени остывания (рис. 2). Функция изменения температуры $T(\tau)$ в бездефектных областях хорошо описывается всего лишь несколькими членами соответствующих уравнений. В дефектных областях требуется больше членов полинома для достижения той же точности аппроксимации.

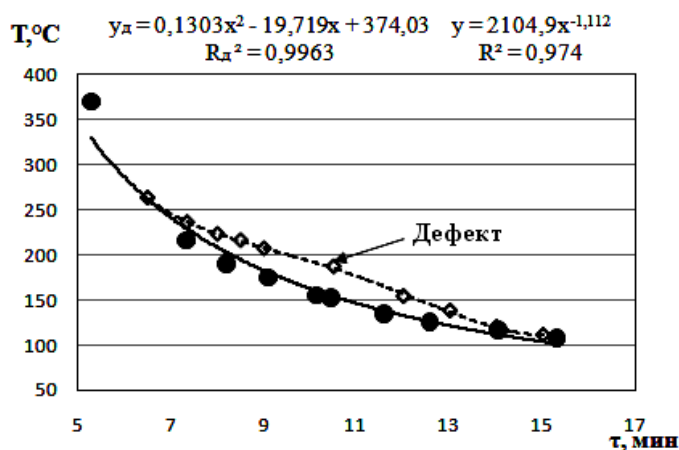


Рисунок 2 – Температурно-временная зависимость остывания внешней поверхности образцов транспортно-упаковочного комплекта

Различие между остыванием дефектных и бездефектных участков двухслойных образцов транспортно-упаковочного комплекта после прекращения высокотемпературного воздействия становится более заметным в логарифмических координатах $\ln(T) - \ln(\tau)$ (рис. 3).

Логарифмическое представление функции $T(\tau)$ помогает интерпретировать результаты теплового контроля двухслойной конструкции транспортно-упаковочного комплекта. Видно, что в логарифмических координатах расслоение между слоями приводит к особенно заметному различию в развитии дефектной и бездефектной температуры. Также из рисунка видно, что конечная длительность импульса приводит к отклонению от прямой в начале процесса, между тем как в конце процесса начинает сказываться конечная толщина образца двухслойной конструкции.

Так как полученные зависимости в логарифмических координатах практически линейны, то значит, процесс остывания поверхности конструкции в рассматриваемом интервале времени обладает фрактальными свойствами, т.е. самоподобием. [1] В этом случае тангенс угла наклона прямой будет отвечать фрактальной размерности D – чем больше угол наклона прямой, тем больше ее значение. В работе [2] было показано, что в случае полуограниченного адиабатического тела соответствующая зависимость выражается строгой прямой линией с наклоном $-0,5$. Тогда фрактальная размерность адиабатического нагрева полуограниченного тела принимает значение $D = \text{tg}(0,5) = 1$.

Полученные результаты расчетов использованы для установления взаимосвязи фрактальной размерности с температурой остывающей поверхности

$$T = k \cdot \tau^{-D}$$

где T – поверхностная температура, К;

k – безразмерный коэффициент, определяемый экспериментально для каждой из рассматриваемой многослойной конструкции;

τ – время, с.

Получена фрактальная размерность для динамического процесса остывания двухслойного образца, который происходит за счет охлаждения поверхности потоком воздуха (описываемого законом Ньютона), а также связан со скоростью распространения изотермической поверхности, пропорциональной величине диффузии внутренней энергии в материале. Так как величина фрактальной размерности рассматриваемого процесса имеет значение $D=1,11 \sim 1$, то исследуемые образцы комплекта можно считать полуограниченными адиабатическими телами.

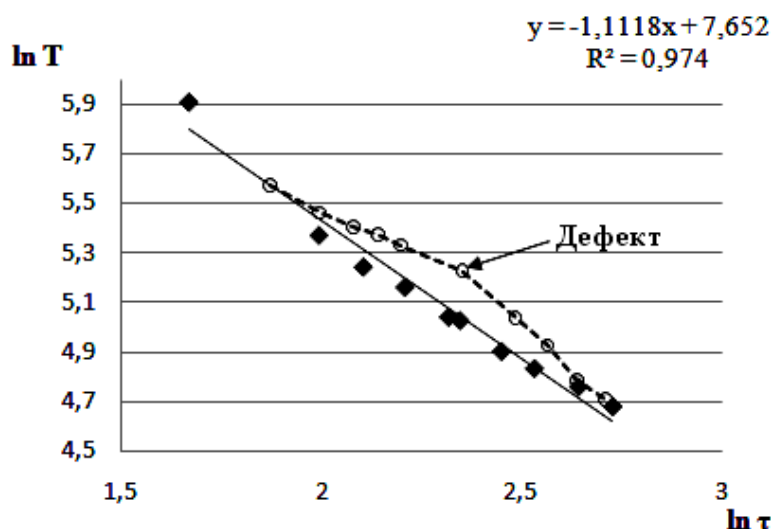


Рисунок 3 – Логарифмическая аппроксимация процесса остывания конструкции

Так как в исследуемых образцах, воздушные промежутки толщиной 2 мм в дефектных участках обладают небольшой теплоемкостью, то основной их теплофизической характеристикой будет являться тепловое сопротивление, значение которого находится из выражения. [2]

$$R_i = l_i / \lambda_i,$$

где l_i – толщина дефектного слоя, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности дефектного слоя, Вт/(м·К).

Как видно из рисунка 3 на границах резистивных дефектов температура изменяется скачкообразно, в то время как тепловой поток остается неразрывным.

Проведенные экспериментальные исследования образцов конструкции транспортно-упаковочного комплекта и анализ их результатов с помощью фрактальной размерности процесса остывания внешней поверхности образцов позволили выявить дефектные участки стенки конструкции.

Литература

1. Иванова В.С. Синергетика и фракталы в материаловедении / В.С. Иванова, А.С. Баланкин, И.Ж. Бунин, А.А. Оксогов. – М., Наука, 1994. 383 с.
2. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М., ИД Спектр, 2009. 544с.

Губеладзе Олег Автандилович – заместитель начальника кафедры №12 Ростовский военный институт ракетных войск. E-mail:sahabudinov@mail.ru

Москаев Вячеслав Александрович – Адъюнкт кафедры №13, Ростовский военный институт ракетных войск (РВИРВ), Ростов-на-Дону.
E-mail: moskaev82@mail.ru

Goubeladze Oleg A.– the deputy chief of department №12, Rostov Military Institute of Rocket Troops. E-mail: sahabudinov@mail.ru

Moskaev Vyacheslav A. – the post-graduate student of the department №13, Rostov Military Institute of Rocket Troops (RMIRT), Rostov-on-Don.
E-mail: moskaev82@mail.ru

УДК 004.942

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СВАРКИ НЕПОВОРОТНЫХ СТЫКОВ ТРУБ ДЛЯ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ТРЕНАЖЁРА СВАРЩИКА

В.В. Кривин, М.Ю. Виниченко., В.А. Толстов

<i>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»</i>	<i>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»</i>
---	--

Описан подход к построению математической модели формирования сварного шва неповоротных стыков труб для использования в мультимедийном тренажёре сварщика.

Ключевые слова: сварка, трубопровод, неповоротный стык, математическое моделирование.

The article describes an approach to modeling of nonrotatable pipes welding joints. The model is intended to be used in multimedia welding simulator.

Keywords: welding, pipeline, nonrotatable joint, mathematical modeling.

При строительстве энергетических объектов и установок необходимо получать неразъёмные соединения металлических конструкций, например, при монтаже трубопроводов. Ручная дуговая сварка (РДС) является одним из самых распространённых способов их получения, особенно в случае неповоротных стыков. Подготовка сварщиков ручной дуговой сварки является сложным и длительным процессом, результатом которого является формирование моторных навыков у обучаемых. Правильность закрепления навыков на реальном процессе определяется субъективной оценкой инструктора при обучении, которая не всегда однозначна. Применение тренажеров для некоторых этапов обучения позволяет оценить действия сварщика в режиме реального времени и тем самым сделать оценки более объективными. Кроме того, возможность записи и последующего анализа сеанса делает обучение более прозрачным, более доступным для анализа как обучаемым, так и инструктором. Для реалистичного изображения процесса сварки в тренажере необходима математическая модель, описывающая процесс формирования сварного шва. В статье «Модель стержневых конечных элементов для теплового расчёта виртуального сварного шва» [1] приведена такая модель для простейшего случая сварки двух плит в нижнем положении.

На рисунке 1 приведена схема взаимодействия математических моделей, используемых в мультимедийном тренажере, и место модели формирования шва в нем.

Для случая формирования сварочного шва неповоротного стыка труб в модель, описанную в работе [1], потребовалось внести ряд изменений. Опишем подробнее полученную модель.

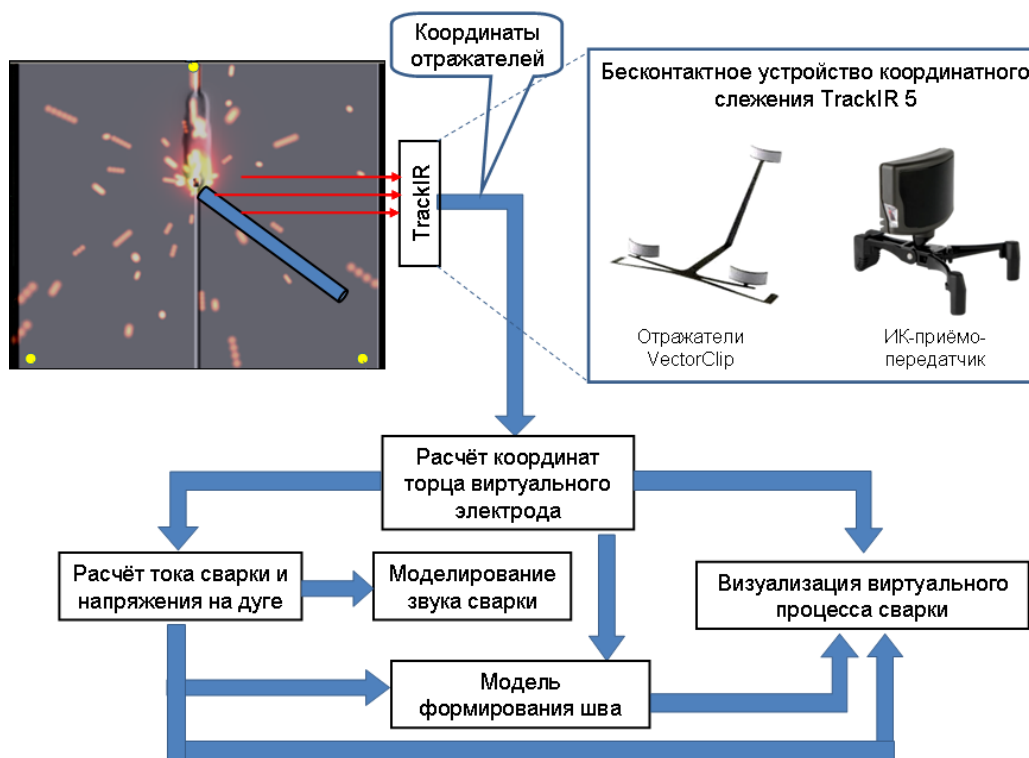


Рисунок 1 – Схема взаимодействия моделей

Главным отличием от модели, рассматриваемой в работе [1], является использование вместо прямоугольной системы координат $(x; y; z)$, связанной с плитой, цилиндрической системы координат $(r; H; \varphi)$, связанной с трубой. Система координат показана на рисунке 2.

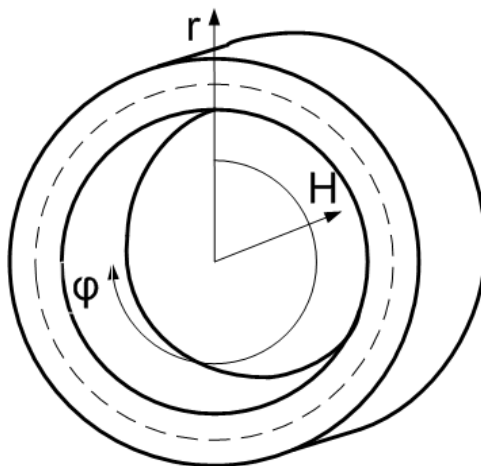


Рисунок 2 – Цилиндрическая система координат трубы

Для оси « h », параллельной оси цилиндра, выбрано нестандартное обозначение « H », т.к. « h » далее обозначает абсолютную высоту точки. При расчете тепло- и массопередачи учитывается, что два из краев «плиты» склеены, т.е. конечные элементы (КЭ) с противоположными границами $\varphi=0^\circ$ и $\varphi=360^\circ$ обмениваются теплом и расплавом.

Для определённости будем считать, что ось H направлена горизонтально. Этот

случай является достаточно общим, чтобы результаты можно было распространить на произвольное пространственное положение труб.

Модель основана на модифицированном методе конечных элементов. В металле труб выделены три слоя с номерами $n=1 \dots 3$:

- $n=1$ – внутренняя поверхность трубы – металл в твердом состоянии;
- $n=2$ – поверхность плавления/кристаллизации;
- $n=3$ – внешняя поверхность расплава.

Эти поверхности аппроксимируются тремя сетками точек:

$$L_{ijn} = (r; H; \varphi) = (r_{ijn}; i \cdot \Delta H; j \cdot \Delta \varphi). \quad (1)$$

где L_{ijn} – точка сетки слоя с номером n ;

ΔH – размер КЭ по оси H ;

$\Delta \varphi$ – размер КЭ по оси φ ,

$i; j$ – индексы точек-вершин КЭ, $i=0, \dots, i_{\max}$; $j=0, \dots, j_{\max}$, причем $j_{\max} \cdot \Delta \varphi = 360^\circ$, $r_{i0, \text{кр}} = r_{i, j_{\max}, \text{кр}}$ и $r_{i0, \text{расп}} = r_{i, j_{\max}, \text{расп}}$.

В частном случае полного расплавления/кристаллизации внутренние/внешние две поверхности сливаются. Слой $n=1$ не меняется во времени, т.е. $r_{ij1} = r_{\text{внутр}}$ (внутренний диаметр труб), т.к. в модели пока рассмотрено формирование только внешней поверхности сварного шва и не учитывается провисание внутренней поверхности при полном проплавлении. В момент моделируемого времени $t=0$ справедливо $r_{ij3} = r_{\text{внеш}}$ (внешний диаметр труб), за исключением области шва, где r_{ij3} задает форму разделки.

Результатом расчетов по модели для ij -й точки n -го слоя L_{ijn} в момент времени t являются величины:

T_{tijn} – температура ($^\circ\text{K}$),

E_{tijn} – теплосодержание ($\text{Дж}/\text{м}^3$),

P_{tij} – давление расплава ($\text{н}/\text{м}^2$) (сумма гидростатического, поверхностного и давления дуги),

r_{tijn} – r -координата.

Дискретные функции $T_{tijn}, E_{tijn}, P_{tij}, r_{tijn}$ используются в тренажере для аппроксимации соответственно недискретизованных функций $T(t, r, H, \varphi)$, $E(t, r, H, \varphi)$, $P(t, H, \varphi)$, $r(t, H, \varphi, n)$ при визуализации процесса РДС. Аппроксимация вдоль всех «ребер» соединяющих точки сети (1) используется линейная, кроме случая определения кривизны поверхности в формуле (17).

При моделировании функций T, E, P, r используются следующие соотношения и особенности этих функций:

T_{tij2} равна температуре плавления стали $T_{\text{плав}}$, кроме случаев полного расплавления/кристаллизации.

$E(t, r, H, \varphi)$ имеет разрыв на поверхности плавления/кристаллизации. Соответствующее дискретное значение E_{tij2} равно теплосодержанию расплава $E(t, r+0, H, \varphi)$, а теплосодержание в этой же точке со стороны твердой фазы равно:

$$E(t, r-0, H, \varphi) = E_{tij2} + Q_{\text{плав}}. \quad (2)$$

где $Q_{\text{плав}}$ – удельная (объемная) теплота плавления стали.

В модели учтены три основных процесса происходящих в металле шва: теплообмен, массообмен и плавление/кристаллизация. Их моделирование в течение

каждого кванта моделируемого времени Δt разделено на три этапа:

1. Поверхностная передача тепла – вдоль поверхностей с одинаковым n . На этом же этапе учитывается внешний теплообмен: отдача тепла во внешнюю среду и получение его от дуги.

2. Передача тепла «вглубь» – вдоль оси r , связанная с плавлением/кристаллизацией, т.е. перемещением слоя $n=2$.

3. Массообмен, т.е. перетекание расплава вдоль осей H, φ и перемещение слоя $n=3$.

Рассмотрим первый этап. Пусть за квант времени Δt поток тепла вдоль «стержня» малого сечения $l \times l$, соединяющего точки L_{ijn} и $L_{i'j'n}$ вызвал изменение теплосодержаний с E_{tijn} на $E_{t+\Delta t,ijn}$ и с $E_{ti'j'n}$ на $E_{t+\Delta t,i'j'n}$. Потоки тепла показаны на рисунке 3а.

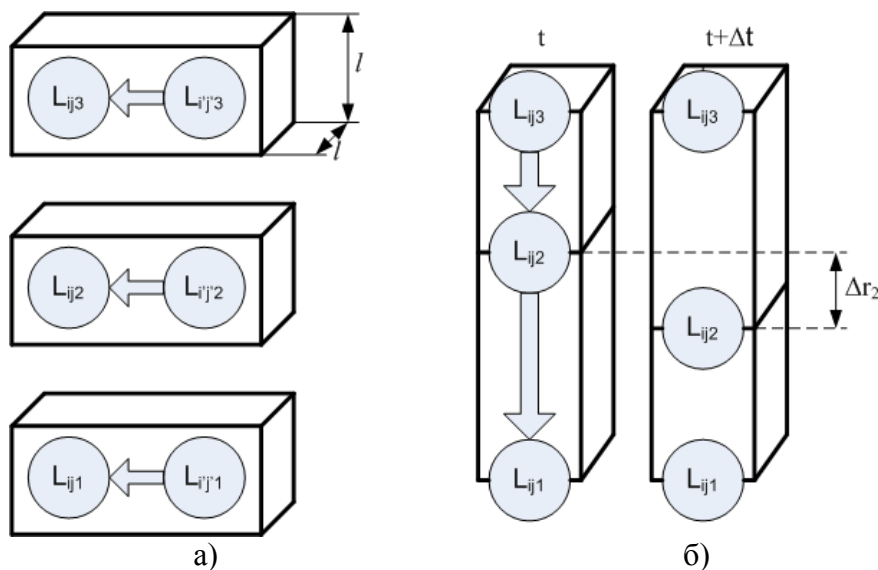


Рисунок 3 – Схемы теплопередачи на этапах:
 а) первый – поверхностная, б) второй – «вглубь»

Тогда общая сумма теплосодержаний не изменилась:

$$E_{t+\Delta t,i'j'n} + E_{t+\Delta t,ijn} = E_{ijn} + E_{i'j'n}. \quad (3)$$

Не изменилось и теплосодержание в центре стержня $E_{\frac{1}{2}}$:

$$E_{\frac{1}{2}} = \frac{E_{t+\Delta t,ijn} + E_{t+\Delta t,i'j'n}}{2} = \frac{E_{ijn} + E_{i'j'n}}{2}. \quad (4)$$

Изменение количества тепла в одной половине равно теплу, протекшему через середину «стержня»:

$$\Delta Q_{ijn}^{\text{половины}} = \left(\frac{E_{t+\Delta t,ijn} + E_{\frac{1}{2}}}{2} - \frac{E_{ijn} + E_{\frac{1}{2}}}{2} \right) l^2 \frac{|L_{ti'j'n} - L_{tijn}|}{2} = \Delta t \lambda_p S \frac{dT}{dx} = \Delta t \lambda_p l^2 \frac{T_{ti'j'n} - T_{tijn}}{|L_{ti'j'n} - L_{tijn}|}; \quad (5)$$

$$E_{t+\Delta t,ijn} = 4\Delta t\lambda \frac{T_{i'jn} - T_{ijn}}{|L_{i'jn} - L_{ijn}|^2} + E_{ijn} . \quad (6)$$

где λ – коэффициент теплопередачи металла.

Окончательное изменение теплосодержания будет равно сумме притока тепла по четырем направлениям:

$$E_{t+\Delta t,ijn} = 4\Delta t\lambda \sum_{i'j'} \frac{T_{i'jn} - T_{ijn}}{|L_{i'jn} - L_{ijn}|^2} + E_{ijn} . \quad (7)$$

С учетом потоков тепла во внешнюю среду и от дуги получим:

$$E_{t+\Delta t,ijn} = E_{ijn} + \Delta t \left(4\lambda \sum_{i'j'} \frac{T_{i'jn} - T_{ijn}}{|L_{i'jn} - L_{ijn}|^2} + W_{дуги} + T_{ijn}v \right) . \quad (8)$$

где $W_{дуги}$ – удельный (на m^2 поверхности) поток тепла от дуги,
 v – удельный коэффициент теплоотдачи во внешнюю среду.

Новые температуры в конце первого этапа рассчитываются по формуле:

$$T_{t+\Delta t,ijn} = \frac{E_{t+\Delta t,ijn}}{c} . \quad (9)$$

где c – удельная теплоемкость металла.

Рассмотрим второй этап – радиальный теплоперенос. Пусть тепло переносится по стержню малого сечения $l \times l$, соединяющему точки L_{ij1} и L_{ij3} . За квант времени Δt этот перенос привел к изменению теплосодержаний E_{ij1} на ΔE_1 и E_{ij3} на ΔE_3 и сдвигу r_{ij2} на Δr_2 :

$$r_{t+\Delta t,ij2} = r_{ij2} + \Delta r_2 ; E_{t+\Delta t,ij1} = E_{ij1} + \Delta E_1 ; E_{t+\Delta t,ij3} = E_{ij3} + \Delta E_3 . \quad (10)$$

Так как сумма теплосодержаний в частях стержней не изменилась, то с учётом линейной аппроксимации:

$$\begin{aligned} (E_{t+\Delta t,ij1} + E_{t+\Delta t,ij2} - Q_{плав})(r_{t+\Delta t,ij2} - r_{ij1}) + (E_{t+\Delta t,ij2} + E_{t+\Delta t,ij3})(r_{ij3} - r_{t+\Delta t,ij2}) = \\ (E_{ij1} + E_{ij2} - Q_{плав})(r_{ij2} - r_{ij1}) + (E_{ij2} + E_{ij3})(r_{ij3} - r_{ij2}) \end{aligned} \quad (11)$$

Упрощая и пренебрегая величинами второго порядка, получим:

$$(E_{ij1} + 2E_{ij2} + E_{ij3} - Q_{плав})\Delta r_2 + \Delta E_1(r_{ij2} - r_{ij1}) + \Delta E_3(r_{ij3} - r_{ij2}) = 0 . \quad (12)$$

Кроме того, тепло, прошедшее через границы r_{ij2} и $r_{t+\Delta t,ij2}$ должно быть равно изменениям количества тепла в соответствующих частях «ребра». В твердой части стержня справедливо соотношение:

$$\frac{E_{t+\Delta t,ij1} + E_{t+\Delta t,ij2} - Q_{\text{плав}}}{2} l^2 (r_{t+\Delta t,ij2} - r_{t+\Delta t,ij1}) - \frac{E_{\text{тj1}} + E_{\text{тj2}} - Q_{\text{плав}}}{2} l^2 (r_{\text{тj2}} - r_{\text{тj1}}) =$$

$$= \Delta t l^2 \lambda \frac{T_{\text{тj1}} - T_{\text{плав}}}{r_{\text{тj2}} - r_{\text{тj1}}} \quad (13)$$

Отсюда:

$$\Delta E_1 (r_{\text{тj2}} - r_{\text{тj1}}) + (E_{\text{тj1}} + E_{\text{тj2}} - Q_{\text{плав}}) \Delta r_2 = 2 \Delta t \lambda \frac{T_{\text{тj1}} - T_{\text{плав}}}{r_{\text{тj2}} - r_{\text{тj1}}}. \quad (14)$$

Аналогичное соотношение для расплава:

$$\Delta E_3 (r_{\text{тj3}} - r_{\text{тj2}}) - (E_{\text{тj3}} + E_{\text{тj2}}) \Delta r_2 = 2 \Delta t \lambda \frac{T_{\text{плав}} - T_{\text{тj3}}}{r_{\text{тj3}} - r_{\text{тj2}}}. \quad (15)$$

Таким образом, получаем систему трех линейных уравнений (12, 14, 15) из которых находим неизвестные Δr_2 , ΔE_1 , ΔE_3 , а по ΔE_1 и ΔE_3 находим новые температуры на поверхностях труб.

Для расчёта массопереноса рассмотрим тонкий слой толщиной l , перпендикулярный оси Н. Пусть в этом слое из точки L_{ij3} в точку $L_{ij+1,3}$ перетекает малая масса расплава M , как показано на рисунке 4. Переместившаяся масса M должна пересечь границу клеток сетки z , поэтому выполнено приближенное соотношение:

$$M = \rho V l r_r \Delta t. \quad (16)$$

где V – скорость течения, м/с;

ρ – плотность расплава, кг/м³.

$r_z = (r_{ij3} - r_{ij2} + r_{i,j+1,3} - r_{i,j+1,2}) / 2$ – длина сечения четырёхугольника с расплавом границей z .

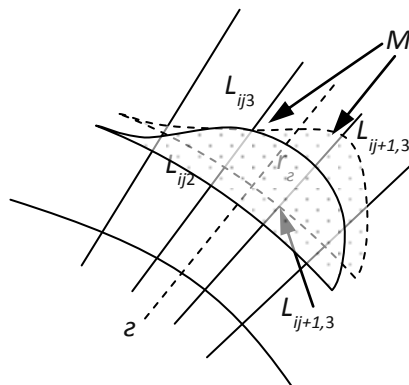


Рисунок 4 – Схема для расчета массопереноса

Разность потенциальной энергии перенесенной массы переходит в кинетическую энергию перетекающей жидкости. При вычислении потенциальной энергии необходимо учесть поверхностное давление $P_{\text{нов}}$, определяемое по формуле Лапласа:

$$P_{\text{пов}} = \sigma \left(\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_y} \right) \quad (17)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м;
 R_x, R_y – два главных радиуса кривизны в точке поверхности, м.

Главные радиусы вычисляются с помощью квадратичной аппроксимации соседних точек поверхности расплава. Наличие $P_{\text{пов}}$ эквивалентно наличию дополнительного столба жидкости, а вынесение ее малого объема из области под давлением – эквивалентно опусканию такого же объема сверху этого столба. Поэтому удельная (объемная) потенциальная энергия жидкости на ее поверхности равна:

$$e_{\text{уд}} = \rho gh + P_{\text{пов}}. \quad (18)$$

Аналогично действует и давление дуги, поэтому будем далее считать его включенным в $P_{\text{пов}}$. Разница давлений воздействует на весь слой жидкости, поэтому перемещается весь четырехугольник $L_{ij3}L_{i,j+1,3}L_{i,j+1,2}L_{ij2}$:

$$\frac{\rho l S V^2}{2} = Mgh_{ij} + P_{\text{пов},ij} \frac{M}{\rho} - Mgh_{i,j+1} - P_{\text{пов},i,j+1} \frac{M}{\rho}. \quad (19)$$

где S – площадь четырехугольника.

Подставляя в (19) соотношение для массы (16), получаем:

$$V = 2r_r \Delta t \frac{\rho gh_{ij} + P_{\text{пов},ij} - \rho gh_{i,j+1} - P_{\text{пов},i,j+1}}{\rho S}. \quad (20)$$

Определив скорость перетекания, рассчитываем перетекшую массу M , а из нее получим изменение r_{ij3} .

Таким образом, сформирована математическая модель переноса металла в неповоротном стыке при сварке труб. Внедрение данной модели в мультимедийный тренажер для обучения РДС позволит обучаемому сварщику и инструктору наблюдать формирование данного вида соединений. Реализация модели на момент публикации находится в стадии отладки.

Литература

1. Кривин В.В., Виниченко М.Ю., Толстов В.А. Модель стержневых конечных элементов для теплового расчёта виртуального сварного шва. // Актуальные вопросы развития современной науки, техники и технологий: Материалы IV Всерос. науч.-практ. (заоч.) конф. (Москва, 27-29 апр. 2011 г.) – М.: НИИРРР, 2011. – С.89-94.
2. Кривин В.В., Виниченко М.Ю., Ишигов И.О., Толстов В.А. Математическая модель для имитации сварочного процесса в виртуальном тренажере сварщика. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. - 2009. - Спец. вып. – С. 61-64.
3. Виниченко М.Ю., Толстов В.А. Проверка адекватности тепловой модели стержневых конечных элементов для расчёта виртуального шва. // Динамика научных

исследований: Материалы VII Международ. науч.-практ. конф. (Пжемьшль, 5-17 июля 2011 г.) – Sp.z.o.o. «Nauka I studia», 2011. – С.31-34.

4. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

5. Трофимова Т.И. Курс физики. 11-е изд. – М.: Академия, 2006. – 560 с.

Кривин Валерий Вольфович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные и управляющие системы», Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». E-mail: VVKrivin@mephi.ru

Виниченко Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, кафедра «Информационные и управляющие системы», Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Толстов Виктор Андреевич – ассистент кафедры «Информационные и управляющие системы», Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Krivin Valery V. – Doctor of Technical science, Professor, head of the Information and managing systems department, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: VVKrivin@mephi.ru

Vinichenko Michael Y. – candidate of Technical science, associate professor, the Information and managing systems department, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI».

Tolstov Viktor A. – assistant, the Information and managing systems department. Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: tolstov_victor@mail.ru

Г
Л
О
Б
А
Л
Ь
Н
А
Я

Я
Д
Е
Р
Н
А
Я

Б
Е
З
О
П
А
С
Н
О
С
Т
Ь

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АЭС

УДК 621.039

ОБОСНОВАНИЕ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ЗАЩИТНЫХ ОБОЛОЧЕК АЭС С ВВЭР-1000

М.Б. Бакиров, В.А. Муранов, А.С. Киселев, В.Н. Медведев

<i>ООО «Научно-сертификационный учебный центр материаловедения и ресурса компонентов ядерной техники «Центр материаловедения и ресурса»(ООО «НСУЦ «ЦМур») г. Жуковский, Московской обл.</i>	<i>Scientific Certification Training Center for Materials and Resource of Nuclear Technology Components “Center for Materials Science and Resource” Ltd. (SCTC CMSR Ltd.), Zhukovsky city, Moscow region</i>
--	---

В связи с окончанием проектного срока эксплуатации защитной оболочки энергоблока № 5 Нововоронежской АЭС впервые в отечественной практике выполнены работы по обоснованию продления ее проектного срока службы на дополнительные 30 лет. Приведены основные этапы этой работы, особенности расчетного анализа напряженно-деформированного состояния сооружения и процедуры натурного обследования, которые послужили основой для обоснования возможности продления срока службы защитной оболочки энергоблока № 5 Нововоронежской АЭС и заложили основные требования на проведение работ по управлению ресурсными характеристиками защитной оболочки АЭС с ВВЭР.

Ключевые слова: защитная оболочка, управление сроком службы, обследование, расчет, напряжение, усилие.

In connection with the ending of the design life cycle of Unit number 5 containment of Novovoronezh NPP, for the first time in our country there have been executed works on substantiation of containment service life extension for additional 30 years. The article gives the main stages of this work, the design analysis features of the stress-strain facilities condition and procedures of full-scale inspections, which have formed the basis for substantiation of service life extension possibility of Unit number 5 containment of Novovoronezh NPP and laid the basic requirements for carrying out works on the resource characteristics management of containment of NPP with WWER.

Keywords: containment, service life management, inspection, calculation, tensile strength, stress.

Введение

Построенные в нашей стране, защитные оболочки АЭС относятся к одинарному типу защитных оболочек и совмещают локализирующие функции в случае возникновения аварийной ситуации с функциями восприятия внешних климатических и техногенных воздействий.

Защитная оболочка представляет собой сложную конструкцию, выполненную из предварительно-напряженного железобетона. Она состоит из фундаментной конструкции, цилиндрической части и пологого купола. Внутренний диаметр оболочки составляет 45 м, высота 76 м (см. рисунок 1). Толщина стен цилиндрической части – 1,20 м, пологого купола 1,10 м. Толщина металлической облицовки составляет 8 мм.

Геометрический объем 85000 м³.

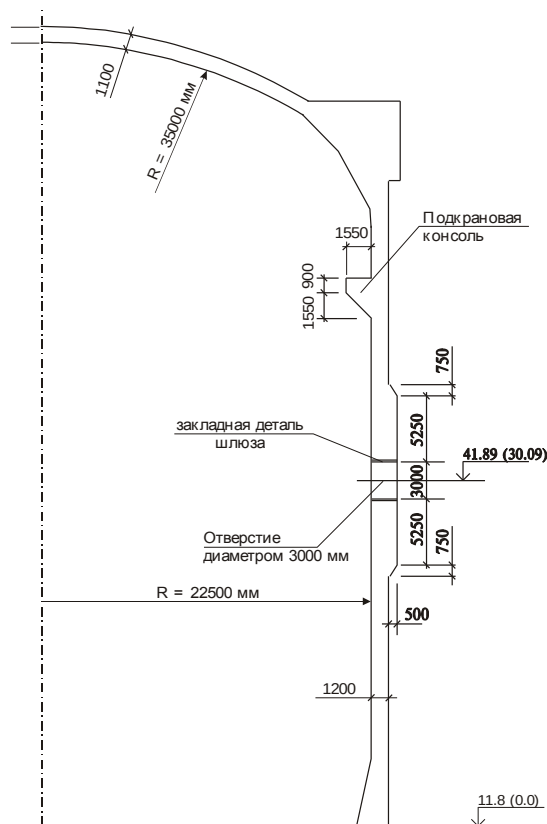


Рисунок 1 – Геометрические размеры защитной оболочки 5-го энергоблока Нововоронежской АЭС

В настоящее время наступает период окончания проектных сроков эксплуатации защитных оболочек ряда АЭС, включая 5-й энергоблок Нововоронежской АЭС, 1 и 2 энергоблок Калининской АЭС и др. В этой связи требуется выполнить работы по продлению срока службы защитной оболочки.

Впервые в отечественной практике ООО «НСУЦ «ЦМиР» в 2008–2009 гг. были выполнены работы по обоснованию продления срока службы защитной оболочки 5-го энергоблока Нововоронежской АЭС.

Защитная оболочка 5-го энергоблока Нововоронежской АЭС возведена за период с апреля 1976 года по октябрь 1978 года. Работы по преднапряжению защитной оболочки были выполнены в течение трех месяцев с 12 июня по 29 августа 1979 г. Цилиндр и купол сооружения преднапряжены арматурными пучками из высокопрочной проволоки диаметром 5 мм с усилием натяжения арматурных канатов 1000 т. В цилиндре принята геликоидальная схема расположения канатов, в куполе – ортогональная. Арматурные канаты установлены в полиэтиленовых трубах – каналобразователях. Количество арматурных канатов: в цилиндрической части – 184 шт; в куполе – 76 шт.

Приемо-сдаточные испытания защитной оболочки избыточным давлением до 4,15 кгс/см² проводились с 30 ноября по 30 декабря 1979 г.

Современный уровень знаний о долговечности железобетонных конструкций не позволяет достаточно точно оценить долговечность и конкретный срок службы

железобетонной конструкции. В этом случае представляется возможным лишь установить, имеется ли ресурс ее дальнейшей эксплуатации.

Для оценки ресурса защитной оболочки энергоблока № 5 Нововоронежской АЭС произведена оценка ее технического состояния и выполнены поверочные расчеты.

1. Нормативная база

Основным документом, который использовался при выполнении работ по оценке ресурса защитной оболочки, являлся РД ЭО 0538-04 «Методика по обоснованию срока службы защитных оболочек атомных электростанций с ВВЭР-1000». [Л. 1] Данный документ был разработан специалистами ООО «НСУЦ «ЦМиР» совместно с ОАО «Атомэнергопроект» по заказу ОАО «Концерн Росэнергоатом».

При выполнении работ использовались и другие нормативные документы, включая свод правил СП 13-102-2003 [Л. 2], в котором приведены основные положения, регламентирующие общий порядок подготовки, проведения и оформления результатов обследований несущих строительных конструкций зданий и сооружений и оценки их технического состояния.

2. Основные этапы работы

Основные этапы работы следующие:

- сбор и анализ исходных данных о состоянии защитной оболочки;
- расчетный анализ защитной оболочки в целях определения наиболее нагруженных зон, для которых требуется выполнение визуального, инструментального контроля и лабораторных исследований;
- разработка рабочей программы комплексного обследования защитной оболочки с помощью безобразцового контроля;
- проведение лазерного сканирования, визуальный и инструментальный контроль элементов защитной оболочки, а также лабораторные исследования контрольных образцов;
- проведение дополнительного инструментального контроля элементов защитной оболочки в зимний период;
- выполнение поверочных расчетов защитной оболочки;
- выдача заключения и проекта технического решения на дополнительный 30-летний срок эксплуатации.

2.1 Сбор и анализ исходных данных

Для оценки технического состояния защитной оболочки осуществлен сбор, обобщение и анализ следующих исходных данных:

- проектная, конструкторская, монтажная и эксплуатационная документация (проектные и фактические геометрические параметры защитной оболочки, схемы расположения арматурных канатов и стержневой арматуры, фактическое количество установленных арматурных канатов), включая проектные расчеты на прочность, режимы нагружения и т.д.;
- схемы размещения контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), установленной в теле защитной оболочки;
- результаты входного и эксплуатационного контроля за весь период эксплуатации, показания КИА с момента установки датчиков по настоящее время,

температурные данные внутри и снаружи защитной оболочки;

- сведения о ремонтах, замене и реконструкциях элементов защитной оболочки;
- данные по фактическим режимам нагружения элементов защитной оболочки;
- данные контрольно-профилактических работ (КПР).

На основе анализа полученных данных о состоянии защитной оболочки выполнены детальные численные расчеты с использованием объемной расчетной модели оболочки, учитывающей основные особенности работы конструкции.

2.2 Расчетная оценка защитной оболочки

Учитывая значительные геометрические размеры защитной оболочки, расчетный анализ напряженно-деформированного состояния конструкции выполнялся в целях определения наиболее нагруженных зон, для которых требуется выполнение визуального, инструментального контроля и лабораторных исследований.

Конструкция защитной оболочки 5-го энергоблока Нововоронежской АЭС имеет ряд конструктивных особенностей, которые учтены при выполнении расчетов напряженно-деформированного состояния (НДС) защитной оболочки.

С точки зрения геометрии конструкции, оболочка не является осесимметричной из-за наличия двух крупных технологических проходов диаметром 4 и 3 метра с достаточно сложной геометрией наружных утолщений. Кроме того, схема нагружения оболочки преднапряжением не является симметричной и имеет весьма сложный характер в районе технологических проходов. Это обуславливает необходимость выполнения расчетов в объемной постановке и построения объемной конечно-элементной модели оболочки.

На рисунке 2 представлен общий вид объемной конечно-элементной расчетной модели защитной оболочки 5-го энергоблока Нововоронежской АЭС, разработанной для анализа НДС конструкции, включающей 366992 конечных элемента, 402378 узлов (более 1200000 степени свободы).

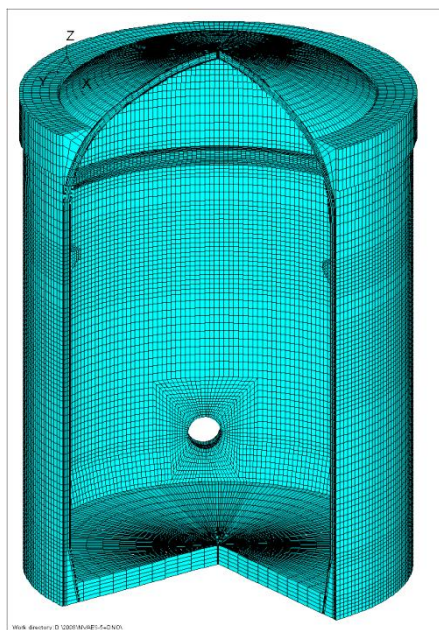


Рисунок 2 – Конечноэлементная расчетная модель защитной оболочки пятого энергоблока Нововоронежской АЭС

В расчетах учитывалось:

- неоднородный состав материалов защитной оболочки;
- действие нагрузки от предварительного напряжения арматурных канатов с учетом их расположения в однородной зоне и в зоне крупных технологических проходов;
- различная величина усилий в канатах и снижение усилий натяжения по длине канатов, которое зависит от величины коэффициента трения и угла изгиба каната, потерь усилий при анкеровке канатов;
- особенности формирования напряженно-деформированного состояния в строительный период и в период преднапряжения защитной оболочки;
- происшедшие в ходе эксплуатации изменения напряженно-деформированного состояния за счёт релаксации напряжений в канатах;
- действие нагрузки от собственного веса конструкции;
- результаты многолетних наблюдений и обследований физико-механических свойств и целостности элементов защитной оболочки;
- действие на конструкцию внешних и внутренних температурных нагрузок.

Результаты расчета показали, что в куполе необходимо обследовать зону сопряжения купола с опорным кольцом (см. рисунок 3). При этом рекомендуется обследовать облицовку на предмет целостности и прилегания к бетону изнутри оболочки, поскольку здесь имеют место наибольшие сжимающие напряжения, которые возрастают в течение эксплуатации из-за ползучести и усадки бетона.

В цилиндрической части защитной оболочки определены следующие зоны, требующие повышенного внимания (см. рисунок 4):

- в средней части в зоне технологической проходки диаметром 3 м;
- в нижней части в зоне технологической проходки диаметром 4 м;
- в области сопряжения цилиндра с фундаментной плитой;
- в зоне сопряжения цилиндрической части с опорным кольцом;
- в зоне расположения подкрановой консоли.

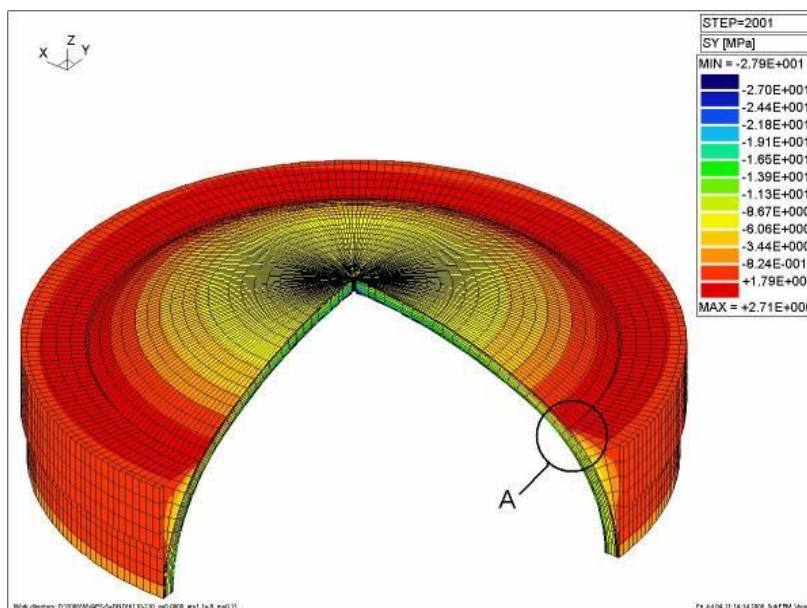


Рисунок 3 – Наиболее нагруженная зона на куполе защитной оболочки

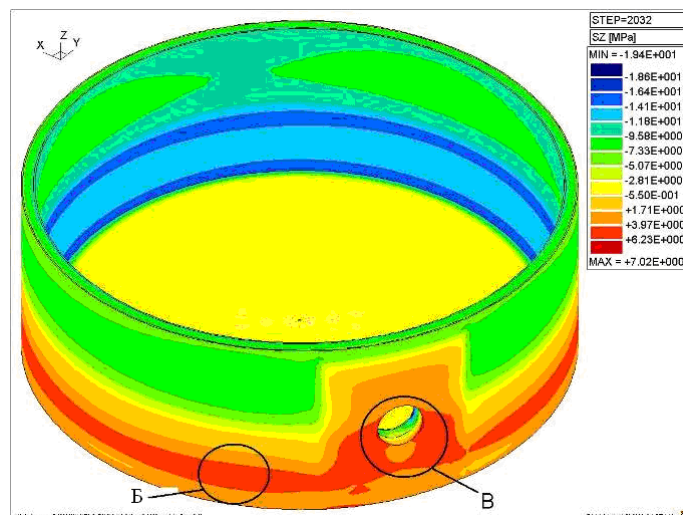


Рисунок 4 – Наиболее нагруженные области в нижней части защитной оболочки в зоне технологической проходки диаметром 4 м

2.3 Разработка рабочей программы комплексного обследования защитной оболочки

Программа обследования защитной оболочки для оценки технического состояния и остаточного ресурса герметичного ограждения разработана на основе анализа базы данных и полученных результатов численных расчетов. При этом определена стратегия натурного контроля защитной оболочки:

- составлен перечень зон для проведения обследования защитной оболочки;
- выбраны методы и средства натурного контроля, исходя из предварительного анализа требований к определению физико-механических свойств;
- определены необходимые объемы работ по натурному контролю.

2.4 Обследование защитной оболочки

Учитывая большую поверхность защитной оболочки, инструментальный контроль ее состояния следует проводить, во-первых, в местах, где при проведении визуального контроля были выявлены видимые дефекты, а во-вторых, в местах, где на основании выполненных предварительных расчетов получены высокие уровни напряжений в бетоне и арматуре сооружения.

Обследование защитной оболочки включало:

- визуальный и инструментальный контроль железобетонных конструкций защитной оболочки с целью определения физико-механических свойств и целостности обследуемых элементов;
- визуальный и инструментальный контроль металлической облицовки защитной оболочки с целью определения физико-механических свойств и целостности обследуемых элементов;
- лазерное сканирование внутренней и внешней поверхности защитной оболочки, с целью определения фактических геометрических размеров защитной оболочки и их изменение в зависимости от времени года (зима – лето) за счёт сезонных колебаний температур;
- визуальный и инструментальный контроль проходов с целью определения

физико-механических свойств и целостности обследуемых элементов;

– визуальный и инструментальный контроль транспортного люка, основного и аварийного шлюза защитной оболочки с целью определения физико-механических свойств и целостности обследуемых элементов.

При обследовании защитной оболочки впервые в отечественной практике был применен метод лазерного сканирования, который заключается в дистанционном сборе пространственной информации с помощью специализированных приборов – наземных лазерных сканеров (см. рисунок 5).

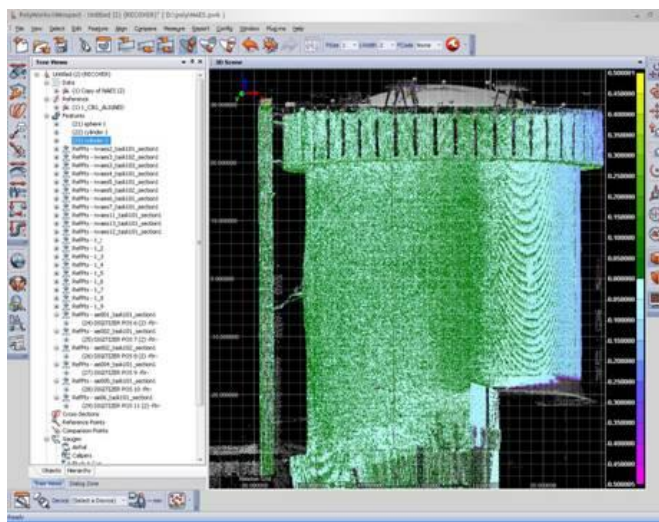


Рисунок 5 – Результаты лазерного сканирования фактической геометрии защитной оболочки

Принцип работы лазерного сканера аналогичен принципу работы безотражательного электронного тахеометра и заключается в измерении времени прохождения лазерного луча от излучателя до отражающей поверхности и обратно до приёмника. Путём деления этого времени на скорость прохождения лазерного луча определяется расстояние до объекта. Измерения происходят со скоростью нескольких тысяч точек в секунду. Углы в данном случае не измеряются, а задаются поворотом зеркала, одновременно регистрируясь запоминающим устройством.

Суть метода состоит в практически мгновенном получении координат десятков тысяч точек, описывающих сканируемый объект. Для этого не нужен непосредственный доступ к объекту, не нужны отражатели или другие приспособления, необходима лишь прямая видимость.

Цель применения данного метода – сбор данных о геометрических размерах элементов строительных конструкций герметичного ограждения для совершенствования расчетного анализа НДС защитной оболочки энергоблока №5 Нововоронежской АЭС на заключительном этапе.

Результаты обследования показали, что в целом техническое состояние защитной оболочки удовлетворительное: дефектов и повреждений, влияющих на снижение несущей способности конструкции, не наблюдается.

Однако, в зимний период эксплуатации защитной оболочки происходит образование трещин на внешней поверхности цилиндрической части оболочки в зоне вута и вблизи опорного кольца, что свидетельствует о необходимости периодического контроля ширины и глубины образования трещин в период дальнейшей эксплуатации

сооружения (см. рисунок 6).

Полученные в ходе обследования защитной оболочки физико-механические характеристики материалов и фактические геометрические параметры использовались в дальнейшем при выполнении поверочных расчетов.

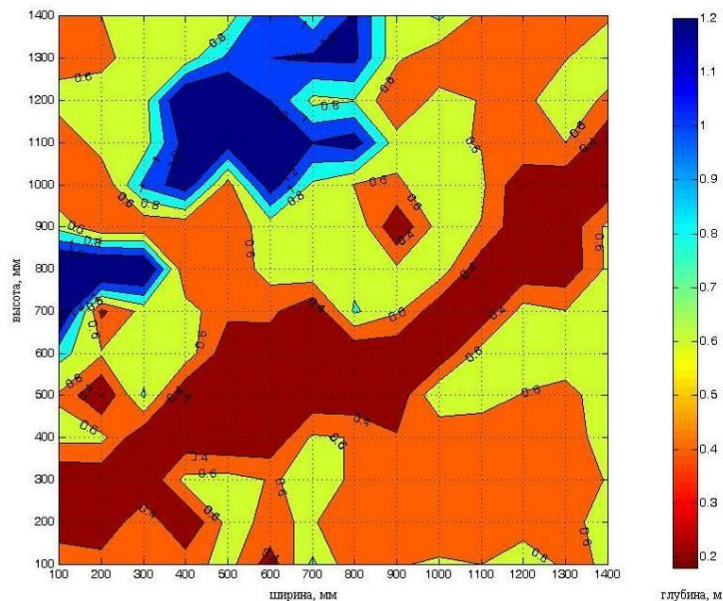


Рисунок 6 – Картограмма ультразвукового контроля несплошностей в цилиндрической части по толщине стенки защитной оболочки

2.5 Поверочные расчеты защитной оболочки

Окончательный вывод о работоспособности защитной оболочки сделан на основе:

- предварительных расчетов состояния оболочки при эксплуатации;
- результатов обследования оболочки;
- расчета напряженно-деформированного состояния защитной оболочки при воздействии аварийной нагрузки.

Расчеты напряженно-деформированного состояния защитной оболочки 5 блока НВАЭС для условий максимальной проектной аварии проведены в нелинейной постановке с учетом возможного образования трещин в бетоне. В расчетах учтены следующие факторы и нагрузки:

- собственный вес конструкции;
- нагрузка от системы преднапряжения;
- нагрузка от аварийного внутреннего давления;
- нагрузка от неравномерных, нестационарных температурных полей;
- нагрузка от распора облицовки;
- нагрузка от самонатяжения канатов системы преднапряжения при деформировании оболочки.

Расчет НДС защитной оболочки проведен при приложении аварийной нестационарной нагрузки (см. рисунок 7) с учетом образования трещин в бетоне. В качестве исходного состояния рассматривалось наиболее неблагоприятное эксплуатационное состояние со средним усилием натяжения канатов системы преднапряжения 750 т и перепадом температур сред внутри и снаружи оболочки от +40°C до –30°C.

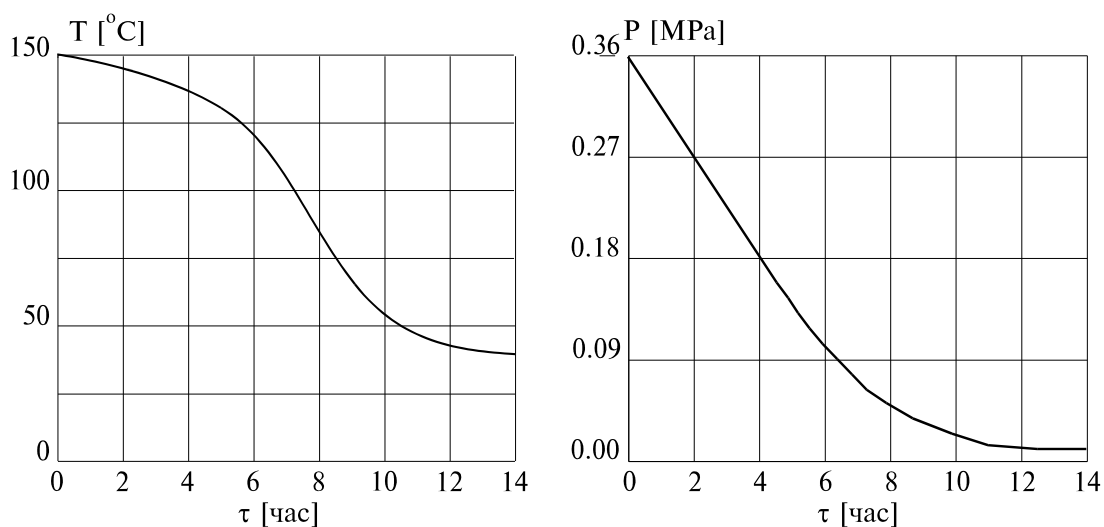


Рисунок 7 – Характер изменения параметров среды под оболочкой при максимально возможной аварии; τ – время от начала аварии

Анализ результатов расчетов показал, что при среднем усилии натяжения арматурных канатов системы преднапряжения величиной 750 т, действующем в настоящее время, не происходит образования сквозных трещин в стенках сооружения, что подтверждает эксплуатационную пригодность защитной оболочки.

3. Обоснование ресурса

На основании результатов визуального, инструментального контроля и лабораторных исследований, а также результатов поверочных расчетов сделано прогнозирование состояния защитной оболочки на продляемый сверхпроектный срок эксплуатации.

В первую очередь анализировались данные об изменении физико-механических свойств материалов защитной оболочки в процессе эксплуатации и их реальные значения на настоящее время, которые были получены в результате натурных измерений с применением специальных методик и оборудования.

При этом, особое внимание уделялось бетону сооружения:

- видимым дефектам, выявленным при визуальном обследовании (глубина и ширина раскрытия трещин их протяженность, места расположения, наличие дефектов в виде увлажнений, высолов и др.);
- состоянию поверхности бетона (плотность, однородность, сцепление цементного камня с заполнителями);
- физико-механическим свойствам бетона (прочность бетона при сжатии R_b , модуль упругости бетона E_b);
- наличию коррозии бетона;
- глубине нейтрализации наружного слоя бетона и величине снижения прочности бетона на этих участках.

Следующим фактором, необходимым для оценки состояния конструкции после длительной эксплуатации, является состояние стержневой арматуры. При этом учитывались:

- наличие коррозии стержневой арматуры, вид коррозии и глубина

проникновения, места возникновения;

- характер уменьшения сечения арматурного стержня (равномерное уменьшение по всей поверхности или резко выраженное язвенное поражение);
- увеличение диаметра арматуры за счет продуктов коррозии и наличие в связи с этим дополнительных напряжений в бетоне.

Особое внимание уделено состоянию металлической облицовки, особенно в зонах усиления, где резко меняется толщина сечения.

Поскольку арматурные канаты системы преднапряжения оболочки установлены в полиэтиленовых каналобразователях и не связаны с бетоном, для поддержания требуемого уровня обжатия сооружения имеется возможность замены и подтяжки отдельных канатов.

Выводы

1. Анализ полученных исходных данных о защитной оболочке энергоблока № 5 Нововоронежской АЭС позволил оценить, произошедшие в ходе эксплуатации, изменения в ее напряженно-деформированном состоянии.

2. Разработанные трехмерные модели и методики расчета напряженно-деформированного состояния защитной оболочки при длительном воздействии эксплуатационной нагрузки (собственный вес + преднапряжение + температура) позволили учесть нелинейные эффекты, связанные с усадкой и ползучестью железобетона, а также образование трещин в бетоне.

3. Результаты расчета защитной оболочки при воздействии эксплуатационной нагрузки позволили определить наиболее нагруженные зоны сооружения, для которых необходимо выполнить визуальный и инструментальный контроль, а также лабораторные исследования.

4. По результатам визуального, инструментального контроля и лабораторных исследований получена информация о состоянии отдельных элементов защитной оболочки и фактические данные о физико-механических свойствах материалов защитной оболочки. Установлено, что свойства материалов соответствуют требованиям действующей нормативной документации.

5. Лазерное сканирование внутренней и внешней поверхности защитной оболочки позволило определить фактические геометрические размеры сооружения и их изменение в зависимости от времени года (зима – лето) за счёт сезонных колебаний температур.

6. Поверочные расчеты защитной оболочки при воздействии эксплуатационных и аварийных нагрузок, выполненные с учетом результатов обследования, показали, что эксплуатационная пригодность защитной оболочки обеспечивается.

7. На основании расчетно-экспериментальной оценки технического состояния защитной оболочки установлено, что сооружение соответствует требованиям эксплуатационной, проектно-конструкторской и нормативной документации, и, таким образом, обоснована возможность дальнейшей эксплуатации защитной оболочки энергоблока № 5 Нововоронежской АЭС.

Рекомендации

Организовать мониторинг изменения геометрических размеров поверхностей трещин в цилиндрической части оболочки с использованием системы on-line мониторинга, разработанного ООО «НСУЦ «ЦМиР».

Провести выборочное измерение дефектности, механических свойств в наиболее нагруженных зонах с целью оценки фактической деформации физико-механических свойств оболочки после первых дополнительных 100 тысяч часов эксплуатации.

Литература

1. РД ЭО 0538-04 «Методика по обоснованию срока службы защитных оболочек атомных электростанций с ВВЭР-1000». Концерн «Росэнергоатом». : М., 2004 г.

2. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Система нормативных документов в строительстве. Свод правил по проектированию и строительству. Госстрой России. – М., 2004 г.

Бакиров Мурат Баязитович – доктор технических наук, генеральный директор, ООО «Научно-сертификационный учебный центр материаловедения и ресурса компонентов ядерной техники «Центр материаловедения и ресурса» (ООО «НСУЦ «ЦМиР»)), г. Жуковский, Московская обл.

E-mail: cont@ibrae.ac.ru; info@expresstest.ru

Муранов Владислав – руководитель группы, ООО «Научно-сертификационный учебный центр материаловедения и ресурса компонентов ядерной техники «Центр материаловедения и ресурса» (ООО «НСУЦ «ЦМиР»)), г. Жуковский, Московская обл.

E-mail: info@expresstest.ru

Медведев Виктор Николаевич – кандидат технических наук, ведущий инженер, старший научный сотрудник, ООО «Научно-сертификационный учебный центр материаловедения и ресурса компонентов ядерной техники «Центр материаловедения и ресурса» (ООО «НСУЦ «ЦМиР»)), г. Жуковский, Московская обл.

E-mail: cont@ibrae.ac.ru; info@expresstest.ru

Киселев Алексей Сергеевич – доктор технических наук, ведущий инженер, ООО «Научно-сертификационный учебный центр материаловедения и ресурса компонентов ядерной техники «Центр материаловедения и ресурса» (ООО «НСУЦ «ЦМиР»)), г. Жуковский, Московская обл.

E-mail: kis-rncki@rambler.ru; info@expresstest.ru

Bakirov Murat B. - Doctor of Technical science, General Director, Scientific Certification Training Center for Materials and Resource of Nuclear Technology Components “Center for Materials Science and Resource” Ltd. (SCTC CMSR Ltd.), Zhukovsky city, Moscow region. E-mail: bakirov_murat@mail.ru; info@expresstest.ru

Muranov Vladislav A. - the head of group, Scientific Certification Training Center for Materials and Resource of Nuclear Technology Components “Center for Materials Science and Resource” Ltd. (SCTC CMSR Ltd.), Zhukovsky city, Moscow region.

Email: info@expresstest.ru

Medvedev Viktor N. - candidate of Technical science, Principal Engineer, senior staff scientist, Scientific Certification Training Center for Materials and Resource of Nuclear Technology Components “Center for Materials Science and Resource” Ltd. (SCTC CMSR Ltd.), Zhukovsky city, Moscow region. Email: cont@ibrae.ac.ru; info@expresstest.ru

Kiselev Alexey S. - Doctor of Technical science, Principal Engineer, Scientific Certification Training Center for Materials and Resource of Nuclear Technology Components “Center for Materials Science and Resource” Ltd. (SCTC CMSR Ltd.), Zhukovsky city, Moscow region. Email: kis-rncki@rambler.ru; info@expresstest.ru

УДК 621.039.5

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ РЕЗОНАНСОВ В ОБОРУДОВАНИИ ПЕРВОГО КОНТУРА РУ С ВВЭР – 1000

К.Н. Проскуряков, К.С. Новиков, С.О. Беликов

МЭИ ТУ, Москва

MPEI (TU), Moscow

Определены значения добротности и полосы пропускания для акустической модели активной зоны ВВЭР при однофазном и двухфазном состояниях теплоносителя. Выполнено расчетно-теоретическое обоснование условий роста вибраций в ВКУ и ТВС ВВЭР-1000 в полосе пропускания. Результаты расчета и измерений имеют удовлетворительное соответствие. Разработана методика прогнозирования и получены результаты прогнозирования виброакустических резонансов ТВС и теплоносителя в переходных режимах работы РУ ВВЭР – 1000.

Ключевые слова: Добротность, полоса пропускания, виброакустический резонанс, тепловыделяющая сборка, прогнозирование, диагностика, управление, оборудование.

Values of quality factor and pass-band for acoustic model of reactor core of reactor unit with VVER – 1000 are defined at single-phase and biphasic conditions of the coolant. The settlement-theoretical substantiation of conditions of growth of vibrations of internals and fuel assembly within a pass-band limits. Results of calculation and measurements have suitable coincidence. The technique of forecasting is developed and results of forecasting of vibro – acoustical resonances of fuel assemblies with coolant in stationary and transitive operating modes of reactor unit with VVER – 1000 are worked out.

Keywords: Q-factor, bandwidth, vibro – acoustical resonances, fuel assembly, reactor, forecasting, diagnostics, control, equipment.

При увеличении срока службы АЭС возрастают суммарная длительность переходных режимов и низко-цикловые и высоко-цикловые нагрузки на оборудование, приводящие к усталости металла. В числе главных задач в этих условиях являются обеспечение возможности прогнозирования, выявления и предотвращения режимов эксплуатации, приводящих к резонансному взаимодействию акустических колебаний теплоносителя и вибраций оборудования. Результатом такого взаимодействия могут быть усталостные разрушения элементов оборудования, ВКУ и разгерметизация ТВЭЛ. Наиболее остро эти задачи возникают при разработке новых модификаций оборудования ВКУ, ТВЭЛ и ТВС. Для отстройки от резонансов необходимо располагать виброакустическим паспортом (ВАП) [1], как оборудования, так и циркулирующего теплоносителя. Однако в настоящее время таких паспортов нет. Ввиду этого разработка методического обеспечения для построения акустического паспорта теплоносителя (АПТ), как в отдельных компонентах оборудования, так и системе первого контура в целом, является актуальной задачей.

При рассмотрении результатов вибродинамических измерений, полученных во время пусконаладочных работ на первом блоке Ростовской АЭС [2] обнаружены

режимы, в которых происходит аномальный рост вибраций. Параметры теплоносителя в этих режимах приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры теплоносителя в режимах с высоким уровнем вибраций

№ режима	Параметры теплоносителя		
	Давление, p [МПа]	Температура теплоносителя, t [°C]	
		На входе в реактор	На выходе из реактора
№ 1	15,9	270	270
№ 2	16,0	278	281
№ 3	16,0	285	314

При малой мощности реактора значение пика на частоте 49,8 Гц уменьшается примерно в 5 раз (рис. 1б). Для выявления причины появления аномальной интенсивности виброускорения на частоте 49,8 Гц в режиме №1 (рис. 1а) проведен расчет собственной частоты колебаний давления теплоносителя (СЧКДТ) для всех участков однопетлевой акустической модели первого контура ВВЭР-1000 (рис. 2).

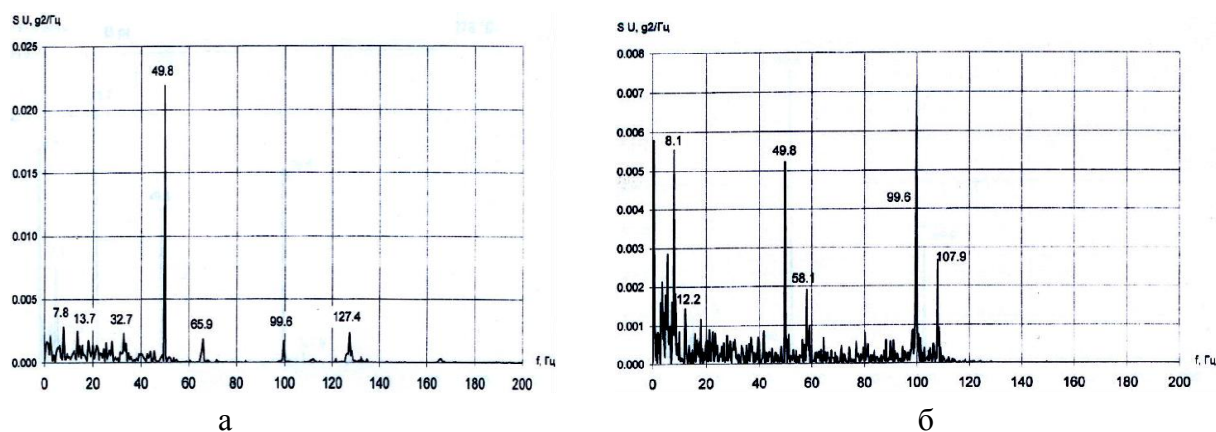


Рисунок 1 - Расчет собственной частоты колебаний давления теплоносителя (СЧКДТ)

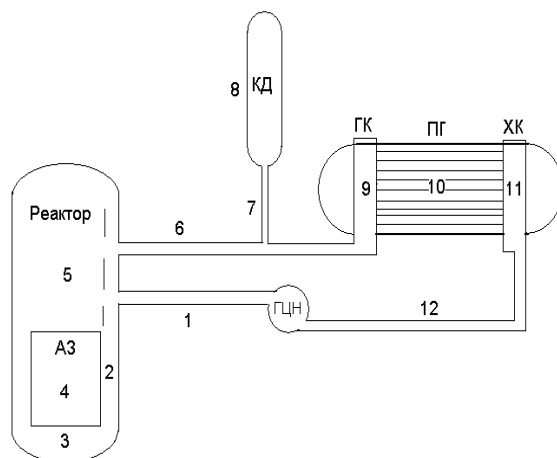


Рисунок 2 - Акустическая модель первого контура ВВЭР-1000

Результаты расчетов СЧКДТ показывают, что аномальный уровень виброускорений, показанный на рисунке 1а, обусловлен совпадением трех частот колебаний давления теплоносителя, возбужденных тремя различными источниками: утроенной оборотной частоты вынужденных колебаний давления теплоносителя, вызванной вращением ГЦН; собственной частоты акустических колебаний теплоносителя в активной зоне и частоты виброускорений измеренной на крышке реактора. Высокий, но значительно меньший уровень виброускорений крышки реактора показанный на рисунке 1б обусловлен совпадением только двух частот колебаний теплоносителя, одна из них вызвана внешним источником колебаний, т.е. ГЦН, вторая обусловлена частотой виброускорений крышки реактора.

На рисунке 3а и рисунке 3б представлены спектры виброперемещений, полученные при обработке сигналов от датчиков виброперемещения, установленных на всасе ГЦН (рис. 3а) и на напоре (рис. 3б).

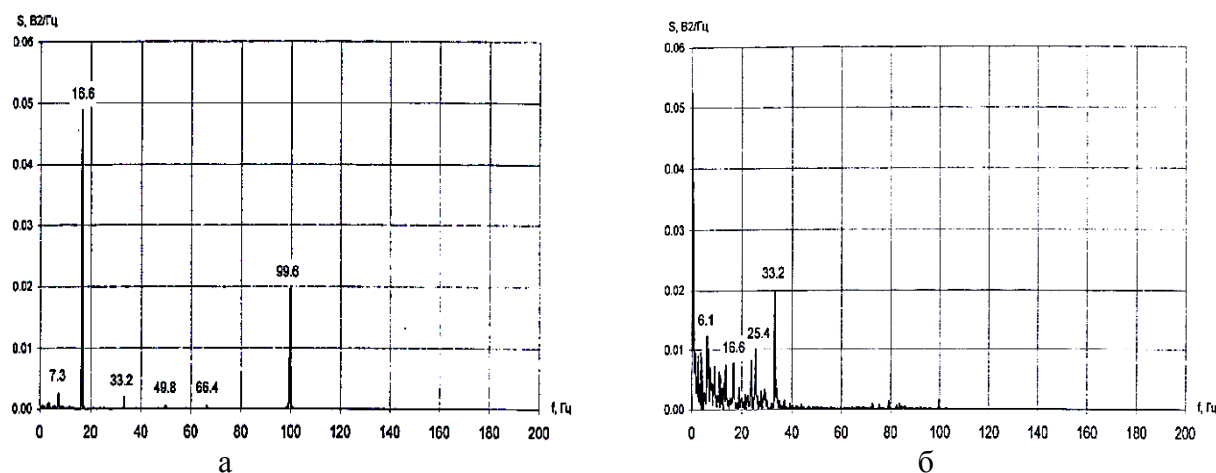


Рисунок 3 - Спектры виброперемещений, установленных на всасе и на напоре ГЦН

Из рисунка 3а (режим №2) видно, что на всасе ГЦН интенсивность вибраций на частоте 16,6 Гц является доминирующей и её величина на порядок выше других. В спектре виброперемещений, полученных от сигнала датчика расположенного на напоре ГЦН, интенсивность виброперемещений на частоте 16,6 Гц, приблизительно, на порядок меньше (рис. 3б). Рассчитанная величина СЧКДТ в акустическом контуре, образованном участками 11 и 12 (см. рис. 2), т.е. состоящим из холодного коллектора и всасывающего трубопровода ГЦН, равна 8,3 Гц.

При зависимости перепада давления от квадрата скорости теплоносителя имеем:

$$\Delta p(v) = B \cdot (v)^2,$$

где B – коэффициент пропорциональности. Если скорость v изменяется во времени по гармоническому закону:

$$v = (v) \cdot \cos \omega \cdot t,$$

где ω – круговая частота, то справедливо следующее преобразование,

$$\Delta p(v) = B \cdot (v)^2 \cdot \cos^2 \omega \cdot t = B/2 (v)^2 + B/2 (v)^2 \cdot \cos 2 \omega \cdot t \quad (1)$$

Из уравнения (1) следует, что при частоте акустических колебаний в рассматриваемом контуре (f), равной $f = 8,3$ Гц, и при зависимости перепада давления

от квадрата скорости происходит удвоение частоты акустических колебаний, в результате чего в спектре возникают колебания с частотой 16,6 Гц, которая равна оборотной частоте ГЦН. Такое преобразование СЧКДТ приводит к её полному совпадению с оборотной частотой ГЦН и возникновению в гидравлическом контуре, образованном холодным коллектором парогенератора и трубопроводом, соединяющим его с ГЦН, резонанса частоты акустических колебаний с частотой вынужденных колебаний, обусловленных оборотной частотой ГЦН.

Спектральная плотность мощности (СПМ) сигналов от одного и того же датчика пульсации давления, установленного на выходе из реактора приведены на рисунках 4а–4в. Главное отличие в эксплуатационных режимах, при которых получены эти результаты, состоит в различном уровне мощности реактора.

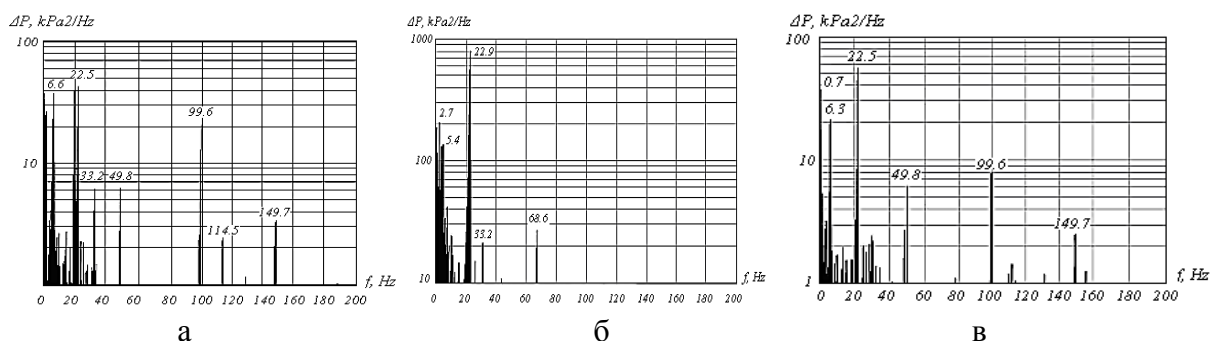


Рисунок 4 - Спектральная плотность мощности (СПМ) сигналов датчика пульсации давления при различном уровне мощности реактора

Режиму №3 соответствует СПМ, представленная на рисунке 4б. Для исследования причин появления anomalно высоких пульсаций давления на частоте, равной 2,7 Гц, была использована гипотеза возникновения параметрического резонанса акустических колебаний в реакторе.

Для исследования причин появления anomalно высоких пульсаций давления на частоте, равной 5,4 Гц, проведен расчет СЧКДТ, добротности и полосы пропускания для участка 4 (см. рисунок 2), результаты [3] представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета СЧКДТ, добротности и ПП

Режим	Скорость звука, м/с	СЧКДТ, Гц	Добротность, Q	Полоса пропускания, Гц
№ 3	119	5,4	3,5	1,55
№ 4	80	3,6	2,4	1,5
№ 5	149	6,7	4,3	1,55

Из таблицы 2 следует, что величина ПП для СЧКДТ в активной зоне зависит от режима работы АЭС. Левая и правая половины ПП для режима №3 равны 0,74Гц. Таким образом, нижняя граница ПП соответствующая частоте 5,4 равна 4,63 Гц, а верхняя граница ПП 6,17 Гц. Следовательно, СЧКДТ равные 3,6 Гц и 6,7 Гц находятся вне ПП. Проведенные расчеты подтверждают, сделанное ранее, предположение о том, что СЧКДТ в режимах № 4 (см. рисунок 4а) и № 5 (см. рисунок 4в) выходят из области резонансного взаимодействия с вибрациями ТВС, частота которых равна 5,4 Гц. [4]

Размер ПП показывает, что режим резонансного взаимодействия возникает в узком диапазоне изменения частот около значения 5,4 Гц и при более значительных изменениях СЧКДТ, соответствующих значениям 3,6 Гц и 6,7 Гц пропадает.

Как было показано выше, в режиме № 3 (рисунок 4б) наблюдались аномальные всплески интенсивности пульсаций давления. На модели энергоблока АЭС, с помощью программного комплекса (ПК) «Радуга ЭУ» были воспроизведены режимы, представленные на рисунке 4а–4в с целью выявления средней температуры в активной зоне ВВЭР-1000 для рассматриваемых режимов. Режим №3 получен путем отключения одного ГЦН на уровне мощности, равного 80% от номинального значения. После завершения переходного процесса, средняя температура в зоне установилась на уровне 303 °С. Режим №4 смоделирован, в частности, при работе на 3-ех ГЦН и отключении второго ГЦН с последующим снижением до мощности в 30% от номинальной. В данном режиме установилась средняя температура теплоносителя в активной зоне, равная 302 °С. Режим №5 соответствует работе РУ на мощности около 90% от $N_{\text{ном}}$. Достижение данных параметров возможно путем снижения мощности реактора с номинальной мощности до уровня в 90% от его номинального значения, средняя температура в АЗ при этом составила 303°С. Однако, в связи с неравномерностью энерговыделения по активной зоне, важно не только совпадение средней температуры со значением, равным 303°С, но и определение доли ТВС, имеющих температуру, близкую к «опасной», также является важной информацией, позволяющей определить степень опасности режима. Следовательно, опасность режима, в котором произошло совпадение среднего значения температуры в АЗ со значением в 303°С, можно оценить, зная долю ТВС, которая попала в полосу пропускания собственных частот колебания давления теплоносителя.

Для выполнения поставленной задачи рассмотрен колебательный контур образованный тремя участками, а именно: опускным участком (участок 2 см. рисунок 2), пространством под активной зоной (участок 3 см. рис. 2) и самой активной зоной (участок 4 см. рисунок 2).

Для рассмотренного колебательного контура полоса пропускания относительно СЧКДТ = 5,4 Гц будет равна 1,6 Гц, следовательно, значения неблагоприятных частот, принадлежат интервалу (4,6 – 6,2) Гц.



Рисунок 5 - График зависимости температуры в области полосы пропускания от собственных частот колебаний давления теплоносителя

Для определения значений температур, в области полосы пропускания, в которых будет иметь место резонансное взаимодействие вибраций ТВС с собственной частотой колебаний теплоносителя, используется график зависимости температуры от собственных частот колебаний давления теплоносителя, полученного экспериментальным путем (рисунок 5).

Изменение температуры в пределах ПП будет происходить в диапазоне 4,2 °С. Тепловыделяющие сборки, попавшие в область значений температур (312,1–319,4) °С в режиме №3 (рис. 6а), (313,5–320,9) °С в режиме №4 (рис. 6б), (311,3–318,6) °С в режиме №5 (рис. 6в) будут иметь повышенные уровни вибраций. На картограмме полученные области температур ТВС для рассматриваемых режимов, закрашенные темным цветом, соответствуют зонам повышенного уровня вибраций.

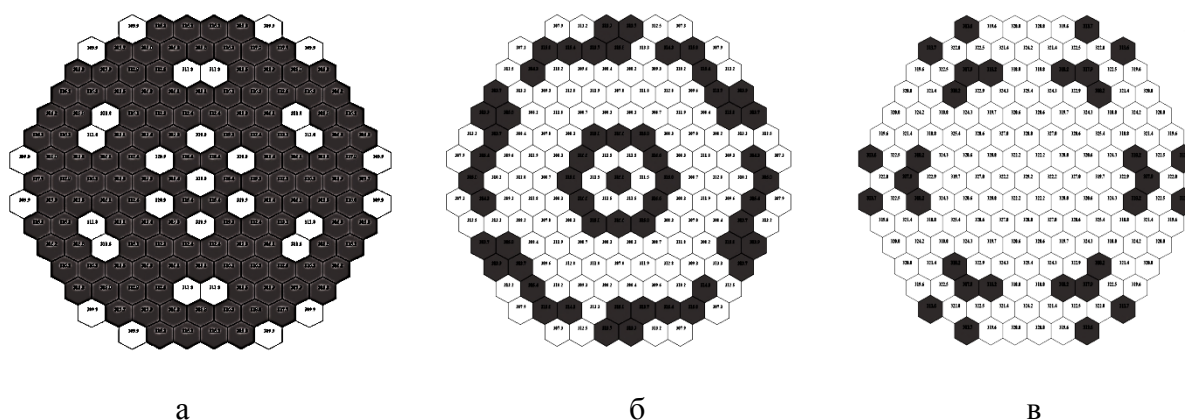


Рисунок 6 - Области температур ТВС для рассматриваемых режимов № 3, 4, 5, соответствующих зонам повышенного уровня вибраций

Показано, что в режиме №3 ТВС, находящиеся в условиях повышенной вибрации, практически заполняют всю А.З. (рис. 6а), в то время как в других режимах этого не наблюдается (рис. 6б, 6в). Этим и объясняется аномальный уровень вибраций, зафиксированный в режиме № 3.

Попадание ТВС в область неблагоприятных температур теплоносителя зависит от характера переходного процесса, реализация которого определяется регламентом безопасной эксплуатации энергоблока АЭС с реактором ВВЭР–1000.

Для предотвращения попадания ТВС в область неблагоприятных температур может потребоваться корректировка существующих регламентов безопасной эксплуатации энергоблока АЭС с реактором ВВЭР–1000 и управляющих воздействий, направленных на требуемое изменение параметров теплоносителя (температуру, расход, давление) РУ ВВЭР – 1000 при осуществлении переходных режимов.

В случае невозможности предотвратить попадание части ТВС в зону повышенных вибраций, необходимо принять меры по минимизации их числа и сокращению времени их пребывания в режиме повышенных вибраций. Решение этой задачи также можно выполнить штатными средствами АСУ ТП.

Литература

1. Проскуряков К.Н., Виброакустическая паспортизация АЭС – средство повышения их надежности и безопасности // Теплоэнергетика. 2005, №12., С. 30–34.

2. «Отчет. Результаты вибродинамического контроля оборудования ГЦК реакторной установки В-320 блока №1 Ростовской АЭС». Министерство Российской Федерации по атомной энергии концерн «РОСЭНЕРГОАТОМ», Волгодонская АЭС. №1 01. РЦ/СПНИ.О. А-46.

3. Аркадов Г.В., Павелко В.И., Усанов А.И. Виброшумовая диагностика ВВЭР. М. Энергоатомиздат, 2004.

4. Проскуряков К.Н, Новиков К.С. Определение области виброакустических резонансов теплоносителя и ТВС в перспективных реакторах повышенной мощности // Атомная энергия. 2010. В. 3. С. 151– 155.

Проскуряков Константин Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры атомных электрических станций, Московский энергетический институт (Технический университет) – МЭИ (ТУ). Email: prosk@npp.mpei.ac.ru

Новиков Константин Сергеевич – аспирант кафедры атомных электрических станций, Московский энергетический институт (Технический университет) – МЭИ (ТУ). Email: ko555@mail.ru

Беликов Святослав Олегович – аспирант кафедры атомных электрических станций, Московский энергетический институт (Технический университет) – МЭИ (ТУ). Email: belikov_so@bk.ru

Proskouriakov Konstantin N. – Doctor of Technical science, Professor, the Nuclear power plants department, Moscow Power Engineering Institute (Technical University) - MPEI (TU). Email: prosk@npp.mpei.ac.ru

Novikov Konstantin S. – postgraduate student, the Nuclear power plants department, Moscow Power Engineering Institute (Technical University) - MPEI (TU). Email: ko555@mail.ru

Belikov Sviatoslav O. – postgraduate student, the Nuclear power plants department, Moscow Power Engineering Institute (Technical University) - MPEI (TU). Email: belikov_so@bk.ru

УДК 621.311.25

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА ТБВ-1000-4УЗ НА 104% МОЩНОСТИ

С.А. Баран, И.А.Якубенко

<i>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»</i>	<i>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»</i>
---	--

В данной статье рассмотрены некоторые аспекты модернизации технологических систем отвода тепла от электрогенератора и возбудителя, для обеспечения безопасной, надёжной и эффективной работы энергоблоков РОАЭС на 104% мощности.

Ключевые слова: 104 % номинальной электрической мощности, температурный режим, турбинное отделение, генератор, система водородного газоохлаждения, система водного охлаждения.

Some aspects of the modernization of technological heat removing systems from the electric generator and exciter to provide safe, reliable and efficient operation of RNPP power units at 104% capacity are reviewed in this article.

Keywords: 104% of rated electrical capacity, temperature regime, the turbine section, generator, hydrogen gas cooling system, water cooling system.

Температурный режим работы генератора ТБВ-1000-4УЗ поддерживается двумя системами охлаждения: системой водородного газового охлаждения и системой водного охлаждения, которые относятся к обеспечивающим системам турбинного отделения. [1]

С освоением энергоблоками Ростовской АЭС работы на 104 % номинальной электрической мощности, расчеты показывают, что количество теплоты, которое необходимо отводить от железа и обмоток электрогенераторов, увеличивается на 8,16%.

Тепловые потери, выделяющиеся в обмотках ротора и статора, в магнитопроводах (сердечник статора, вал ротора), а также механические потери от трения ротора в газовой среде (вентиляционные потери) и трения в подшипниках и уплотнениях вала, отводятся дистиллятом из обмотки и сердечника статора, водородом из обмотки и вала ротора, и маслом из подшипников и уплотнений вала.

Циркуляция водорода в генераторе осуществляется двумя вентиляторами, установленными на валу ротора. Водород, в свою очередь, охлаждается в четырех газоохладителях, встроенных в корпус генератора.

При подаче воды в газоохладители, этой системы допускается [1] временная работа генератора при температурах воды не более 36 °С, а холодного газа и дистиллята – не более 45 °С. В условиях жаркого лета для Ростовской АЭС эти граничные параметры не всегда выполнимы.

В 2008 – 2010 гг. коллективы кафедр «АЭС» и «ТЭО» ВИТИ НИЯУ МИФИ провели научно-исследовательские работы по улучшению условий теплоотвода в летнее время от электрогенераторов Ростовской АЭС, работающих на 104% мощности, и сформулировали конкретные предложения. Основные выводы этой научной работы изложены в данной статье.

Определим максимальную тепловую мощность, отведённую от обмотки статора

дистиллятом, с заданными предельными граничными параметрами по формуле:

$$Q^{\max} = G_1(i_1^{\text{вых}} - i_1^{\text{вх}}),$$

где $Q^{\max}$ – максимальная тепловая мощность, отведённая от обмотки статора дистиллятом, с заданными предельными параметрами;
 G_1 – расход дистиллята через обмотку статора генератора, который может обеспечить один насос системы, при условии, что другой находится в резерве.

Тогда:

$$Q^{\max} = 280 \cdot (314,58 - 168,19) = 11385,92 \text{ кВт}.$$

Определим также максимальную тепловую мощность, которую могут отвести от системы водяного охлаждения статора генератора два штатных теплообменника охлаждения типа ВВТ-100, при предельных параметрах охлаждающей среды по формуле:

$$Q_{\text{действ}} = 2 \cdot G_1(i_2^{\text{вх}} - i_2^{\text{вых}}) = 11142,11 \text{ кВт}.$$

На основании проведённых расчетов приходим к выводу, что значения величин тепловой мощности $Q^{\max}$ и $Q_{\text{действ}}$ не удовлетворяют условию [1] для надежного охлаждения электрогенератора:

$$11385,92 > 11142,11 \text{ кВт}.$$

Данный расчёт показывает, что величины площади поверхности двух теплообменников недостаточно для обеспечения надёжной эксплуатации системы охлаждения обмотки статора генератора в летний период на 104% мощности.

В связи с этим предлагается установить в систему водяного охлаждения обмотки статора генератора дополнительный (третий) теплообменник ВВТ-100 с площадью поверхности теплообмена 100 м^2 , который обеспечит необходимую площадь теплообмена летом и будет находиться в резерве в холодное время года.

Проведём поверочный расчёт необходимой поверхности теплообмена на основании фактических данных параметров системы водяного охлаждения обмотки статора, имевших место 16.07.2009, с учётом увеличения площади поверхности теплообмена:

$$F = \frac{4994,75}{1500 \cdot 11,72} = 284 \text{ м}^2.$$

Из проведённого расчёта видно, что лишь увеличив площадь на 100 м^2 , удастся приблизить значения параметров системы к нормальным, что, безусловно, положительно влияет на надёжность и эффективность работы обмотки статора генератора, и следовательно, даёт возможность эксплуатации генератора на более высокой мощности.

Было предложено, исходя из наличия свободной площади на отметке 0,0 м в турбинном отделении, где уже установлены два теплообменника типа ВВТ-100, установить третий теплообменник аналогичный по конструкции и допустимым параметрам сред.

Указанное мероприятие было рассмотрено проектировщиками и техническим советом Ростовской АЭС, а затем в 2009 г. внедрено на энергоблоках 1 и 2.

Для системы водородного охлаждения на основании проведённых аналогичных расчётов на 104% мощности получим в летнее время значения величин небаланса

тепловыделения газа $Q^{\max}$ и теплоотвода $Q_{\text{действ}}$ равными:

$$3036 > 2926 \text{ кВт}.$$

Таким образом, можно предположить, что температура охлаждающей воды на входах в охладители водорода в летнее время не достаточно низкая для обеспечения надёжной эксплуатации системы газоохлаждения и, как следствие, самого генератора.

В связи с этим предлагается подавать в газоохладители захлажденную воду от парогенераторной холодильной машины, подобранной по методике. [2] В результате чего параметры охлаждающих сред не будут превышать допустимых и будет устранён небаланс тепловой энергии четырёх газоохладителей генератора, равный 697,8 кВт, и как следствие, будет выполняться в соответствии с рекомендациями [1] неравенство

$$Q^{\max} < Q_{\text{действ}}.$$

Предлагается также подавать в воздухоохладители возбуждителя захлажденную воду от той же парогенераторной холодильной машины. В результате чего параметры охлаждающих сред возбуждителя не будут превышать допустимых, и будет устранён небаланс тепловой энергии четырёх воздухоохладителей возбуждителя, равный 57,5 кВт, и будет выполняться неравенство $Q^{\max} < 4 Q_{\text{действ}}$.

В заключение подчеркнем, что предложения модернизировать систему водяного охлаждения обмотки статора, включив дополнительный теплообменник, и систему газоохлаждения электрогенератора и возбуждителя, подачей захлажденной воды от вновь введённой линии и парогенераторной холодильной машины, дают возможность получать дополнительные 40 – 50 МВт электрической энергии на каждом действующем блоке с реактором ВВЭР-1000 без нарушений теплового режима электрогенератора ТВВ-1000-4УЗ при любых климатических условиях.

Литература

1. Электрическая часть атомных электростанций: учебное пособие / В. П. Васин, В. А. Старшинов. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 208 с.
2. Кошкин Н. Н., Сакун И. А., и др. Холодильные машины. Учебник для ВТУЗов / Под общей редакцией И. А. Сакуна. Л.: Машиностроение. 1985. 510 с.

Баран Сергей Анатольевич – старший преподаватель кафедры «Атомные электрические станции», Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». E-mail: bastr@rambler.ru

Якубенко Игорь Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Атомные электрические станции», Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». E-mail: igoryakub@yahoo.com

BaranSergey A. – senior lecturer of the Nuclear Power Plants department, Volgodonk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: bastr@rambler.ru

YakubenkoIgor A. – candidate of Technical science, senior lecturer, head of the Nuclear Power Plants department, Volgodonk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: igoryakub@yahoo.com

УДК 621.316.9: 621.313.13

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 КВ ДЛЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД АЭС

С.Л. Кужеков

<i>Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)</i>	<i>Southern Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)</i>
--	--

Описаны результаты разработок устройств релейной защиты и диагностики электродвигателей напряжением выше 1 кВ собственных нужд тепловых и атомных электростанций. Указанные разработки выполнены в соответствии с новой концепцией защиты мощных электродвигателей: минимизация размеров повреждений при повреждениях и предотвращение повреждений при опасных ненормальных режимах. Обоснована целесообразность создания интегрированных защитно-диагностических устройств для электродвигателей.

Ключевые слова: электродвигатель, напряжение выше 1 кВ, собственные нужды, АЭС, релейная защита, диагностика, защитно-диагностическое устройство.

The results of development of relay protection devices and troubleshooting of electric motor with voltage higher than 1 kW of nuclear and thermal power plants' auxiliaries are described. This development is done according to the new concept of integral-hp motors protection: minimization the damages and their prevention in the case of dangerous abnormal regimes. Reasonability of creation of integrated protective diagnostic devices for electric motors is grounded on.

Keywords: electric motor, voltage higher than 1 kW, auxiliaries, nuclear power plant, relay protection, diagnostics, protective diagnostic device.

Действующие Правила устройства электроустановок [1] регламентируют оснащение электродвигателей напряжением выше 1 кВ (ЭД) устройствами защиты от коротких замыканий, замыканий на землю, перегрузки и потери питания. Синхронные ЭД дополнительно должны быть оснащены защитой от асинхронного режима, совмещенной с защитой от перегрузки. Эти требования соответствуют устаревшей концепции защиты ЭД, заключавшейся в том, что оснащение их более совершенными устройствами экономически не оправдано по сравнению с затратами на ремонт. В соответствии с, указанной концепцией, задачей защиты являлось максимально быстрое отключение поврежденного ЭД от питающей электрической сети. В настоящее время в связи с существенно выросшей стоимостью ЭД, увеличением ущербов от внезапного нарушения технологических процессов и развитием микропроцессорной техники экономически целесообразно качественно улучшить функции защиты ЭД.

В 80-х годах прошлого века была сформулирована новая концепция защиты ЭД, заключающаяся в обеспечении устройствами защиты **минимизации размеров повреждений последних при авариях и предотвращении их повреждения в опасных ненормальных режимах.**

С целью предотвращения внезапных отказов электрооборудования его оснащают

устройствами технической диагностики, среди которых особое место занимают системы автоматизированного контроля состояния под рабочими токами и напряжениями. Устройства и системы технической диагностики, также как и релейная защита, решают задачу распознавания повреждений электрооборудования. Основное отличие устройств и систем технической диагностики от релейной защиты – распознавание повреждений на ранней стадии их развития с целью предупреждения персонала о необходимости своевременной разгрузки электрооборудования и вывода его в ремонт.

Можно установить аналогию между частью задач, решаемых релейной защитой и средствами технической диагностики, в особенности, системами непрерывного автоматизированного контроля. Главным назначением последних является фиксация момента перехода развития дефектов электрооборудования в опасную фазу – в лавинообразный процесс, причем, в ряде случаев с немедленным отключением контролируемого объекта. [2]

Сходство задач, решаемых релейной защитой и средствами технической диагностики, является объективной причиной их взаимного сближения. В ряде случаев это обстоятельство обуславливает необходимость создания комбинированных – защитно-диагностических устройств (ЗДУ). Защитно-диагностические устройства, в частности, целесообразно использовать для контроля состояния агрегатов электродвигатель-механизм атомных электростанций (АЭС), которые могут иметь не только электрические, но и **механические повреждения**. К ним относятся: **эксцентриситет ротора электродвигателя, перекос осей электродвигателя и механизма, повреждения подшипников и др.** Так как в, приводимых во вращение, механизмах устройства защиты, чаще всего, отсутствуют, то функции обнаружения и распознавания механических повреждений удобно возложить на устройства релейной защиты электродвигателей, которые в этом случае являются защитно-диагностическими.

Цель статьи заключается в описании принципов построения, разработанных коллективом под руководством автора, защитно – диагностических устройств, обеспечивающих повышение эффективности функционирования ЭД.

Анализ показал, что применение усовершенствованных устройств релейной защиты и диагностики позволяет снизить аварийность ЭД, что иллюстрирует таблицу 1.

Таблица 1 – Пути снижения аварийности ЭД средствами РЗ и диагностики

Причина отказа ЭД	Вид отказа	Путь снижения аварийности
1	2	3
Несостоявшийся пуск	Перегрев обмоток статора и контуров ротора	Специальная защита от несостоявшегося пуска
Затянувшийся пуск	Перегрев обмоток статора и контуров ротора	Специальная защита от затянувшегося пуска
Механические повреждения (эксцентриситет ротора, повреждения подшипников, перекос осей валов ЭД и механизма и др.)	Перегрев обмоток ЭД, задевание ротора за статор и др.	Контроль спектрального состава тока статора ЭД
Несимметрия токов и витковые замыкания в обмотке статора	Повреждения изоляции и стали статора ЭД	Специальная защита от витковых КЗ и несимметричных режимов

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Заклинивание вращающегося ротора ЭД	Перегрев изоляции и механические повреждения ЭД	Специальная защита от заклинивания ротора
Повторные пуски	Перегрев обмоток статора и ротора ЭД, повреждение обмоток	Совершенствование защиты от перегрузки ЭД
Однофазные замыкания на землю	Пробои изоляции при перенапряжениях	Кратковременное низкоомное индуктивное заземление нейтрали питающей электрической сети

В соответствии с новой концепцией было разработано устройство многофункциональной защиты ЭД, содержащее токовую отсечку, защиту от перегрузки, защиту от несимметричных режимов, защиту от асинхронных режимов синхронного ЭД, защиту от однофазных замыканий обмотки статора на землю и защиту от потери питания. [3] Особенностью токовой отсечки является повышенная чувствительность, обусловленная тем, что она не реагирует на апериодическую составляющую подводимого тока. Вследствие этого чувствительность отсечки повысилась в 1,8 раза по сравнению с аналогичными устройствами. В защите от перегрузки используется модель тепловых процессов (нагрева и остывания обмотки статора), что исключило повторную подачу напряжения на отключенный ЭД до остывания его обмотки. В защите от витковых замыканий обмотки статора и несимметричных режимов использован новый способ распознавания: реагирование на разность наибольшего и наименьшего значений фазовых сдвигов между векторами токов фаз статора. Это позволило повысить чувствительность защиты по сравнению с аналогичными устройствами не менее, чем в 1,5 раза. Защита от асинхронных режимов использует в качестве признаков указанного режима значения тока статора и фазового сдвига между током и напряжением. Благодаря этому она эффективно реагирует на асинхронные режимы без потери возбуждения, более опасные, чем аналогичные режимы с потерей возбуждения. Защита была освоена в серийном производстве на Грозненском опытно – экспериментальном заводе (ГООЭ). Поскольку указанное устройство решало только часть задач, отмеченных в таблице 1, были также выполнены разработки, описанные ниже.

Асинхронные и синхронные электродвигатели в первый момент пуска, пока частоту вращения ротора можно считать близкой к нулю, представляют собой трансформаторы с закороченной вторичной обмоткой. В соответствии с этим токи статора и ротора определяются по выражению:

$$i_{\text{п}} = i_{\text{пр}} + i^{\text{I}} + i^{\text{II}}.$$

Составляющая $i_{\text{пр}}$ – принужденная периодическая с частотой 50 Гц. Две другие составляющие являются свободными апериодическими: быстро затухающей i^{I} и медленно затухающей i^{II} . При развороте ротора медленно затухающая свободная составляющая тока ротора наводит в цепях статора переменный ток, частота колебаний которого зависит от скорости вращения ротора. Указанный ток описывается приближенной формулой:

$$i^{\text{II}} = \sqrt{2} k I_{\text{пр}} \sin\left(\frac{\omega_2 t}{2} + \psi\right),$$

где $I_{пр}$ – действующее значение принужденной периодической составляющей тока статора;

$\omega_2 = (1 - s)\omega$ – угловая скорость вращения ротора;

s – скольжение ротора;

k – коэффициент, значение которого составляет 0,1 – 0,15;

Ψ – начальная фаза тока статора.

Осциллограмма пускового тока асинхронного двигателя (АД) показана на рисунке 1. На ней видны принужденная периодическая составляющая, быстро затухающая свободная апериодическая составляющая с постоянной времени T_a и периодическая составляющая i_{msh} , наведенная в цепи статора медленно затухающей свободной апериодической составляющей тока ротора. В случае несостоявшегося пуска (отсутствие вращения ротора при наличии напряжения на обмотке статора) в токе статора АД имеют место принужденная периодическая и две свободные апериодические составляющие.

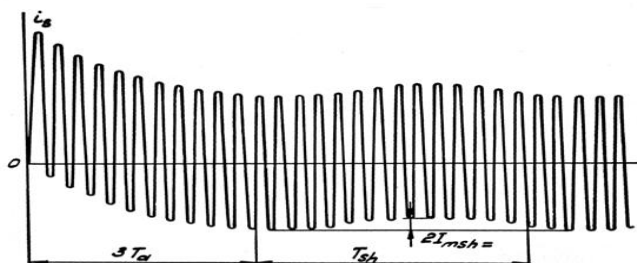


Рисунок 1 – Кривая тока статора АД при пуске

Защита от несостоявшегося пуска АД реагирует на ток, наведенный в цепях статора медленно затухающей свободной составляющей тока ротора. Если указанная составляющая в токе пуска отсутствует, то не более чем через одну секунду защита срабатывает и действует на отключение АД от питающей сети. Устройства защиты, выполненные на указанном принципе [4], были внедрены на электроприводах четырех дробилок угля Рязанской ГРЭС.

Дальнейшее развитие указанный принцип получил в защите АД от затынувшегося пуска. Последняя осуществляет контроль изменения частоты тока, наведенного в цепях статора медленно затухающей свободной составляющей тока ротора. Если указанная частота за заданный отрезок времени (например, 3 секунды) не достигает расчетного значения, то защита действует на отключение АД. [5]

Эффективность указанных защит от ненормальных пусковых режимов обусловлена существенным сокращением времени протекания по обмоткам ЭД пусковых токов, что предотвращает их перегрев и, соответственно, термические повреждения изоляции.

Опыт эксплуатации АД показал, что серьезным дефектом электрических машин является эксцентриситет ротора. Эксплуатация электродвигателя с таким видом дефекта не приводит к немедленному выходу его из строя, но снижает надежность работы, долговечность и другие технико-экономические показатели. Искажается магнитное поле в воздушном зазоре, создается одностороннее магнитное притяжение, КПД снижается на 1,5–2%, появляются дополнительные высшие гармоники поля, снижается пусковой момент на 10–13%, растут местные нагревы на 5–6%.

В настоящее время для диагностирования эксцентриситета ротора ЭД применяют

различные устройства на основе вибрационных, тепловых, электромагнитных и других методов. Недостатки этих методов заключаются в сложности их реализации, связанных с применением датчиков температуры, вибрации и магнитного поля, которые требуют прокладки дополнительных кабельных линий для связи с устройством обработки информации. Менее распространен метод диагностирования эксцентриситета ротора на основе анализа амплитудно-частотной характеристики потребляемого тока. Применение указанного метода удобно для агрегатов систем безопасности АЭС. В этом случае измерение диагностических параметров агрегатов, находящихся под защитной оболочкой ядерного реактора, производится по вторичному току штатных трансформаторов тока, установленных в ячейках КРУ вне защитной оболочки.

Принцип контроля уровня эксцентриситета ротора ЭД базируется на следующем. Как известно, частоты гармоник тока статора, вызванных эксцентриситетом ротора, определяются по выражению

$$f_{\text{экс}} = f_{\text{сети}} \left[1 \pm \frac{1-s}{p} \right],$$

где $f_{\text{сети}}$ – частота напряжения питающей сети,

s – скольжение ротора АД;

p – количество пар полюсов АД.

Зависимость воздушного зазора δ от угла поворота ротора при смещении его оси на расстояние d от оси расточки статора определяется по формуле:

$$\delta(\theta) = R - r + d \cos(\theta) = \delta_m + d \cos(\theta),$$

где r – радиус рабочей поверхности ротора,

R – радиус внутренней расточки статора $\delta_m = R - r$ – номинальный воздушный зазор между статором и ротором (рисунок 2).

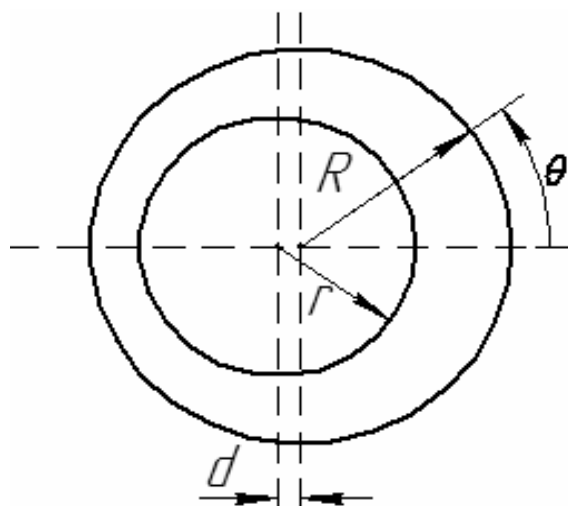


Рисунок 2 – Эксцентриситет ротора АД

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований составлена таблица 2 значений амплитуд гармоник тока при различных значениях ε для АД с числом пар полюсов $p = 2$.

Таблица 2 – Относительные амплитуды гармоник тока при различных уровнях эксцентриситета ротора ε

Уровень эксцентриситета $\varepsilon = \frac{d}{\delta_m} \cdot 100\%$	Амплитуды гармоник, дБ на частотах	
	$\approx 25 \text{ Гц}$	$\approx 75 \text{ Гц}$
10	–37	–38
50	–32	–29
80	–27	–26

Спектральный состав тока статора АД при наличии эксцентриситета ротора представлен на рисунке 3.

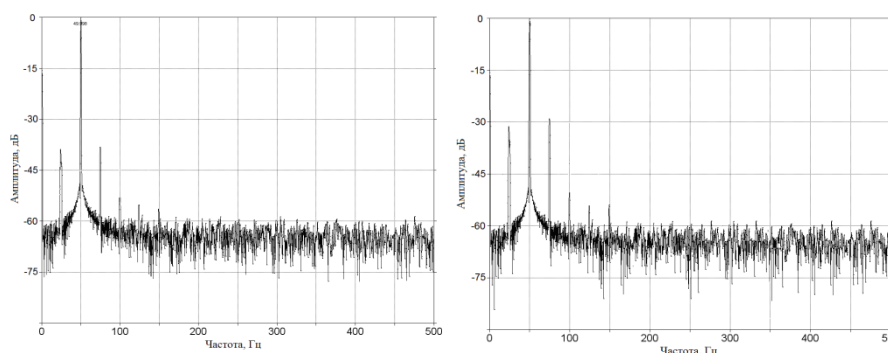


Рисунок 3 – Спектральный состав тока статора АД с эксцентриситетом ротора при $p = 2$ а) $\varepsilon = 0,1\%$, б) $\varepsilon = 0,5\%$

Полученные результаты были положены в основу построения разработанного микропроцессорного устройства контроля уровня эксцентриситета ротора [6], которое может быть интегрировано в состав защитно–диагностического устройства АД.

Производственным объединением «Уралэлектротяжмаш» в конце прошлого века был разработан и освоен в производстве трехфазный двухскоростной полюснопереключаемый асинхронный двигатель для привода главных циркуляционных насосов АЭС с ядерными реакторами типа ВВЭР – 1000. В настоящее время такие полюснопереключаемые АД поставляются на зарубежные АЭС, строящиеся российскими специалистами. Однако используемое проектное решение по защите АД на базе неполной дифференциальной защиты не обладает требуемой защитоспособностью, так как она нечувствительна к значительной доле внутренних повреждений обмотки статора. В связи с отмеченным, была разработана специальная защита указанного АД от всех видов повреждений обмотки статора. [7] Принцип действия защиты заключается в измерении наибольшего и наименьшего напряжений на нейтральных звезд расщепленной обмотки статора, выделении разности их модулей и сравнении полученной разности с заданным значением.

С целью снижения уровня повреждаемости ЭД при однофазных замыканиях на землю в электрической сети, включая сеть собственных нужд АЭС, предложено новое решение по режиму нейтрали сетей напряжением 6 – 10 кВ. В настоящее время такие сети эксплуатируются с изолированной нейтралью (I – сети) или с компенсацией емкостных токов замыкания на землю (L_e – сеть). Основным достоинством таких режимов нейтрали является потенциальная возможность работы электрической сети с однофазным металлическим замыканием на землю в течение нескольких часов, то есть до принятия персоналом мер по переводу питания потребителей на другие источники

питания. При этом релейная защита не должна действовать на отключение повреждения (однофазного замыкания на землю).

Однако изоляция неповрежденных фаз при однофазных замыканиях на землю находится под напряжением, превышающим рабочее в $\sqrt{3}$ раз, что опасно для ЭД и кабелей. Особенно опасны дуговые однофазные замыкания на землю, которые приводят к появлению импульсных перенапряжений с высокой кратностью (в 3 и более раза по отношению к нормальному напряжению). Вследствие этого в электрической сети возникают множественные повреждения кабельных линий и ЭД, затрагивающие до 5 и более линий, и приводящие к автоматическому отключению последних релейной защитой от коротких замыканий. Опыт эксплуатации показывает, что в указанных условиях по ряду причин компенсация емкостного тока замыкания на землю, а также резистивное заземление нейтрали недостаточно эффективны.

С целью исключения множественных повреждений кабельных линий распределительной электрической сети, а также ЭД предложен режим кратковременного низкоомного индуктивного заземления нейтрали распределительной электрической сети напряжением 6–10 кВ. [8] В соответствии с этим предложением на участке сети (наиболее целесообразно в центре питания) устанавливается специальный силовой трансформатор со схемой соединения звезда – треугольник. Нейтраль обмотки, соединенной в звезду, заземляется.

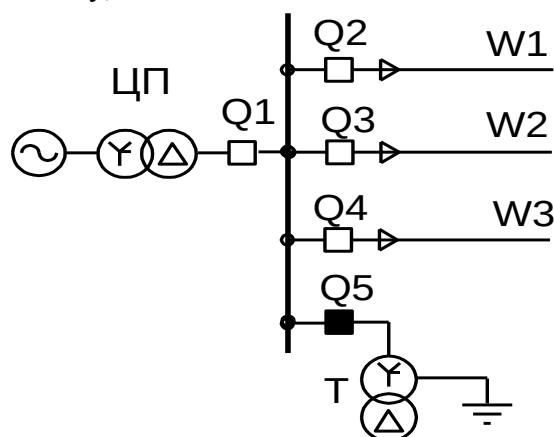


Рисунок 4 – Режим кратковременного низкоомного индуктивного заземления нейтрали

При возникновении замыкания на землю указанный трансформатор подключается выключателем к источнику питания, т.е. по факту появления на шинах питания напряжения нулевой последовательности U_0 . Подключение трансформатора переводит сеть из режима I – сети или L_e – сети в режим L_n – сети, т.е. кратковременного низкоомного индуктивного заземления нейтрали. Значение тока однофазного замыкания на землю в L_n – сети должно быть достаточным для срабатывания промышленных указателей тока короткого замыкания, т.е., в первом приближении, достигать значения 500 – 700 А. Токи ОЗЗ в L_n – сети отключаются автоматическим действием существующих достаточно грубых устройств релейной защиты от двойных замыканий на землю, реагирующих на токи нулевой последовательности.

Время существования режима L_n – сети должно быть минимальным, что обеспечивается автоматическим отключением специального трансформатора от источника питания по истечении допустимого времени (как правило, не более двух секунд). Предложенный режим нейтрали в 2008 г. внедрен в Пятигорских электрических сетях на участке сети напряжением 10 кВ, питающемся от подстанции

«Горячеводская». При этом множественные повреждения кабельных линий не возникали, а замыкания на землю отключались штатными устройствами защиты от двойных замыканий на землю.

Заключение

Для защиты и контроля состояния ЭД АЭС под рабочим напряжением технически и экономически целесообразно использовать защитно – диагностические устройства, обеспечивающие минимизацию повреждений ЭД при авариях и предотвращение их повреждений в опасных ненормальных режимах работы. В состав указанных устройств помимо защит, регламентированных Правилами устройства электроустановок, целесообразно включить защиту от механических повреждений ЭД, в частности, защиту от эксцентриситета ротора, а также защиту от несимметричных режимов, защиту от ненормальных пусковых режимов (несостоявшегося и затянувшегося пуска). Эффективность действия последних особенно высока при времени срабатывания не более 0,1 – 0,2 от времени нормального пуска.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002.
2. Кужеков С. Л. О связи между релейной защитой и технической диагностикой электрооборудования. – Материалы конференции «RelayProtectionandAutomationofModernEHVSystems (Moscow – Cheboksary, September 10 – 12, 2007)».
3. Устройство релейной защиты электродвигателей/ С. Л. Кужеков, Е. П. Варфоломеев, В. Л. Рубан и др. // Цемент. – 1986, № 11. С. 9 – 11.
4. Защита электродвигателя от несостоявшегося пуска./ С. Л. Кужеков, И. А. Шихкеримов, Г. Н. Чмыхалов// Известия вузов. Электромеханика, 1988, № 10. С. 67 – 72.
5. Кужеков С. Л., Кужеков С. С. Способ защиты трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором от затянувшегося пуска. Патент на изобретение №2178613. Приоритет от 24.04.2000. Зарегистр. 0.01.2002.
6. Токи статора асинхронного электродвигателя с эксцентриситетом ротора./ С. Л. Кужеков, П. Г. Колпахчян, Рогачев В. А., Сербиновский Б. Б. // Известия вузов. Электромеханика, 2008, № 4. С. 35 – 27.
7. Способ защиты трехфазного электродвигателя от междуфазных и витковых коротких замыканий обмотки статора/Кужеков С. Л., Шихкеримов И. А., Кобжув В. М., Пекерман Г. А., Лубяницкая З. М. Авт. свид. СССР № 1670734. Заявл. 21.11. 1988 г. Опубл. 15.08.1991г. Бюлл. № 30.
8. О кратковременном низкоомном индуктивном заземлении нейтрали электрической сети напряжением 6 – 10 кВ. / В. А. Хнычев, А. А. Корогод, А. А. Шупиков, С. Л. Кужеков, И. Ф. Бураков, А. А. Сенчуков // Энергоэксперт, 2008, № 6. С. 98 – 102.

Кужеков Станислав Лукьянович – доктор технических наук, профессор, кафедра ЭППиГ ЮРГТУ (НПИ) г. Новочеркасск, Ростовской обл.
E-mail: kuzhekov@mail.ru

Kougekov Stanislav Loukianovich – Doctor of Technical science, Professor, the Power supply of industrial enterprises and cities department, Southern Russian State



Technical University (NPI), Novocherkassk, Rostov region. E-mail: kuzhekov@mail.ru

УДК 621.039

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ЧАСТОТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКОВОГО СИГНАЛА ЭПА

П.В. Синельщиков, А.В. Чернов

<i>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»</i>	<i>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»</i>
---	--

Приводится экспериментальное исследование частотных составляющих токовых сигналов, снятых с электродвигателя экспериментальной установки с внесенным дефектом в червячную передачу. Указываются ограничения Фурье – преобразования, которые не позволяют точно определить место дефекта. Приводятся результаты анализа токового сигнала при помощи непрерывного вейвлет - преобразования.

Ключевые слова: диагностика, электроприводное оборудование, вейвлет - преобразование, Фурье – преобразование.

An experimental research of the frequency components of current signals, taken from the engine of experimental installation with defect in the screw-gear is presented. Specifies limits of Fourier such as transformations which do not let determine the defect location accurately are presented. The results of the current signal analysis with the help of continuous wavelet – transformation are given.

Keywords: diagnostics, electro driving equipment, wavelet – transformation, Fourier - transformation.

На сегодняшний день широкое распространение получили методы диагностирования ЭПА с использованием токового сигнала, который регистрируется со статорных обмоток электродвигателя при работе привода. Мобильность данного подхода и относительная оперативность выдаваемых ею результатов контроля позволяют производить измерения дистанционно, вдали от исследуемого оборудования, когда доступ к объекту контроля затруднен или невозможен, например, ввиду наличия высокой температуры, и не требует прокладки дополнительных, помехозащищенных линий связи.

Спектральный анализ сигналов - наиболее распространённый способ анализа сигналов. В подавляющем большинстве случаев используется преобразование Фурье (или его развитие - оконное преобразование Фурье) для получения спектра частот сигнала.

Следует отметить, что практическое применение преобразования Фурье для экспериментальных данных, зачастую, сталкивается с рядом трудностей: увеличение отношения сигнал-шум, которое образуется из-за усреднения и синхронного накопления; малая разрешающая способность анализа в высокочастотной области, что требует применения процедур детектирования (анализ огибающей). Кроме того, традиционный спектральный анализ не эффективен для нестационарных сигналов с

временным масштабом нестационарности, много меньшим продолжительности сигнала, подлежащего анализу.

Данные трудности могут быть преодолены за счет использования свойства локальности непрерывного вейвлет-преобразования, что позволяет анализировать и обрабатывать нестационарные (во времени) или неоднородные (в пространстве) сигналы.

Непрерывное вейвлет-преобразование так же, как и Фурье-преобразование, состоит в разложении исходной функции по базису. Однако, в случае вейвлет-преобразования базис конструируется из, обладающей определенными свойствами, солитоноподобной функции (вейвлет) посредством масштабных изменений и переносов. Каждая из функций этого базиса характеризует как определенную частоту, так и её локализацию во времени.

В статье [1] показано, что при помощи непрерывного вейвлет-преобразования (НВП) можно производить анализ частотных составляющих токового сигнала. Так же в статье указывается, каким образом может быть использовано НВП при ограничениях, накладываемых дискретностью токового сигнала.

Экспериментальная оценка предлагаемого метода диагностирования ЭПА была выполнена на испытательной установке, показанной на рисунке 1.

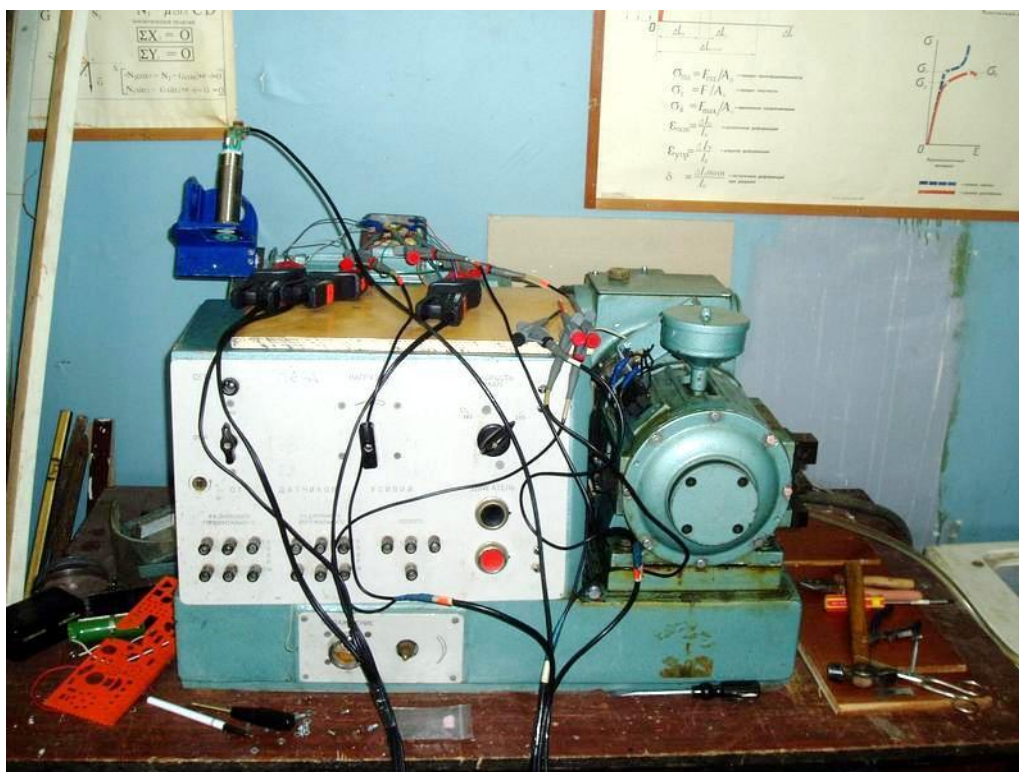


Рисунок1- Испытательная установка

Установка представляет собой станину, на которой смонтированы червячный редуктор, нагрузочный тормоз, приводной электродвигатель и пульт управления.

Проводимый эксперимент состоял в последовательном увеличении зазора между зубом червячного колеса и витками червяка. Это достигалось путем уменьшения толщины зуба червячного колеса посредством его периодического механического стачивания. Для каждого опыта производилась запись токового сигнала при различных

вариантах нагрузок, создаваемых электромагнитным тормозом (ЭТ): отсутствие, половина максимальной, максимальная.

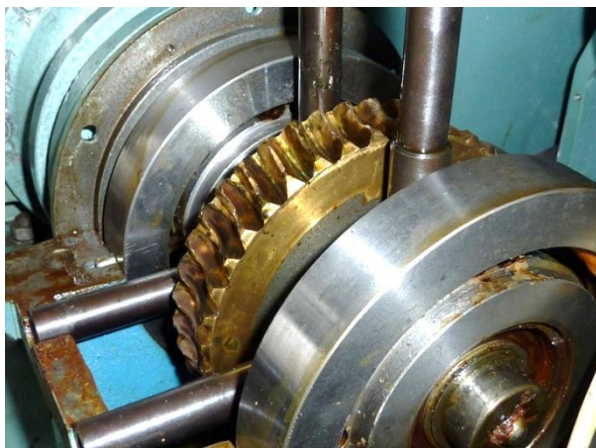


Рисунок 2 - Внешний вид червячного колеса



Обработанная боковая поверхность зуба

Рисунок 3 - Внешний вид подпиленной контактной поверхности зуба червячного колеса

Рассмотрим пример использования предлагаемой методики определения технического состояния для опыта, при создаваемой ЭТ максимальной нагрузке, когда ширина зуба червячного колеса была уменьшена на 1,2 мм и составила 3,6 мм.

Воспользовавшись записанным токовым сигналом, построим его Фурье-спектр (рис. 4) и вейвлет-спектр (рис. унок 5).

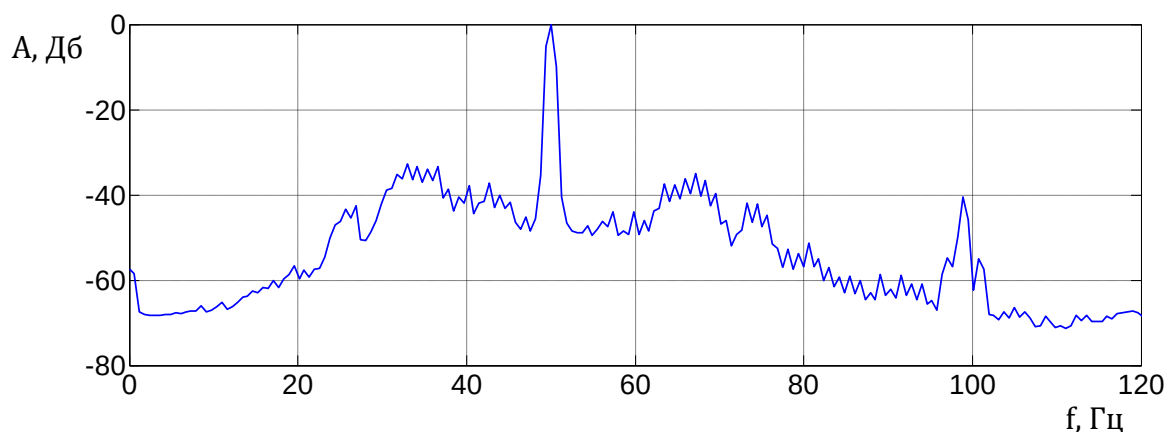


Рисунок 4— Фурье-спектр токового сигнала

В полученном вейвлет-спектре обнаружены характерные участки, три из которых отображены на рисунке унок 5. Следует отметить, что участки имеют измененные частотные и амплитудные характеристики выделенных составляющих токового сигнала выше 50 Гц. Это произошло в результате увеличения зазора между зубом червячного колеса и витками червяка. В результате появления данного дефекта, в спектре, построенном при помощи преобразования - Фурье (рис. 4), происходит «размытие» частотных составляющих и сделать однозначный вывод о виде дефекта не представляется возможным.

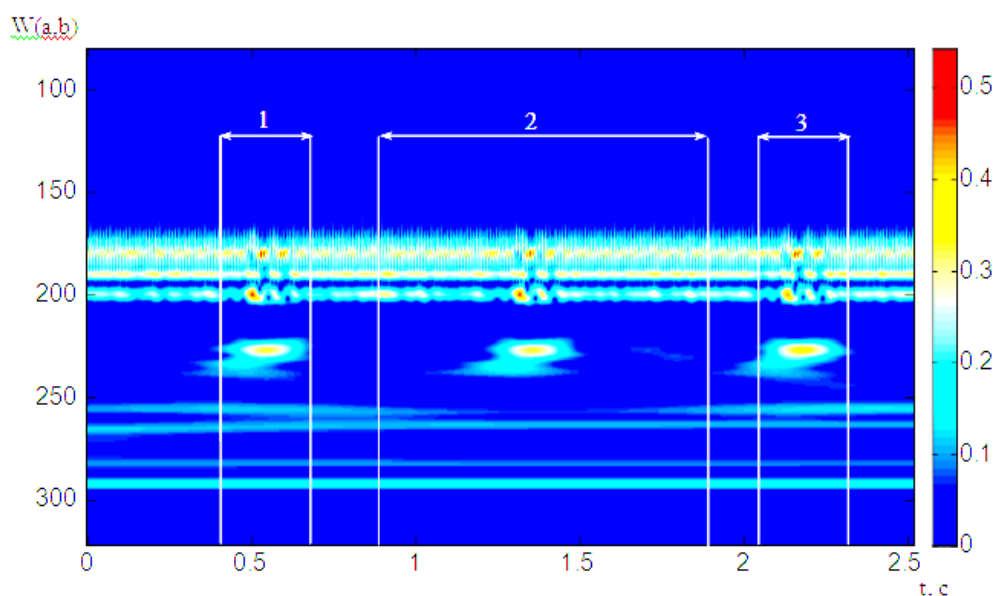


Рисунок5- Вейвлет-спектр на интервале 2.5 секунд

Использование НВП позволяет не только отслеживать изменения частотных составляющих токового сигнала, но и так же контролировать их амплитуду. Применение данного метода на практике подтвердило его хорошую чувствительность к определению дефектов. Выполненные эксперименты позволили однозначно определить наличие в токовом сигнале частот характерных для дефекта зуба червячной передачи.

Литература

1. Синельщиков П.В., Новожилов А.С. Использование непрерывного вейвлет-преобразования для диагностирования электроприводной арматуры. [Электронный источник] –<http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2009/109/>

Чернов Александр Викторович – доктор технических наук, профессор, проректор по развитию и координации деятельности филиалов НИЯУ МИФИ в г. Волгодонске, Волгодонский инженерно-технического институт-филиал Национального исследовательского университета «МИФИ». E-mail: viti@mephi.ru

Синельщиков Павел Владимирович – младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт атомного энергетического машиностроения Волгодонского инженерно-технического института-филиала Национального исследовательского университета «МИФИ». E-mail: sin@list.ru

Chernov Alexandre V. – Doctor of Technical science, Professor, Prorector for Development and coordination of affiliates of NRNU «MEPhI» in Volgograd, Volgogradsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: viti@mephi.ru

Sinelshchikov Pavel V. – junior scientist, Research Institute of Nuclear Power Mechanical Engineering, Volgogradsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: sin@list.ru

УДК 621.31

РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

М.Э. Пинчук, И.А. Якубенко

<i>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»</i>	<i>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»</i>
---	--

В данной статье рассмотрены некоторые инновационные подходы к техническому обслуживанию и ремонту АЭС, позволяющие выявить и использовать значительные резервы для повышения эффективности эксплуатации атомных электростанций благодаря сокращению продолжительности плановых остановов и снижению затрат на ремонт.

Проанализированы положительные стороны стратегии ремонта по техническому состоянию оборудования с учетом использования современной компьютерной системы информационной поддержки ТО и ремонта.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт, атомная электростанция, стратегия ремонта, ремонтная компания, межремонтный цикл, регламентированный ремонт, отказ, ремонтный персонал, техническое состояние, резервы оптимизации ремонта.

Some innovative approaches to NPP maintenance and repair providing revealing and using the significant reserves for improvement of effectiveness of nuclear power plant operation due to the scheduled shutdown duration and repair cost reduction are reviewed in this article.

The positive aspects of the repair strategy based on the equipment technical conditions using the modern computing system of the maintenance and repair information support are reviewed as well.

Keywords: maintenance and repair, nuclear power plant, repair strategy, repair process, interrepair cycle, scheduled repair, failure, maintenance personnel, technical conditions, reserves for repair effectiveness improvement.

На сегодняшний день система технического обслуживания (ТО) и ремонта оборудования атомных электростанций России в целом позволяет поддерживать работоспособность оборудования и систем АЭС на высоком уровне и обеспечивать требования безопасной эксплуатации. В то же время имеются значительные резервы для повышения эффективности эксплуатации атомных электростанций благодаря сокращению продолжительности плановых остановов и снижению затрат на ремонт.

В данной статье рассматриваются некоторые инновационные подходы к техническому обслуживанию и ремонту АЭС, а именно:

- внедрение новых форм организации ТО и ремонта;
- применение стратегии ремонта по техническому состоянию;
- совершенствование системы подготовки ремонтного персонала;
- использование современных систем информационной поддержки управления



ремонтom.

Как известно [1], основными традиционными направлениями повышения эффективности ремонта оборудования на атомных электростанциях являются:

- увеличение продолжительности межремонтных циклов оборудования;
- сокращение продолжительности капитального и среднего ремонта энергоблоков;
- внедрение новых технологий, материалов, высокопроизводительных средств технологического оснащения ремонта и корректировка нормативной базы.

Перечисленные направления повышения эффективности ремонта оборудования на АЭС аналогичны подходам, применяемым в тепловой энергетике.

Основным современным подходом к ремонту оборудования АЭС в России является применение системы регламентного ТО и ремонта, предполагающей выполнение его по истечении определенных календарных сроков или достижении назначенной наработки.. [2, 3] При этом планируются объемы работ независимо от технического состояния оборудования. Такой подход характеризуется, с одной стороны, явной избыточностью объемов работ, так как некоторое оборудование по своему техническому состоянию не нуждается в ремонте, а с другой стороны – возможностью возникновения отказов оборудования в межремонтный период вследствие отсутствия оперативной и достоверной информации о его техническом состоянии на данный момент времени.

Что касается инновационных подходов к совершенствованию технического обслуживания и ремонту оборудования на АЭС, проведенный нами анализ отечественного и мирового опыта по рассматриваемому вопросу выделяет, прежде всего, внедрение стратегий ремонта по техническому состоянию оборудования и современных компьютерных систем информационной поддержки ТО и ремонта [4], а также совершенствование системы подготовки ремонтного персонала для АЭС.

Исходя из соответствующих правил и норм [2, 3], для оборудования и систем АЭС установлены 4 класса безопасности. Оборудование, в наибольшей степени влияющее на безопасность АЭС, относится к первому и второму классам.

Следовательно, стратегия регламентированного ремонта, в соответствии с приоритетом безопасности АЭС, должна применяться для гарантированного поддержания исправности и работоспособности оборудования и систем первого и второго классов безопасности. Данный постулат обусловлен существующим научно-техническим уровнем развития систем контроля целостности металла оборудования и трубопроводов, а также некоторыми неопределенностями механизмов зарождения и скоростей развития дефектов в металле.

Что касается стратегии ремонта по техническому состоянию с применением средств технического диагностирования, то она, в основном, должна применяться в отношении оборудования третьего и четвертого классов безопасности. Данная стратегия предполагает периодический в заданном объеме контроль состояния и ремонт оборудования по факту достижения диагностируемыми параметрами «тревожных» значений. Из состава параметров, характеризующих техническое состояние оборудования и трубопроводов, выделяют так называемые определяющие (критические) параметры, которые необходимо диагностировать и для которых должны быть установлены предельные значения. Знание предельного и текущего значений определяющего параметра, а также механизма развития повреждения до состояния дефекта, а дефекта – до отказа, позволяет корректно установить время вывода оборудования в ремонт. Указанное диагностирование позволяет управлять техническим состоянием конкретного оборудования и трубопроводов.

В качестве примера реализации такой стратегии ремонта оборудования можно привести внедрение средств технического диагностирования системы автоматического регулирования и защиты (САРЗ) турбин, разработанных ОАО ВНИИАЭС. Главный недостаток данной системы – высокая трудоемкость при недостаточной точности диагностирования. Радикальным резервом повышения надежности турбин являются методы технического диагностирования САРЗ, основанные на использовании переносных и встраиваемых (стационарных) компьютерных систем диагностики. Применение таких систем обеспечивает ремонт оборудования по техническому состоянию.

Перспективным малозатратным и достаточно экономичным резервом оптимизации ремонта в отношении сокращения работ, выполнение которых не определяется реальной необходимостью, является подход, базирующийся на обоснованном выборе оборудования, эксплуатировать которое можно до наступления отказа. Такого рода подход может быть реализован применительно к оборудованию четвертого и частично третьего классов безопасности, группируемому в соответствии со следующими признаками: оборудование не влияет на безопасность и не используется для управления аварией; отказ оборудования не отражается на выработке электроэнергии; оборудование имеет резервирование или возможность быть отремонтированным либо замененным при работе энергоблока на мощности; отказ оборудования не может привести к выходу из строя элементов, используемых для управления аварией, или к недовыработке электроэнергии.

Таким образом, основными резервами для оптимизации ремонта оборудования первого и второго классов безопасности, а также оборудования третьего класса систем, важных для безопасности, являются следующие инновационные подходы:

- обоснование и внедрение в практику оптимальных сроков (периодичности) технического освидетельствования и эксплуатационного контроля состояния металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов (с возможным увеличением сроков технического освидетельствования с 4 до 10 лет);
- оптимизация сроков проверок и расхаживаний защитных и предохранительных устройств;
- совершенствование планирования сроков и объемов ремонтов;
- эффективное использование рабочего времени путем сокращения времени на допуск персонала в зону контролируемого режима;
- учет данных при планировании ремонтов, полученных системами оперативного диагностирования и штатной системой технологического контроля;
- применение прогрессивных средств технологического оснащения ремонта (гайковертов для главного разъема корпуса реактора, главных циркуляционных насосов, коллекторов парогенераторов и др.).

Литература

1. Орлов В.И. и др. Оптимизация длительности топливных циклов на АЭС с ВВЭР с учетом требований по проведению ППР// Четвертая межд. научн.-техн. конф. «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики». М.: ВНИИАЭС. 2004.
2. Правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования атомных станций. РД 53.025.002-88. М. 1988.
3. Техническое обслуживание и ремонт систем и оборудования атомных станций. Нормативная продолжительность ремонтов энергоблоков АС. РД ЭО 0085-97. М. 1998.



4. Якобе Н., Грауф Э. Оптимизированный процесс проведения планово-предупредительных ремонтов. Семинар РЭА/SNP «Обмен опытом в области техобслуживания и ремонта АЭС. Сокращение сроков проведения ППР» Москва, 4-5 декабря 2000 г.

Пинчук Михаил Эдуардович – старший преподаватель кафедры теплоэнергетического оборудования, главный инженер ОАО «Югэлектро». E-mail: mikhail-pinchuk@mail.ru.

Якубенко Игорь Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Атомные электрические станции», Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». E-mail: igoryakub@yahoo.com

Pinchuk Mikhail E. – senior lecturer of the Heat-and-power engineering equipment department, chief engineer of JSC «Yugelectro». E-mail: mikhail-pinchuk@mail.ru.

Yakubenko Igor A. – candidate of Technical science, senior lecturer, head of the Nuclear Power Plants department, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: igoryakub@yahoo.com

УДК 621.039

СНИЖЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Е.А. Абидова, Ю.П. Муха, О.Ю. Пугачёва, А.В. Чернов

<i>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» Волгоградский государственный технический университет</i>	<i>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI» Volgograd State Technical University</i>
---	--

В статье анализируется система диагностики технического состояния электроприводной арматуры (ЭПА). Показано, что при использовании штатной системы возможна неопределенность диагноза. Для снижения неопределенности предлагается оптимизированный алгоритм оценки технического состояния объекта диагностирования. Рекомендовано дополнить спектральный анализ фазовым плоскостным методом. Во избежание пропуска дефекта рекомендуется проводить спектральный анализ огибающей, полученной в результате реализации алгоритма демодуляции. Благодаря использованию оптимизированных алгоритмов уменьшилась неопределенность оценки технического состояния электроприводной арматуры.

Ключевые слова: оценка работоспособности, спектральный анализ, электроприводная арматура, система диагностики, мера неопределенности, фазовый плоскостной метод.

In this article the diagnostics system for a working capacity estimation of electro-driving armatures (EDA) is analyzed. It is shown that in the process of usual system operation the diagnostics uncertainty is possible. For the decision of this problem it is offered to optimize the algorithm of technical condition estimation of a diagnosed object. It is recommended to add the spectral analysis with the phase plane method. Application of algorithms of demodulation raises efficiency of the spectral analysis, allowing avoid the defect admission. Due to optimized algorithms usage the estimation uncertainty of electro-driving armatures condition is decreased.

Keywords: working capacity estimation, spectral analysis, electro-driving armatures, diagnostics system, measure of uncertainty, phase plane method.

Штатная система диагностирования электроприводной арматуры ЭПА по потребляемому току двигателя (рис. 1) предполагает определение технического состояния ЭПА, исходя из анализа параметров огибающей сигнала тока и спектрального анализа. [1]

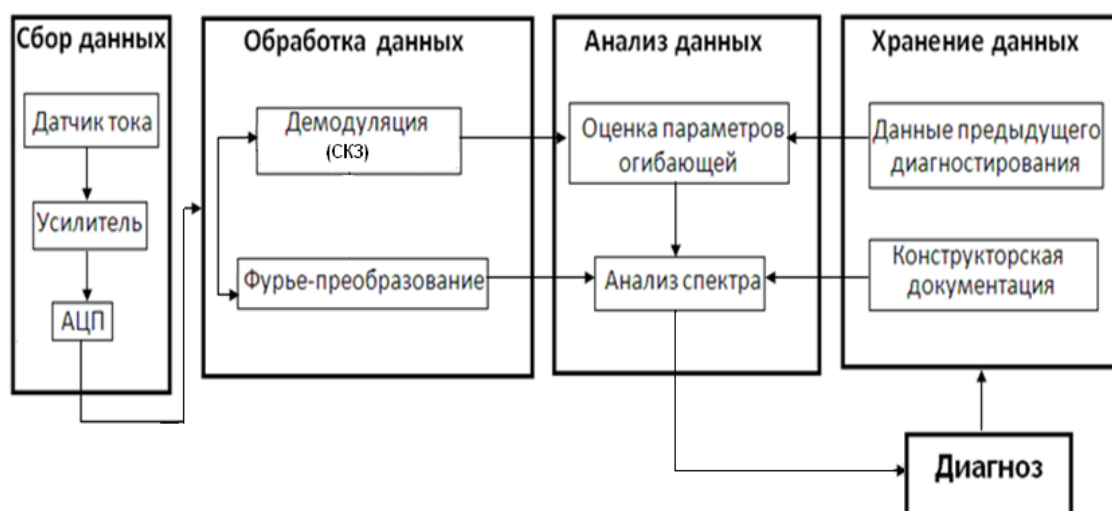


Рисунок 1 – Функциональная схема штатной системы диагностики ЭПА

При постановке диагноза на основе токово-временных параметров и амплитудно-частотных характеристик сигнала возможна неопределенность, поскольку различным дефектам могут соответствовать идентичные спектры. Например, в случае несоосности вала ротора, так же, как и при дефекте подшипника ротора (раковина на внутреннем кольце) в спектрах токового сигнала наблюдаются основные и комбинационные частоты подшипника ротора (рис. 2).

Для оценки информационной неопределенности воспользуемся комбинаторно-вероятностной мерой разнообразия заданного множества объектов Р. Хартли [2]:

$$H_n(N) = k \ln N, \quad (4.1)$$

где k – коэффициент пропорциональности (при $k = 1/\ln 10$ используются десятичные единицы);

N – количество возможных диагнозов при оценке диагностической информации.

Таблица1 (фрагмент)-Неопределенность при диагностике ЭПА

Наблюдаемые частоты в сигнале тока	Диагнозы на основании частотного анализа	H_n	Вид модуляции колебаний ротора	Диагнозы на основании анализа частот и вида модуляций	H_n
1	2	3	4	5	6
Частоты вала ротора $n f_{вр}$, основные и комбинационные частоты подшипника ротора $f_{нк}$, $f_{вк}$, $f_{сп}$, $f_{тк}$, частота сети f_c .	Несоосность выходного вала; дефект наружного кольца подшипника ротора; дефект внутреннего кольца подшипника ротора;	0,7	Фазовая модуляция	Несоосность выходного вала	0
			Амплитудная модуляция	дефект наружного кольца подшипника ротора;	0,6
				дефект внутреннего кольца подшипника ротора;	

Продолжение таблицы 1 (фрагмент)

1	2	3	4	5	6
	дефект сепаратора подшипника ротора; дефект тела качения подшипника ротора.			дефект сепаратора подшипника ротора; дефект тела качения подшипника ротора.	
Частоты вала ротора $pf_{вр}$, частоты вала червячного колеса $mf_{вчк}$, основные и комбинационные частоты червячного колеса $f_{чк}$ частота сети f_c .	Дефект вала червячного колеса; дефект червячного колеса.	0,3	Фазовая модуляция	Дефект вала червячного колеса	0
			Амплитудная модуляция	Дефект червячного колеса	0

Данные колонки 3 таблицы говорят о высокой неопределенности штатной системы диагностики. Уменьшение неопределенности (колонка 6) можно достигнуть путем использования дополнительных данных об объекте диагностирования (колонка 4).

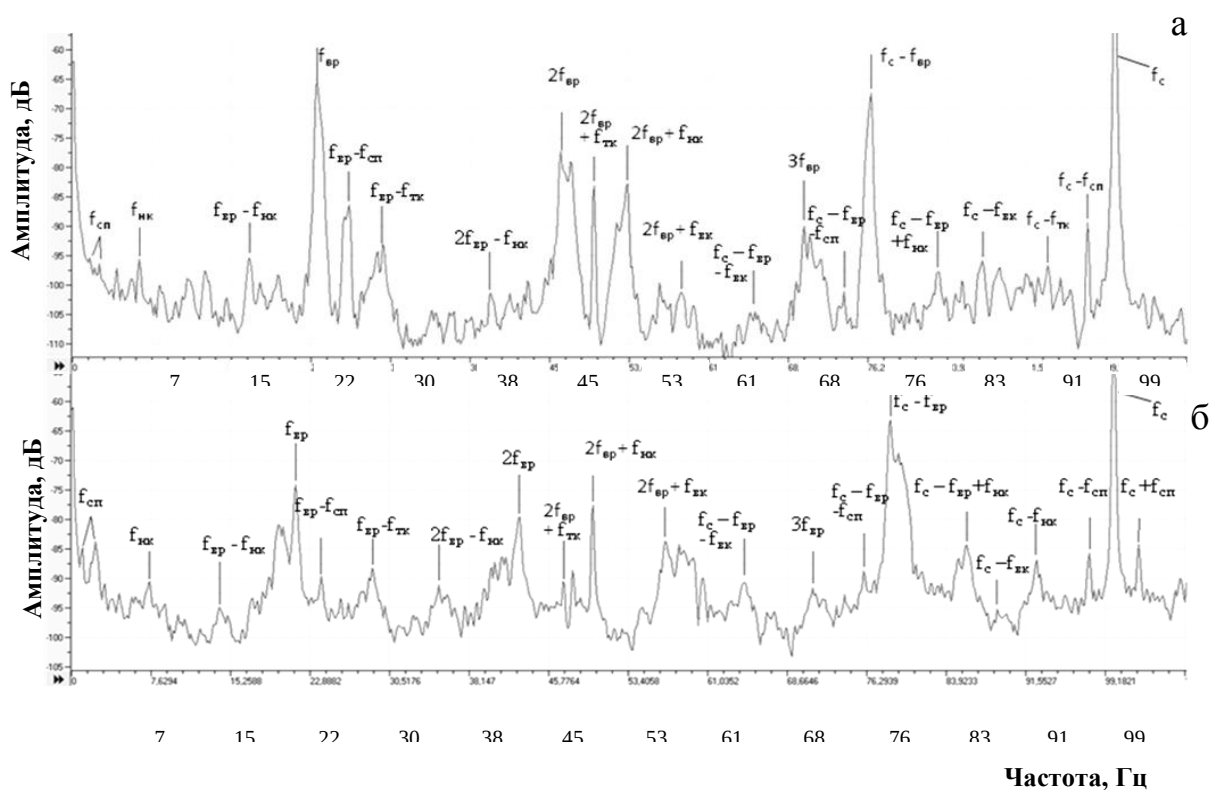


Рисунок 2 - Спектры огибающих сигналов тока двигателя ЭПА с приводом типа ПГ-05-У2:
а – с несоосностью выходного вала двигателя; б – с дефектом подшипника ротора

Отметим также риск принятия решения относительно состояния ЭПА, связанный с неопределенностью оценки степени развития дефекта в штатной системе диагностики. Штатная система учитывает проявление дефектов на основных и комбинационных частотах дефектного узла. Однако, известно [3], что все механические дефекты роторных систем, к которым относится ЭПА, проявляются на частоте вращения ротора, как появление и рост амплитуд высших гармоник вращения ротора (рис. 2) и изменение разности фаз между гармониками.

Очевидно, необходима доработка системы диагностики для получения дополнительных диагностических признаков: вида и глубины модуляции, числа и соотношения амплитуд гармоник ротора; разности фаз между гармониками. Для выявления данных особенностей в работе [4] предлагается фазово-плоскостной метод (ФПМ) диагностики состояния подшипников по виброакустическому сигналу. Мы предлагаем аналогичным образом исследовать особенности колебаний ротора по сигналу тока двигателя ЭПА.

ФПМ предполагает представление диагностического сигнала на векторной плоскости в виде совокупности векторов, длины которых соответствуют амплитудам, а скорости вращения частотам соответствующих элементарных колебаний, составляющих диагностический сигнал. Суммарный вектор очерчивает траектории, совокупность которых называется фазовым портретом (ФП) сигнала.

Анализ ФП выявил в первом случае фазовую модуляцию, связанную с дефектами сборки, в частности, несоосностью вала двигателя (рисунок 3 а); во втором – синхронные амплитудно-модулированные колебания ротора (рисунок 3 б), характерные для локального дефекта подшипника. Таким образом, анализ ФП позволил различить состояния ЭПА, характеризующиеся идентичным представлением в спектре токового сигнала.

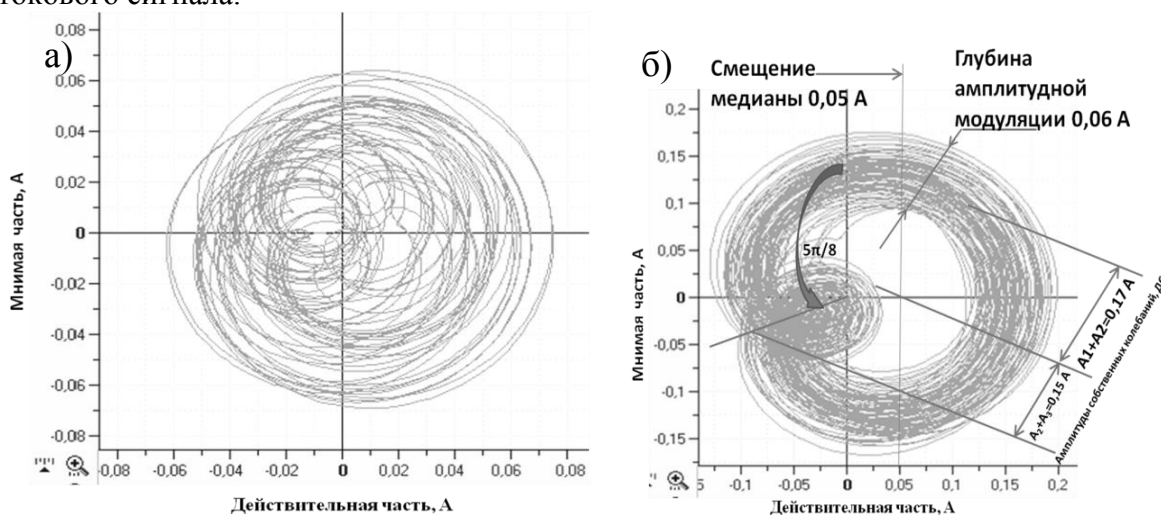


Рисунок 3 - Фазовые портреты сигналов тока двигателя ЭПА с приводом типа ПГ-05-У2:

а – с несоосностью выходного вала двигателя;

б – с дефектом подшипника ротора

Нами разработан алгоритм анализа ФП, с помощью которого возможно распознать двенадцать состояний ЭПА, соответствующих отсутствию дефекта, и различным стадиям дефектов подшипника двигателя; подшипника редуктора, скол в зубчатой передаче; неточность сборки в передаче; несоосность валов. Также на

основании анализа ФП производится заключение о состоянии двигателя.

Объединение результатов анализа фазового портрета и анализа спектра позволяют получить на выходе наиболее вероятный диагноз. При отсутствии в базе данных информации о частотах работы кинематических пар спектральный анализ не является информативным, и в базу данных заносится диагноз, получаемый в результате процедуры анализа ФП.

Функциональная схема оптимизированной системы диагностики ЭПА, включающая анализ спектра и фазового портрета, представлена на рисунке 4.

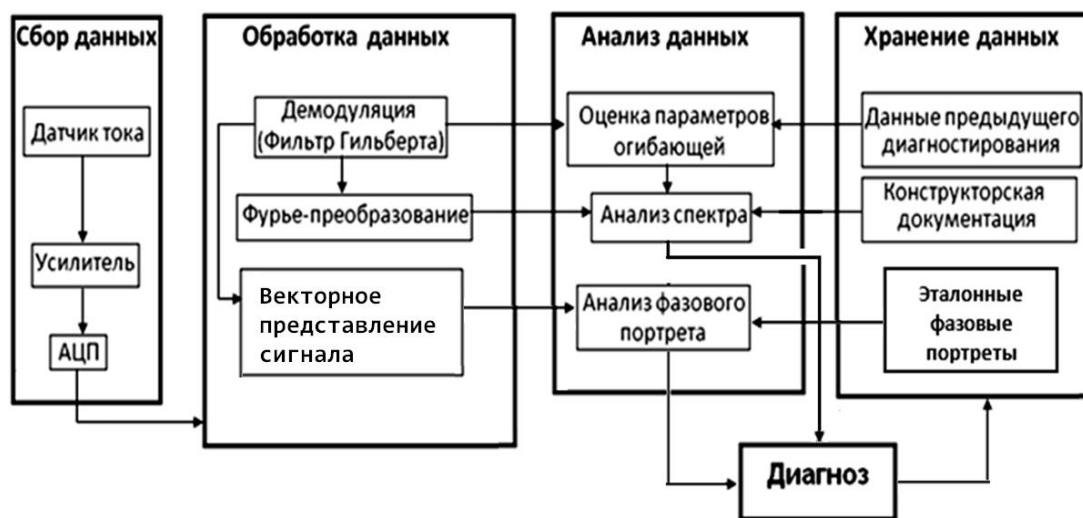


Рисунок 4 - Функциональная схема оптимизированной системы диагностики ЭПА

Испытания в производственных условиях Ростовской АЭС системы диагностики ЭПА, оптимизированной согласно функциональной схеме, представленной на рисунке 4, дали положительные результаты. Таким образом, удалось снизить информационную неопределенность при диагностике ЭПА.

Литература

1. Никифоров В.Н., Пугачева О.Ю., Сиротин Д.В. Методика оценки технического состояния электроприводной арматуры РЦ и ТЦ энергоблока №1 по ее электрическим параметрам. ЭМТД 66-019-06 ПМ, 2006.
2. Дворяшин Б.В. Основы метрологии и радиоизмерения: Учеб. Пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1993. 320 с. с ил.
3. Добрынин С.А., Фельдман М.С., Фирсов Г.И. Методы автоматизированного исследования вибрации машин: справочник. - М.: Машиностроение, 1987. - 224 с. с ил. - (Основы проектирования машин).
4. Нафиков А.Ф., Закричная М.М., Сабуров В.К. Использование теории детерминированного хаоса для диагностики роторного оборудования // 55-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ: Сб. тез. докл. - Уфа: УГНТУ, 2004. 218-219 с.

Муха Юрий Петрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная техника», Волгоградский государственный технический университет. E-mail: rector@vstu.ru

Чернов Александр Викторович – доктор технических наук, профессор, проректор по развитию и координации деятельности филиалов НИЯУ МИФИ в г. Волгодонске, Волгодонский инженерно-технического институт-филиал Национального исследовательского университета «МИФИ». E-mail: viti@mephi.ru

Пугачёва Ольга Юрьевна – кандидат технических наук, начальник отдела технической диагностики, Научно-исследовательский институт атомного энергетического машиностроения Волгодонского инженерно-технического института-филиала национального исследовательского университета Московского инженерно-физического института. E-mail: nii_energomash@mail.ru

Абидова Елена Александровна – младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт атомного энергетического машиностроения Волгодонского инженерно-технического института-филиала национального исследовательского университета Московского инженерно-физического института. E-mail: nii_energomash@mail.ru

Mouha Juriy P. – Doctor of Technical science, Professor, the head of the Computer engineering department, Volgograd State Technical University. E-mail: rector@vstu.ru

Chernov Alexandre V. – Doctor of Technical science, Professor, Prorector for Development and coordination of affiliates of NRNU «MEPhI» in Volgodonsk Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: viti@mephi.ru

Pugachyova Olga Y. – candidate of Technical science, head of the Technical diagnostics department, Research Institute of Nuclear Power Mechanical Engineering, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: nii_energomash@mail.ru

Abidova Elena A. – junior scientist, Research Institute of Nuclear Power Mechanical Engineering, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: nii_energomash@mail.ru

УДК 621.316.925

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЛОКИРОВКИ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ДАТЧИКОВ ПОЛОЖЕНИЯ

Н.О. Калинина, В.И. Нагай

<i>Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)</i>	<i>Southern Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)</i>
--	--

В статье проведён анализ основных причин отказов электромагнитной блокировки коммутационных аппаратов подстанций 6-110 кВ. Рассмотрены различные типы бесконтактных выключателей и возможность их применения в схемах электромагнитной блокировки разъединителей для повышения её надёжности.

Ключевые слова: электромагнитная блокировка, коммутационный аппарат, бесконтактный выключатель, подстанция, локальное устройство, датчик положения.

In the article the analysis of the basic reasons for the failures of the electromagnetic blocking of the switch apparatuses of the substations of 6-110 kV is carried out. Different types of noncontact switches and possibility of their application in the diagrams of the electromagnetic blocking of disconnector switches for increasing its reliability are examined.

Keywords: the electromagnetic blocking, the switch apparatus, the noncontact switch, the substation, the local device, the gauge of position.

Важное место в электроэнергетике занимает надежность работы оборудования и безопасность действий, совершаемых рабочим персоналом при оперативных переключениях. Для предупреждения неправильных операций, производимых оперативным персоналом, все коммутационные аппараты оснащены устройствами блокировки. Все переключения в электрических распределительных устройствах должны производиться в четкой очередности, в соответствии с инструкцией по эксплуатации оперативных блокировок в распределительных устройствах высокого напряжения. Наибольшее распространение получили механические и электромагнитные блокировки. Механическую блокировку применяют, обычно, в схемах с малым числом присоединений (обычно до 10).

В настоящее время широко распространена электромагнитная блокировка разъединителей с использованием электромагнитных замков. Она содержит источник питания, электрические цепи и соединения, а так же аппаратуру блокировок разъединителей (блок-замки, коммутирующие устройства командно-сигнального аппарата КСА). Исходя из условия обеспечения, разрешенного для первичной цепи, порядка операций коммутационными аппаратами, выполняется электрическая схема питания электромагнитов блокировки.

Несовершенство такой системы приводит к серьезным сбоям в работе, отключению потребителей, повреждению дорогостоящего высоковольтного оборудования, травмам оперативного персонала. Исходя из этого, к оперативным блокировкам разъединителей предъявляются следующие требования:

- блокировка должна быть полной, т.е. предусматривать блокирование всех неправильных операций, которые могут быть произведены разъединителями;
- устройства оперативной блокировки и блокировки заземляющих ножей должны осуществляться по общей схеме;
- блокировка должна быть надежна в эксплуатации;
- при неисправностях или исчезновении напряжения оперативного тока блокировка должна позволять производить операции с разъединителями с применением универсального ключа;
- блокировочная аппаратура должна быть доступна для осмотра при наличии напряжения на блокируемом оборудовании;
- блокировка не должна без надобности усложнять или замедлять операции с разъединителями, что особенно важно при большом количестве присоединений;
- блокировка не должна препятствовать включению и отключению выключателя при отключенных разъединителях присоединения. Однако, блокировка должна исключать возможность подачи напряжения на заземленные участки присоединений включением выключателя.

При осуществлении блокировки наряду с обеспечением разрешенного порядка переключения необходимо исключить возможность ошибочного включения выключателя на заземленный участок цепи. Это требование удовлетворяется таким построением схемы электромагнитной блокировки, что включение заземляющего ножа по одну сторону выключателя возможно только при отключенном разъединителе по другую сторону, и наоборот. Для примера приведена схема построения блокировки коммутационных аппаратов для одной секции шин с линейным присоединением, трансформаторным присоединением и присоединением трансформатора напряжения (рис. 1).

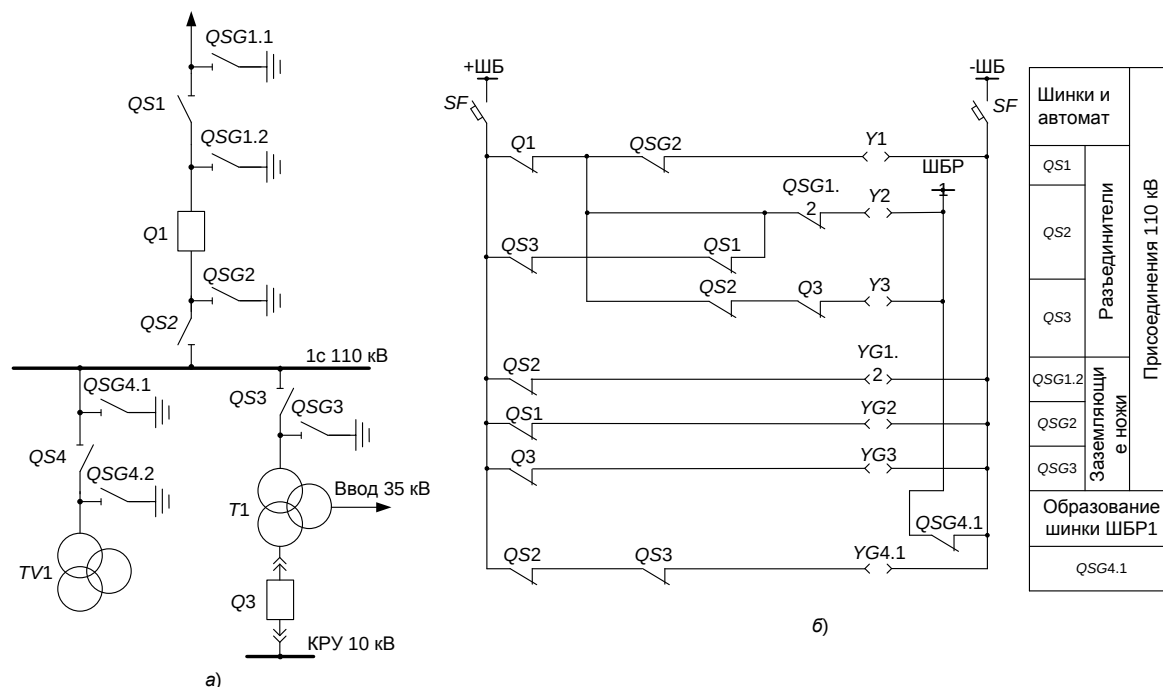


Рисунок 1 - Схема блокировки:

а – схема распределительного устройства с одной системой шин;

б – схема блокировки элементов распределительного устройства с одной системой шин

На базе инструкции по эксплуатации оперативных блокировок цепи

формирования разрешающих сигналов для каждого присоединения можно описать уравнениями алгебры логики:

– для разъединителей:

$$f(QS1) = Q1 \cdot QSG2 \cdot QSG4.1;$$

$$f(QS2) = (Q1 + QS3 \cdot QS1) \cdot QSG1.2 \cdot QSG4.1;$$

$$f(QS3) = Q1 \cdot QS2 \cdot Q3 \cdot QSG4.1;$$

– для заземляющих ножей:

$$f(QSG1.2) = QS2;$$

$$f(QSG2) = QS1;$$

$$f(QSG3) = Q3;$$

$$f(QSG4.1) = QS2 \cdot QS3.$$

Основными причинами отказов электромагнитных блокировок разъединителей на подстанциях являются:

– тяжелые климатические условия работы (повышенная влажность, перепады температур, проникновение в приводы разъединителей грызунов и насекомых, которые мешают работе аппаратов);

– старение изоляции;

– повреждения подводов кабелей к шкафам приводов разъединителей;

– низкая надёжность работы блок-контактов КСА;

– возможность осуществлять деблокирование без электромагнитного ключа.

Для повышения надёжности электромагнитных блокировок необходимо получать достоверную информацию о крайних конечных положениях разъединителей и их заземляющих ножей. Этого можно достигнуть путем применения первичных преобразователей положения, в качестве которых можно использовать бесконтактные датчики. Системы блокировки на базе таких датчиков исключают возможность проведения операций с коммутационными аппаратами при нахождении их в промежуточном положении.

Бесконтактным выключателем (датчиком положения) является твердотельный (полупроводниковый) преобразователь, управляющий состоянием внешней цепи нагрузки при помощи встроенного коммутационного элемента в зависимости от положения объекта воздействия. При этом регистрация объекта производится дистанционно (без механического контакта преобразователя и объекта воздействия).

При установке в системах автоматизации технологического оборудования бесконтактные выключатели чаще всего выполняют функцию первичных преобразователей для контроля положения рабочих элементов оборудования, сигнализируя о завершении выполнения команды на перемещение.

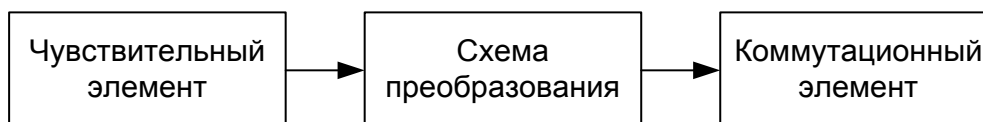


Рисунок 2 - Функциональная схема бесконтактного выключателя

В зависимости от принципа действия чувствительного элемента выделяют индуктивные, емкостные и оптические бесконтактные выключатели, различающиеся по возможным областям применения. Индуктивные бесконтактные выключатели типа

ВБИ регистрируют присутствие металлических объектов воздействия на расстоянии до 150 мм. Емкостные бесконтактные выключатели типа ВБЕ регистрируют присутствие объектов воздействия из любых материалов на расстоянии до 40 мм. Оптические бесконтактные выключатели типа ВБО регистрируют присутствие любых непрозрачных объектов в зоне чувствительности до 16 м. К данной группе изделий относятся также многолучевые оптические защитные барьеры с дискретным выходом, предназначенные для обеспечения безопасности персонала на кузнечно-прессовом оборудовании, в охранных системах и других установках.

Основные функции бесконтактных выключателей предполагается применять для сбора информации, получения сигнала и световой индикации о положении разъединителей. Посредством полученных сигналов возможна реализация блокировки разъединителей, которая может быть выполнена как в виде локальной схемы (рис. 3а), так и в виде централизованной схемы (рис. 3б).

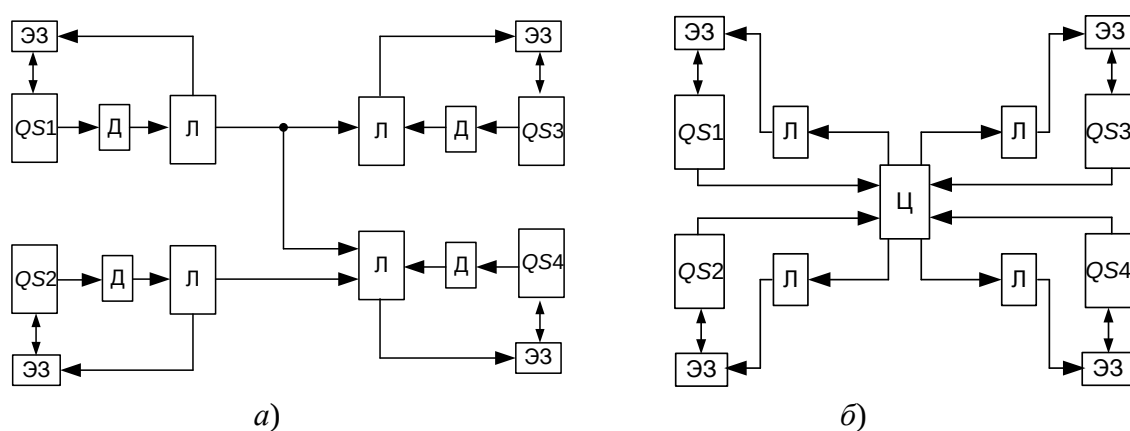


Рисунок 3 - Схема блокировки разъединителей:
а - локальная; б - централизованная

Функционирование локальной схемы включает взаимодействие двух основных блоков: локального (Л) и блока датчиков (Д). Разрешающий сигнал блокировки поступает на электромагнитный замок (ЭЗ), что даёт возможность произвести переключение коммутационного аппарата. Построение такой системы блокировки не предполагает дополнительных кабельных связей по сравнению с существующей системой, что значительно снижает объем монтажных работ.

При использовании централизованной системы снижается число кабельных связей между элементами системы блокировки, что актуально на реконструируемых подстанциях. При этом сигнал о состоянии коммутационных аппаратов формируется в локальных устройствах (Л) и передается на центральное управляющее устройство (Ц), где и формируется разрешающий сигнал. ЛУ обеспечивают получение информации о состоянии собственных коммутационных аппаратов. При таком подходе снижается стоимость работ по установке и уменьшается в несколько раз количество кабельных связей.

В ЮРГТУ(НПИ) разработана система блокировки на основе электромеханических, твердотельных реле и бесконтактных датчиков положения. Её функционирование включает взаимодействие двух основных блоков А и В. Блок привода А (рис. 4) устанавливается непосредственно на приводах разъединителей и выполняет функцию традиционных блок-контактов КСА. Блоки клеммных шкафов В (рис. 4) служат для формирования разрешающих сигналов блокировки.

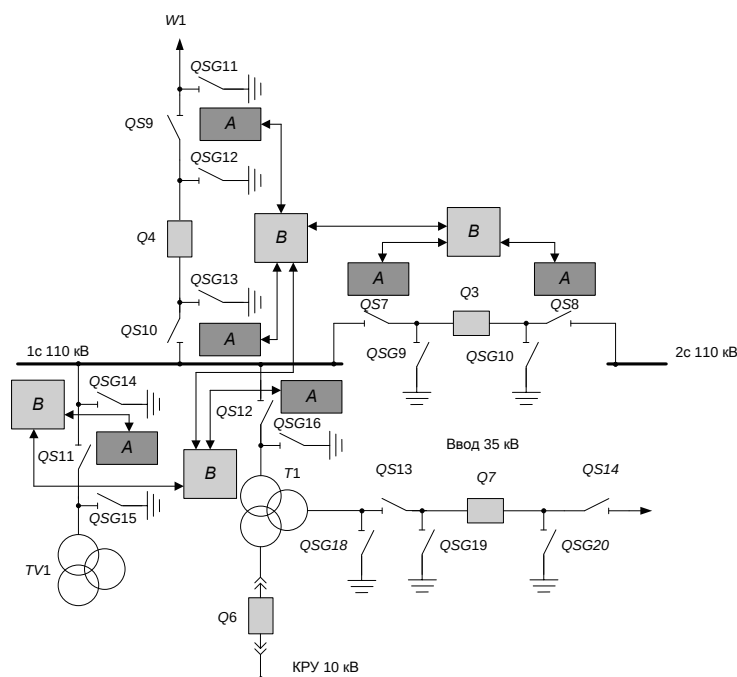


Рисунок 4 - Структурная схема устройства блокировки при организации логики на клеммах и реле

Централизованная магистральная система может быть реализована на основе микропроцессорных устройств (рис. 5). В функции локальных устройств (ЛУ) входят: контроль положения коммутационного аппарата, обработка данных, обмен данными с центральным управляющим устройством (ЦУУ), подача напряжения на электромагнитный замок при получении разрешающего сигнала от ЦУУ, а так же световая индикация положения разъединителя, его заземляющих ножей и контроль питания блока.

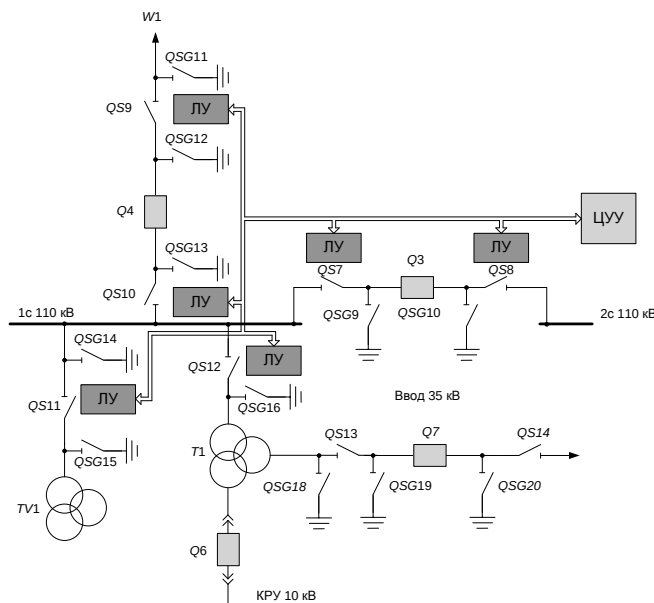


Рисунок 5 - Структурная схема устройства блокировки при организации логики на микропроцессорной базе

В центральном управляющем устройстве программно реализована логическая часть блокировки для конкретной подстанции. Оно получает информацию о положении всех коммутационных аппаратов распределительного устройства, производит обработку полученных данных, формирует, разрешающие для проведения переключений, сигналы и отправляет данные на локальные устройства.

Рассмотренные варианты построения блокировок коммутационных аппаратов позволяют реализовать технические системы, свободные от недостатков, с механическими контактами контроля положения разъединителей и могут быть интегрированы в АСУ подстанции.

Литература

1. Буткевич В.Ф., Крылов С.В. Анализ причин отказов электромагнитных блокировок на подстанциях Сургутских электрических сетей // Электрические станции. 2002. №8. С. 54-60.
2. Инструкция по эксплуатации оперативных блокировок безопасности в распределительных устройствах высокого напряжения. Служба передового опыта и информации. М.: Союзтехэнерго, 1979 с. 9-38
3. Крашенинников В.А. О состоянии блокировочных устройств в распреедустройствах электрических подстанций // Электрические станции. 2003. № 9. С.15-16.

Нагай Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, декан Энергетического факультета, профессор кафедры «Электрические станции», заместитель директора НИИЭ ЮРГТУ (НПИ), Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт).
E-mail: nvi53@mail.ru, nagay@novoch.ru

Калинина Наталья Олеговна – аспирант, инженер кафедры «Электрические станции» Энергетического факультета, Южно-Российский государственный технический университет, (Новочеркасский политехнический институт),
E-mail: tata@novocherkassk.net

Nagay Vladimir I. - Doctor of Technical science, Professor, the dean of the Energetic department, Professor of the Electric stations department, Deputy Director of NRIE SRSTU (NPI), Southern Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute).
E-mail: nvi53@mail.ru, nagay@novoch.ru

Kalinina Natalia O. - postgraduate student, engineer of the Electric stations department, Southern Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute). E-mail: tata@novocherkassk.net

**Г
Л
О
Б
А
Л
Ь
Н
А
Я**

**Я
Д
Е
Р
Н
А
Я**

**Б
Е
З
О
П
А
С
Н
О
С
Т
Ь**

**СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ
РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС**

УДК 316:621.039

ПРОБЛЕМЫ КВАЛИФИКАЦИИ ЯДЕРНОГО ТЕРРОРИЗМА**В.Т. Корниенко**

<i>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»</i>	<i>Volgodonsk Engineering and Technology Institute branch of National Research Nuclear University of MEPHI</i>
---	--

В данной статье говорится о необходимости совершенствования российского уголовного законодательства, направленного на борьбу с ядерным терроризмом.

Ключевые слова: ядерный терроризм, противодействие терроризму, предупреждение терроризма, состав преступления.

This article says about the necessity of improvement of the Russian criminal law aimed at the war on nuclear terrorism.

Keywords: nuclear terrorism; counter terrorism prevention of terrorism; corpus delicti (components of crime).

Уточнить статью

26–27 марта сего года в Сеуле пройдет Международный саммит по проблемам ядерного терроризма, основная цель которого заключается в предотвращении этого крайне опасного вида преступной деятельности.

Терроризм, как насильственный способ достижения политических целей, известен человечеству очень давно.

В эволюции терроризма, как категории противоправных преступных деяний, представляющих повышенную общественную опасность, можно выделить пять этапов.

Первый этап от античности до 40-х гг. XIX в. характерен тем, что в этот период закладывались основы террора, организовывались первые террористические группы, использовавшие крайне жестокие методы политической борьбы.

Второй этап от 40-х гг. XIX в. до 20-х гг. XX в. характеризуется выработкой основных форм и методов террористической деятельности. Именно на этом этапе террору была подведена теоретическая база, сформированы стратегии и тактики террора.

В период с 20-х по конец 50-х гг. XX в. террор стал неотъемлемым фактором политической жизни, возникли новые методы терроризма, террористические акты, ранее совершаемые террористами-одиночками, сменились массовыми видами террора.

С начала 60-х по конец 80-х гг. XX в. в мире появились интернациональные террористические группировки, террор стал глобальным фактором международной политики, касающимся всех, без исключения, государств.

Современный этап развития международного сообщества характерен трансформацией террора из глобального фактора международной политики в глобальную проблему современности.

Федеральный закон Российской Федерации «О борьбе с терроризмом» определяет терроризм, как насилие или угрозу его применения в отношении физических лиц или организаций, а также уничтожение (повреждение) или угрозу уничтожения

(повреждения) имущества и других материальных объектов, создающие опасность гибели людей, причинения значительного имущественного ущерба либо наступления иных общественно опасных последствий, осуществляемые в целях нарушения общественной безопасности, устрашения населения, или оказания воздействия на принятие органами власти решений, выгодных террористам, или удовлетворения их неправомерных имущественных и (или) иных интересов; посягательство на жизнь государственного или общественного деятеля, совершенное в целях прекращения его государственной или иной политической деятельности либо из мести за такую деятельность; нападение на представителя иностранного государства или сотрудника международной организации, пользующихся международной защитой, а равно на служебные помещения либо транспортные средства лиц, пользующихся международной защитой, если это деяние совершено в целях провокации войны или осложнения международных отношений.

Еще гораздо более опасным является ядерный терроризм. Этот вид терроризма, в котором может быть использовано ядерное оружие или радиоактивные материалы, многократно повышает общественную опасность данного вида преступлений.

Именно поэтому террористы активно ищут ядерное оружие, а также высокообогащенный уран и плутоний, необходимые для его производства.

Терроризм, как явление, к сожалению, не только выживает, но и набирает новую силу, а посему, риск ядерного терроризма становится гораздо более вероятным, чем считалось ранее.

Один из основных способов противодействия ядерному терроризму является предупреждение, пресечение и раскрытие преступлений данной направленности, в связи с чем, совершенствование уголовного законодательства в этой части является приоритетнейшим направлением деятельности Российского государства.

С глубоким сожалением следует отметить, что современный уголовный закон серьезно страдает от нарушения общих правил законодательной техники при конструировании норм права. Примером тому, кроме прочих, является статья 205 УК РФ, предусматривающая уголовную ответственность за совершение всякого террористического акта, и ядерного террористического акта в частности.

Статья 205 УК РФ содержит в себе три части, предусматривая как квалифицированный состав в части 2, так и особо квалифицированный по части 3, являющийся, по нашему мнению, самостоятельным составом преступления, требующим отдельной нормы УК РФ.

Законодатель сконструировал данную норму таким образом, что террористический акт, сопряженный с посягательством на объекты использования атомной энергии либо с использованием ядерных материалов, радиоактивных веществ или источников радиоактивного излучения либо ядовитых, отравляющих, токсичных, опасных химических или биологических веществ подлежит квалификации по п. а ч. 3 ст. 205 УК РФ.

При этом, в диспозиции части 3 статьи 205 УК РФ Законодателем определено, что под данную норму подпадают, как совершение взрыва, поджога или иных действий, устрашающих население и создающих опасность гибели человека, причинения значительного имущественного ущерба либо наступления иных тяжких последствий, в целях воздействия на принятие решения органами власти или международными организациями, а также угроза совершения указанных действий в тех же целях, совершенные в одиночку и без последствий в виде наступления по неосторожности смерти человека, или значительного имущественного ущерба либо наступления иных тяжких последствий, так и группой лиц по предварительному сговору или

организованной группой с наступлением вышеуказанных последствий.

Данная конструкция закона является крайне проблемной для правоприменителя, поскольку при предъявлении обвинения в совершении ядерного террористического акта, совершенного, к примеру, группой лиц по предварительному сговору или организованной группой, что более всего вероятно, формулу обвинения придется выстраивать таким образом, что квалифицирующие признаки преступления окажутся в середине. После этого правоприменителю надлежит в обязательном порядке указать, с посягательством на какие, определенные законом, особые объекты был совершен террористический акт.

Это обстоятельство крайне важно, поскольку в силу прямого указания части 2 статьи 63 УК РФ совершение ядерного террористического акта группой лиц по предварительному сговору или организованной группой, равно, как и повлекшие причинение значительного имущественного ущерба либо наступление иных тяжких последствий не может повторно учитываться при назначении наказания в качестве отягчающих обстоятельств, поскольку они предусмотрены п.п. а, в ч. 2 ст. 205 УК РФ в качестве квалифицирующих признаков преступления.

Утверждение, будто бы указанную проблему можно нивелировать наказанием, поскольку санкция вышеуказанной статьи предусматривает лишения свободы на срок от пятнадцати до двадцати лет с ограничением свободы на срок от одного года до двух лет или пожизненное лишение свободы, не может быть принято во внимание, как не основанное на законе.

Исходя из вышеизложенного, а так же с учетом того, что данная проблема вполне относима к ст.ст. 205.1 и 205.2 УК РФ, полагаем, что такой состав преступления, как ядерный террористический акт Законодательству следует выделить в самостоятельный, конструкция которого может быть следующей:

Статья 205.3 УК РФ. Ядерный террористический акт

1. Совершение взрыва, поджога или иных действий, устрашающих население и создающих опасность гибели человека, причинения значительного имущественного ущерба либо наступления иных тяжких последствий, в целях воздействия на принятие решения органами власти или международными организациями, а также угроза совершения указанных действий в тех же целях, сопряженные с посягательством на объекты использования атомной энергии либо с использованием ядерных материалов, радиоактивных веществ или источников радиоактивного излучения либо ядовитых, отравляющих, токсичных, опасных химических или биологических веществ –

наказываются лишением свободы на срок от пятнадцати до двадцати лет с ограничением свободы на срок от одного года до двух лет или пожизненным лишением свободы.

2. Те же деяния:

а) совершенные группой лиц по предварительному сговору или организованной группой;

б) повлекшие умышленное причинение смерти человеку;

в) повлекшие причинение значительного имущественного ущерба либо наступление иных тяжких последствий, –

наказываются лишением свободы на срок двадцать лет с ограничением свободы на срок от одного года до двух лет или пожизненным лишением свободы.

Статья 205.4. Содействие ядерной террористической деятельности

1. Склонение, вербовка или иное вовлечение лица в совершение взрыва, поджога или иных действий, устрашающих население и создающих опасность гибели человека, причинения значительного имущественного ущерба либо наступления иных тяжких последствий, в целях воздействия на принятие решения органами власти или международными организациями, а также угроза совершения указанных действий в тех же целях, сопряженные с посягательством на объекты использования атомной энергии либо с использованием ядерных материалов, радиоактивных веществ или источников радиоактивного излучения либо ядовитых, отравляющих, токсичных, опасных химических или биологических веществ, вооружение или подготовка лица в целях совершения указанных действий, а равно финансирование ядерного терроризма, – наказываются лишением свободы на срок от десяти до пятнадцати лет со штрафом в размере до одного миллиона рублей либо в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период до пяти лет либо без такового.

2. Те же деяния, совершенные лицом с использованием своего служебного положения, –

наказываются лишением свободы на срок от пятнадцати до двадцати лет со штрафом в размере от пятисот тысяч до одного миллиона рублей либо в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период от трех до пяти лет либо без такового.

3. Пособничество в совершении преступления, предусмотренного статьей 205.3 настоящего Кодекса, –

наказывается лишением свободы на срок от восьми до двадцати лет.

Примечания. 1. Под финансированием ядерного терроризма понимается предоставление или сбор средств либо оказание финансовых услуг с осознанием того, что они предназначены для финансирования организации, подготовки или совершения хотя бы одного из преступлений, предусмотренных статьями 205.3, 205.4 и 205.5 УК РФ, либо для обеспечения организованной группы, незаконного вооруженного формирования, преступного сообщества (преступной организации), созданных или создаваемых для совершения хотя бы одного из указанных преступлений.

1.1 Под пособничеством понимаются умышленное содействие совершению преступления советами, указаниями, предоставлением информации, средств или орудий совершения преступления либо устранением препятствий к его совершению, а также обещание скрыть преступника, средства или орудия совершения преступления, следы преступления либо предметы, добытые преступным путем, а равно обещание приобрести или сбыть такие предметы.

2. Лицо, совершившее преступление, предусмотренное статьей 205.4 УК РФ, освобождается от уголовной ответственности, если оно своевременным сообщением органам власти или иным образом способствовало предотвращению либо пресечению преступления, которое оно финансировало и (или) совершению которого содействовало, и если в его действиях не содержится иного состава преступления.

Статья 205.5. Публичные призывы к осуществлению ядерной террористической деятельности или публичное оправдание ядерного терроризма

1. Публичные призывы к осуществлению ядерной террористической деятельности или публичное оправдание ядерного терроризма, –

наказываются штрафом в размере от пятисот тысяч до одного миллиона рублей либо в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период от трех до пяти лет, либо принудительными работами на срок от трех до пяти лет, либо лишением



свободы на срок от пяти до семи лет.

2. Те же деяния, совершенные с использованием средств массовой информации, – наказываются штрафом в размере от пятисот тысяч до одного миллиона рублей либо в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период от трех до пяти лет, либо принудительными работами на срок от трех до пяти лет с лишением права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью на срок от трех до пяти лет или без такового, либо лишением свободы на срок от пяти до семи лет с лишением права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью на срок до пяти лет.

Примечание. В статье 205.5 УК РФ под публичным оправданием ядерного терроризма понимается публичное заявление о признании идеологии и практики ядерного терроризма правильными, нуждающимися в поддержке и подражании.

Корниенко Валерий Тарасович – кандидат юридических наук, доцент, заместитель руководителя Волгодонского инженерно-технического института – филиала Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» г. Волгодонск. E-mail: kvt@bk.ru

Kornienko Valerie Tarasovich – candidate of Sciences (Law), associate professor, deputy director of Volgodonsk Engineering and Technology Institute branch of National Research Nuclear University of «МЕРФИ», Volgodonsk. E-mail: kvt@bk.ru

УДК 378.374:621.039

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В КАДРОВОЙ ПОЛИТИКЕ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ: БАНК ДАННЫХ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ВУЗОВСКОГО ЦЕНТРА КАРЬЕРЫ

Н.И. Лобковская

<i>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»</i>	<i>Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"</i>
---	--

В статье рассмотрены вопросы, связанные с необходимостью создания единого Банка данных молодых специалистов, выпускников специализированных вузов с целью повышения эффективности кадровой политики атомной отрасли.

Ключевые слова: Госкорпорация «Росатом», Центр карьеры, Банк данных молодых специалистов, трудоустройство, сотрудничество.

This article considers the problems, concerning the necessity of formation a common databank of future specialists and graduating students of specialized institutions of higher education, aimed at increasing the efficiency of manpower policy in the sphere of nuclear energy.

Keywords: State corporation «Rosatom»; Centre of career; databank of future specialists; job placement; cooperation.

В России реализуется масштабная программа развития атомной энергетики. Ежегодно отрасли требуется несколько тысяч специалистов. Принимая на работу выпускника вуза, компании хотят быть уверенны, что берут нужного компетентного молодого специалиста, владеющего полным набором необходимых знаний, умений и навыков. Как показывает практика, традиционные методы кадрового рекрутирования – собеседование, резюме – недостаточно надежны. В связи с этим необходимо обратить внимание на те средства, которые смогут обеспечить желаемый результат при реализации инновационных подходов в кадровой политике атомной отрасли.

Для молодых специалистов первым агентством по трудоустройству должны стать вузовские центры карьеры, работающие с профильными компаниями и предприятиями и знающими потребности атомной отрасли. В 2010 году Госкорпорацией «Росатом» создан Центр карьеры на базе НИЯУ МИФИ с целью развития рынка труда молодых специалистов атомной отрасли. На момент открытия в электронной базе данных Центра карьеры уже было более 2000 анкет-резюме соискателей. [1]

Генеральной задачей Центра является «создание и продвижение современных технологий трудоустройства и карьерного развития студентов и выпускников специализированных вузов». [2] Определены основные направления работы: «консультирование студентов и выпускников по вопросам трудоустройства, актуальных вакансий, практик и стажировок; проведение тренингов и семинаров по эффективному поведению на рынке труда, написанию резюме, прохождению собеседования и т.д.; проведение карьерных мероприятий: дней карьеры, ярмарок вакансий, конференций, презентаций, лекций, семинаров, тренингов, деловых игр, круглых столов; профориентационное тестирование и консультирование; организация работы отраслевого интернет-портала для молодых специалистов». [2] Печатной иллюстрированной поддержкой Центра карьеры Госкорпорации «Росатом» стал

справочник «Карьера в атомной отрасли», состоящий из разделов по профориентации, технологии трудоустройства, построению карьеры, исследованию рынка труда и др. [3] Справочник наглядно агитирует выпускников трудоустроиваться на предприятия отрасли.

Очередным шагом развития направления трудоустройства можно считать открытие в ноябре 2011 года Центра международного образования и Центра карьеры Госкорпорации «Росатом» в ИАТЭ НИЯУ МИФИ в Обнинске. [4] В ВИТИ НИЯУ МИФИ также реализуется комплексная программа развития Центра карьеры, одним из главных компонентов которого предполагается сделать Банк данных выпускников вуза. Данная структура даст возможность оценивать потенциал отраслевого кадрового рынка, соответствие претендентов требованиям специализированных предприятий и компаний.

Составляющей Банка данных выпускников вуза является систематизация результатов психологического тестирования, позволяющая определить индивидуальные особенности соискателей. Кроме этого, в результате анализа компетентностного анкетирования можно будет выявлять наличие или отсутствие у выпускника тех или иных необходимых качеств, закрепленных социокультурных и профессиональных норм.

Одной из наиболее значимых составляющих Банка данных является комплексное исследование учебно-производственной практики, которая является площадкой для регулярных встреч работодателей и будущих специалистов. В дополнение к выше указанному предполагается проводить системный анализ результатов тренингов по выявлению личностной и индивидуальной профессиональной стрессоустойчивости, что поможет спланировать оптимальную нагрузку будущего работника. Вычислить вектор модели профессионального поведения молодого специалиста поможет идентифицирование студентов по типу академического, психологического и группового взаимодействия по результатам деловых игр и тренингов.

Организационные аспекты предполагают, в первую очередь, разработку комплекса мероприятий, способствующих запуску проекта и его закреплению на начальном этапе функционирования. Для реализации и выполнения практической части проекта, решения организационных вопросов, определения сроков проведения мероприятий со студентами, обеспечения их участия и т.д. необходимо вести регулярную работу с кафедрами института.

Проблема преемственности и согласованного взаимодействия школы и института, института и предприятий в современном российском обществе требует решения не в рамках отдельно взятого учебного заведения или организации, но на уровне государства в целом, как со стороны политических, так и общественных структур. Необходимо задействовать муниципальный административный ресурс для обеспечения прямого диалога по проблеме профориентации абитуриентов – выпускников школ – с отделом по работе с молодежью и городским управлением образования для укрепления сотрудничества вуза со школами города. Этой цели соответствует проведение на базе центра карьеры олимпиад, научных конференций, профильных семинаров. Работа с абитуриентами особенно важна, так как при достаточном количестве вузов, не часто выбор института осуществляется поступающими сознательно, ответственно. Обычно это происходит по настоянию родителей, либо по совету знакомых, либо под давлением финансовых факторов (возможность получить бесплатное образование). Отсюда – отсутствие интереса в процессе обучения и большой процент выпускников ВУЗов, работающих не по специальности или неудовлетворенных своей работой.

Значение имеет ориентация абитуриентов именно на отраслевое инженерно-

техническое образование, более востребованное в современном мире. Специально разработанные мероприятия могут помочь заинтересовать молодежь и привлечь потенциальных студентов. По словам главы ГК «Росатом» Сергея Кириенко, «потенциал отрасли определяется интеллектом и знаниями людей, которые в ней работают. Причём начинать подготовку специалиста на студенческой скамье поздно. Поэтому мы восстановили все олимпиады, которые проходили в советские годы, ведём отбор талантливых ребят и поддерживаем программы, которые позволяют получать самое качественное школьное образование». [5]

Существует насущная потребность укреплять и расширять сотрудничество специализированного технического вуза с предприятиями города и области, поскольку это дает возможность студентам получить реальное представление о рабочей обстановке на том или ином производстве. Кроме того, необходимо взаимодействовать с городским центром занятости населения, с целью получения информации о новых предложениях на рынке труда и организации совместных ярмарок вакансий и учебных мест. Подобное сотрудничество взаимовыгодно, так как трудоустройство молодых специалистов приведет к снижению отраслевой безработицы.

Взаимодействие с работодателями позволяет готовить студента с требуемой квалификацией, получив в итоге хорошо подготовленного сотрудника с опытом работы. В рамках Центра карьеры с этой целью предполагается выявлять наклонности, способности студентов уже на начальной стадии обучения в институте. При этом, учитывая пожелания организации-работодателя, целенаправленно отбирать студентов для прохождения практики с последующим трудоустройством. Общими требованиями работодателей к молодым специалистам являются высшее образование и свободное владение английским языком, основы специальных знаний в выбранной области и хорошие аналитические способности, развитые навыки общения и желание учиться, профессионально развиваться. [6]

Заинтересованность со стороны работодателей очевидна – выпускники ВИТИ НИЯУ МИФИ уже смогли зарекомендовать себя, как грамотные и ответственные сотрудники с хорошими базовыми знаниями и навыками. Немаловажную роль играет и репутация вуза, складывающаяся из квалификации и профессиональной мотивированности профессорско-преподавательского состава, уровня внедрения новейших образовательных технологий, развития актуальных специальностей и направлений не только в масштабах города, но и страны. Поэтому разработка проекта Банка данных выпускников актуальна и своевременна.

Если в качестве примера использовать Центр карьеры ВИТИ НИЯУ МИФИ, следует отметить предприятия, с которыми вуз подписывает соглашения о сотрудничестве: **ЗАО НПК «Эталон», ООО «Атомспецсервис», ЗАО «Энергомаш – Атоммаш», ООО «Полесье», ОАО «Волгодонский завод металлургического и энергетического оборудования» и, безусловно, главный партнер – РоАЭС.** В рамках мероприятий Центра карьеры предусмотрены презентации, анкетирование, представление портфолио студентов с целью привлечения молодых специалистов в эти фирмы. Организация ежегодных встреч старшекурсников с представителями предприятий становится нормой развития вуза.

Одной из приоритетных задач Центра карьеры является трудоустройство максимально возможного числа студентов и выпускников, однако, специальности, по которым готовят в ВИТИ НИЯУ МИФИ, не охватывают весь спектр, предложенных на рынке труда, вакансий. Поэтому для расширения Банка данных молодых специалистов, и, как следствие, для усиления заинтересованности Центром карьеры со стороны работодателей, планируется наладить партнерские отношения со структурами г.

Волгодонска, имеющими аналогичные задачи.

Необходимо заинтересовать работодателей в поиске кадров именно через Центр карьеры, так как он может предоставлять руководителям Банк данных молодых специалистов с развернутыми портфолио выпускников и полным описанием их компетенций, находить оптимальные обоюдовыгодные решения для обеспечения трудового процесса. Кроме того, это даст возможность студентам более объективно оценить собственные шансы на трудоустройство, а у работодателей появится возможность создать свой собственный кадровый резерв, опираясь на предоставленный Центром Банк данных молодых специалистов.

Для наполнения Банка данных необходимо наладить сотрудничество с Лабораторией психофизиологического обеспечения Ростовской АЭС, чтобы иметь возможность организовывать тренинги, семинары, диагностическое обследование студентов и выпускников ВИТИ НИЯУ МИФИ под руководством высококвалифицированных специалистов. Сотрудники Лаборатории помогут дать психологическую характеристику студента, провести оценку его качеств и способностей, степень работоспособности и результативности деятельности. Они в состоянии определить, насколько психологические и физиологические качества потенциального сотрудника будут соответствовать успешному выполнению им профессиональной деятельности. Также психологи Лаборатории могут дать рекомендации по служебному предназначению молодых специалистов с учетом их психофизиологических особенностей.

Расширяя функциональность Центра карьеры, можно осуществлять специализированную помощь всем заинтересованным субъектам карьерных отношений. Предпринятые меры по реализации этого проекта позволяют ожидать роста внутренней мотивации студентов на пути к достижению поставленных профессиональных целей, творческий подход к решению задач, высокую эффективность в работе, стремление постоянно повышать свой профессиональный личностно-культурный уровень. Предложенный проект является составляющей инновационного подхода в кадровой политике атомной отрасли, заслуживает более глубокого рассмотрения и дополнительной разработки в части системного обеспечения и использования Банка данных молодых специалистов.

Литература

1. <http://career.mephi.ru/articles/13>
2. <http://career.mephi.ru/about>
3. <http://career.mephi.ru/about/employers>
4. <http://www.iate.obninsk.ru/node/2295>
5. <http://career.mephi.ru/articles/20>
6. <http://career.hse.ru/tips/reqs>

Лобковская Надежда Ивановна – кандидат философских наук, доцент кафедры «Экономика и социально-гуманитарные дисциплины», Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Lobkovskaya Nadezhda I. – candidate of Sciences (philosophy), associate professor, the Economics and social-humanities department, the head of the Scientific innovations department, Volgodonk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI».

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 1 (2) 2012 МАРТ

Главный редактор – **М.Н. Стриханов, доктор физико-математических наук, профессор**

Сдано в набор 12.03.2012 г.

Компьютерная вёрстка Вишнёва М.М.

Корректор Вишнёва М.М. ИПО ВИТИ НИЯУ МИФИ

Подписано к печати 22.03.2012 г.

Бумага «SvetoCору» 80 г/м². Объем 16.8 усл.печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ИПО ВИТИ НИЯУ МИФИ

г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94