

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Выпуск посвящен 10-летию Ростовской АЭС



**Научно-практический журнал
№ 1 (1) 2011 декабрь**

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

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 1(1) 2011 ДЕКАБРЬ

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)

© Издательство Национального исследовательского ядерного университета
«Московский инженерно-технический институт»

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА	5
А.В. Паламарчук <i>Ростовская АЭС: эффективная работа при абсолютном приоритете безопасности</i>	6
ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	11
А.П. Елохин, Д.Ф. Рау, В.М. Беркович <i>Методы регистрации и утилизации ИРГ при выбросах с АЭС</i>	12
Е. Бакаева, Е.А. Бураева, Н.А. Игнатова <i>Динамика профилей ¹³⁷сs промывного типа и токсичность почв в зоне наблюдения Ростовской АЭС</i>	33
И.А. Бубликова, М.Г. Баклыкова, О.Ф.Цуверкалова <i>Динамика онкозаболеваемости населения тридцати километровой зоны Ростовской АЭС</i>	39
ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС	45
В.Н. Медведев, Александр С. Киселев, Алексей С. Киселев В.Ф. Стрижов, А.Н. Ульянов <i>О влиянии качества строительства на напряженное состояние защитной оболочки АЭС</i>	46
Семенов В.К., Щербнев В.С., Дерий В.П., Румянцев Д.С., В.Ф. Степанов <i>К вопросу оценки ресурса и надежности теплоэнергетического оборудования, вводимого в эксплуатацию после длительного хранения и консервации</i>	55
О.А. Губеладзе <i>Оценка результатов нерегламентированных воздействий на взрывоопасный объект</i>	61
Ю.В. Доронин <i>Разработка сварочных материалов для односторонней дуговой сварки плавящимся электродом</i>	64
Ю.И. Пимшин, В.А. Наугольников, И.Ю. Пимшин <i>Особенности движения кранов мостового типа с коническими колесами</i>	71
В.А. Малинников, Е.Б. Ключин, В.В. Калугин, В.В. Шлапак <i>Перспективы развития методов обработки результатов спутниковых измерений в геодезии</i>	79

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АЭС	89
В.К. Семенов, А.А. Беляков <i>Метод прогноза количества повреждений трубопроводов ТЭС и АЭС</i>	90
В.И. Нагай, А.В. Украинцев, А.В. Луконин <i>Построение релейной защиты электроустановок 6 – 10 кВ с функциями предупреждения развивающихся повреждений</i>	97
И.А. Якубенко, М.П. Павленко <i>Модернизация системы химических промывок на парогенераторах ПГВ- 1000М</i>	106
Б.А. Матвеев, В.И. Ратушный, А.Ю. Рыбальченко, Г.Ю. Сотникова <i>Высокотемпературные датчики углекислого газа для систем безопасности в энергетике на основе поверхностно облучаемых фотодиодов на основе InAsSb</i>	110
СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС	117
И.А. Куксин <i>Атомная энергетика: социальная приемлемость или противостояние</i>	118
Б.П. Грузинцев, А.В. Сас <i>Эргономические основы подготовки высококвалифицированных операторов ручной дуговой сварки (РДС)</i>	121
В.А. Руденко, Н.П. Василенко <i>Качество подготовки выпускников вузов в оценке работодателей</i>	127

ОТ РЕДАКТОРА

Уважаемые читатели!



Вы держите в руках первый номер журнала «Глобальная ядерная безопасность».

Стремительность событий нового века сегодня заставляет по-новому взглянуть на старые представления и механизмы безопасности. Прежде всего, ядерной безопасности. И если раньше под этим понятием мы подразумевали защиту, прежде всего, от военной угрозы, то сегодня, предпринимая жизненно важные меры контроля в этой сфере, мы не можем не учитывать огромные перемены в области энергетики и других высоких технологий, которые сегодня внедряются во всех сферах нашей жизни. Пришло время, когда как никогда необходим разумный баланс между глобальными усилиями в сфере борьбы с ядерным терроризмом и повышением безопасности других ядерных программ.

В этих сложных вопросах мы подходим к тому, что любому государству, в том числе и нашему, экономически выгодно развивать исключительно мирные ядерные программы, которые будут служить человечеству. Поэтому к широкому понятию «БЕЗОПАСНОСТЬ», мы добавили еще более емкое определение – «ГЛОБАЛЬНАЯ», так как в настоящее время остро стоит вопрос о создании глобальной инфраструктуры ядерной безопасности. Именно в этом ключе ведется подготовка кадров в Университете, охватывая ядерные энергетические, оружейные, научно-технические комплексы, а также комплексы по обеспечению ядерной и радиационной безопасности.

Первый выпуск научно–практического журнала посвящен 10-летию пуска Ростовской атомной станции, и все авторы нового издания, так или иначе, касаются достижений и проблем, сопряженных с АЭС. Будь-то технические или экологические, социально-правовые или вопросы подготовки кадров, все они, несомненно, затрагивают вопросы безопасности. Так будет и в дальнейшем.

Журнал ждет своих авторов, его страницы будут предоставляться ученым, производственникам, руководителям, экспертам атомной энергетики, экологам, преподавателям отраслевых вузов и техникумов, печататься сообщения о новых достижениях в ядерной отрасли. И все они будут подчинены одной цели, которая сконцентрирована в названии издания.

В добрый путь!

**Ректор НИЯУ МИФИ
М.Н. Стриханов**

РОСТОВСКАЯ АЭС: ЭФФЕКТИВНАЯ РАБОТА ПРИ АБСОЛЮТНОМ ПРИОРИТЕТЕ БЕЗОПАСНОСТИ

А.В. Паламарчук

<i>ОАО «Концерн Росэнергоатом»</i>	<i>JSC «Concern Rosenergoatom»</i>
------------------------------------	------------------------------------

В 2011 году Ростовская атомная станция отметила первое десятилетие с момента начала эксплуатации. За все время выработка товарной продукции уже составляет около 100 млрд кВт-ч электроэнергии. Для сравнения стоит сказать, что, к примеру, потребность Ростовской области с населением более четырех с половиной миллионов человек и многочисленными предприятиями и заводами составляет 17 млрд кВт-ч электроэнергии в год.

Очевидно, ввод в эксплуатацию двух энергоблоков даёт не только Ростовской области, но и всему югу России, дополнительные генерирующие мощности. (таблица 1 показывает, что даже ввод второго энергоблока Ростовской АЭС не решает полностью проблему дефицита электроэнергии в ЮФО.) Установленная мощность каждого из блоков – тысяча мегаватт. В среднем в год мы получим по семь – восемь миллиардов киловатт-часов электроэнергии с каждого энергоблока. Четыре энергоблока под нагрузкой – более 30 миллиардов киловатт-часов. Атомная энергетика ценна не только тем, что производит электроэнергию в больших объёмах, – она рассматривается, как гарант энергобезопасности и надёжного энергообеспечения густонаселенного региона. Ростовская АЭС является определяющим элементом в части выполнения формирующихся сегодня на рынке электроэнергии заявок на потребление тока. Кроме того, атомная станция – это источник электроэнергии, не зависящий от транспортной схемы и от разного рода невзгод, которые влияют на состояние энергетических объектов.

Таблица 1 – Выработка и потребление электроэнергии в 2011 г.

	Выработка (млрд кВт-ч)	Потребление (млрд кВт-ч)
АЭС России (32 энергоблока)	172,7	
Ростовская АЭС	15,8	
ОЭС Ростовской области	29,2	17,0
ОЭС Юга	78,9	85,7
Российская Федерация	1040	

Такое предприятие, как Ростовская АЭС – капиталоемко, а значит – высокодоходно для региона в части налогооблагаемой базы, что пополняет казну областного и местного бюджета. Коэффициент эффективности использования установленной мощности у Ростовской АЭС один из самых высоких по отрасли. По итогам 2011 г. КИУМ составил 90,21% при плане 83,64%.

Атомная станция максимально изолирована от прямого контакта с окружающей средой – она имеет свой водоем-охладитель и практически не воздействует на окружающую среду, а по большому счёту – даже очищает ее: фильтры станции ежедневно пропускают через себя сотни тысяч кубометров воздуха, чтобы обеспечить соответствующую среду для эксплуатации оборудования. АЭС, не сжигает кислород и не выбрасывает углекислоту и другие продукты окисления, что свойственно традиционной генерации. Более подробно об этом сказано в экологическом отчете Ростовской АЭС за 2010 г. (см. www.esoatominf.ru).

Развитие атомной энергетики на Дону определяется рамками директивного плана развития атомного энергетического комплекса – федеральной целевой программой. Установлен ввод третьего блока в 2015 году и четвёртого в 2017 году. Конечно, существуют вопросы, связанные с ритмичностью поставок оборудования и материалов. Совершенствование организации поставок неизбежно связано с закупочной деятельностью, а здесь ещё много проблемных областей, где нужно найти правильные решения, – избавиться от временных издержек, которые неизбежно связаны с отбором поставщиков, изготовителей оборудования. Помимо решения вопросов сооружения блоков, необходимо создавать поле, где должны возникнуть поставщики-конкуренты, – как внутренние, так и внешние. Причём, нужно искать не самое дешёвое, а наиболее эффективное, качественное, чётко понимая достаточность своих ресурсов. Это сложная работа, и она находится в процессе совершенствования.

Ростовская АЭС – это, своего рода, кластер. Здесь есть большие запасы воды, источники электроэнергии, устойчивая логистическая структура. Думаю, это может стать отправной точкой для той площадки, где впоследствии можно развивать производства любой направленности, по которым будут сформированные требования, как области, так и Южного округа в целом. На наш взгляд, присутствие такого высокотехнологичного источника электроэнергии, как РоАЭС, наличие транспортной инфраструктуры и ряд других преимуществ позволяют говорить о серьёзных перспективах развития промышленного потенциала в нашем регионе.

Производимой на станции, энергии достаточно, чтобы рядом построить завод, выпускающий, к примеру, высококачественные металлоизделия, которые могут использоваться, в том числе и в атомной энергетике. Нарращивание генерации обусловлено экономическими процессами, которые происходят в таких стратегически важных для России регионах, как ЮФО и СКФО. Рост потребления энергии очевиден. Задача, поставленная государством перед ОАО «Концерн Росэнергоатом» – довести долю атомной генерации электроэнергии до 25 процентов.

Таблица 2 – Потребление электроэнергии на одного жителя в 2011 г.

Регион	МВт-ч на чел.
1	2
Ростовская область	4,0
Южный федеральный округ	3,7

Продолжение таблицы 2

1	2
Российская Федерация	7,2
Страны Западной Европы	6,9
Австралия	10,1
Северная Америка	13,1

С точки зрения самой площадки, её организации, возможностей, пятый и шестой энергоблоки могут разместиться на действующей площадке Ростовской АЭС. Существует международный опыт функционирования шести энергоблоков на одной станции, причём рядом – это Запорожская АЭС на Украине; аналогичная станция есть во Франции, а в США действуют восьмиблочные АЭС. Целесообразность такого строительства определяет государство.

Безопасность атомной энергетики – приоритетное направление деятельности филиала концерна «Росэнергоатом». Специалисты-атомщики проводят экспертизу при получении проектно-сметной документации, при выдаче её строителям и монтажникам, а также непосредственно на стадии монтажа и приёмки участков, поставок оборудования на площадку и в ходе строительства в целом. Ход строительства и эксплуатации проверяют не только структуры Росэнергоатома и дирекция Росатома, но и Ростехнадзор, и Атомнадзор, и другие федеральные службы, которые контролируют соблюдение проектных параметров качества и безопасности строящихся объектов. Контрольные функции выполняют 48 российских организаций и ведомств, а также международные организации, такие как МАГАТЭ и Всемирная ассоциация операторов АЭС. Существует сложная система проверок и отчётности перед регулирующими органами.

Проект В-320 доказал свою надёжность не только в России, но и во всём мире, где уже десятки лет эффективно эксплуатируются реакторы типа ВВЭР. Все проверки, которые прошли, в том числе и на Ростовской атомной станции после событий в Японии в марте 2011 г., подтвердили высокий уровень безопасности. Подчеркну, это оценка независимых и компетентных специалистов. Наша главная задача – производство электроэнергии при абсолютном приоритете безопасности. У нас в ходу выражение «безопасность превыше прибыли».

Атомная станция, как энергетический объект, не может существовать самостоятельно. Естественно, техническое обслуживание, программы модернизации, повышения надёжности и безопасности требуют привлечения организаций, которые обладают соответствующими компетенциями и развитой научной базой. Сегодня от нас требуют, чтобы мы были открыты. Входят малые игроки, создаются аутсорсинговые предприятия, которые выделяются из коллектива Ростовской АЭС – например, «Атом-сервис», «Атомэнергоремонт», филиалы базовых предприятий в отрасли, которые оказывают реальные услуги по обслуживанию нашей площадки. Это положительный пример создания высокооплачиваемых рабочих мест для квалифицированного персонала. Такая практика существует во всем мире.

Предприятия и организации, которые выполняют работы на атомной станции или оказывают услуги, проходят через соответствующие конкурсные процедуры. Понятно, что без принятых в атомной отрасли лицензий и других разрешительных документов этот конкурс просто не выиграть.

Штатная численность персонала станции – 2164 человека. Только на стройплощадках энергоблоков сейчас около 7 тысяч рабочих мест. Численность сотрудников аутсорсинговых предприятий, думаю, около 2,5 тысяч. С вводом блоков в эксплуатацию число строителей, конечно, уменьшится, а вот сфера услуг увеличится. За рубежом традиционное отношение одного рабочего места на атомной станции к числу обслуживающих её работников сферы услуг составляет 1:5. То есть деятельность станции косвенно даёт ещё более 12 тысяч рабочих мест в аутсорсинговых предприятиях.

Справка: Ростовская АЭС – самая южная из российских атомных электростанций. Она расположена на берегу Цимлянского водохранилища в 13,5 км от города Волгодонска (Ростовская область). Сегодня на станции работают два энергоблока: блок №1 с реактором типа ВВЭР-1000 мощностью 1000 МВт и энергоблок №2 с аналогичным реактором и мощностью.

Строительство атомной станции началось в 1979 году. С 1990 по 1998 годы энергоблок №1 находился в режиме консервации. В этот период проект станции проходил различные госэкспертизы и общественные обсуждения – противников строительства АЭС оказалось достаточно много. В 1998 году строительство было возобновлено, а в 2001 году энергоблок №1 был введён в эксплуатацию. В 2006 году принято решение о строительстве энергоблока №2, который в декабре 2010 года введён в промышленную эксплуатацию. В 2009 году на площадке Ростовской АЭС начато строительство блоков №3 и №4.

От Ростовской АЭС электроэнергия по пяти ЛЭП-500 поступает в Волгоградскую и Ростовскую области, Краснодарский и Ставропольский края, по ЛЭП-220 – в Волгодонск. В 2011 г. Ростовская АЭС обеспечила выработку 15,803 700 млрд кВт·ч электроэнергии, выполнив план года на 106,6% при КИУМ 90,21%. Суточная выработка электроэнергии Ростовской АЭС составляет около 50 млн кВт·ч.

Безопасность: Около 40% затрат на сооружение атомной станции идёт на обеспечение систем безопасности. На Ростовской АЭС предусмотрены три независимых канала систем безопасности, каждый из которых может выполнить функции всей системы. Системы безопасности рассчитаны на ликвидацию максимальной проектной аварии с разрывом главного циркуляционного трубопровода первого контура максимального диаметра и предназначаются для обеспечения фундаментальных функций безопасности: аварийного останова реактора и поддержания его в подкритическом состоянии, аварийного отвода тепла от активной зоны реактора, удержания радиоактивных продуктов в установленных проектом, границах. Системы безопасности включаются в работу автоматически при нарушениях нормальной эксплуатации. Каналы систем безопасности построены по принципу физического разделения и разделения по электроснабжению.

Ростовская АЭС рассчитана на максимальное землетрясение в семь баллов. Многоканальная система индустриальной антисейсмической защиты, останавливает реакторную установку при достижении шести баллов. Всё оборудование реакторной установки размещено в герметичной защитной оболочке. Она предназначена для предотвращения выхода радиоактивных веществ в окружающую среду при запроектных авариях. Герметичная оболочка реакторного отделения выполнена из железобетона с внутренней металлической облицовкой, что позволяет выдерживать такие виды экстремальных воздействий, как землетрясение интенсивностью семь баллов, смерчи, ураганы, воздушные ударные волны. Проведённое в 1999 году повторное сейсмическое микрорайонирование промплощадки методом регистрации

микросейсм и сейсмических жесткостей подтвердило должное обеспечение запаса сейсмоустойчивости сооружений станции.

Информацию о радиационном фоне в районе расположения Ростовской АЭС в текущем режиме можно получить на 19 постах автоматизированной системы контроля радиационной обстановки. Они расположены на станции и в населённых пунктах в радиусе 30-км от Ростовской АЭС, а также на ресурсе www.russianatom.ru.

Паламарчук Александр Васильевич – кандидат технических наук, заместитель генерального директора ОАО «Концерн Росэнергоатом» – директор филиала «Управление сооружением объектов». E-mail: info@rosenergoatom.ru

Palamarchuk Alexander V. – candidate of Technical Science, the deputy director general of JSC «Concern Rosenergoatom» - the director of branch «Management of a construction of objects». E-mail: info@rosenergoatom.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**

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.387+533.2

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ ИРГ ПРИ ВЫБРОСАХ С АЭС

А.П. Елохин, Д.Ф. Рау, В.М. Беркович

<p><i>Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности (НТЦ ЯРБ) Центр по радиационной безопасности, охране окружающей среды и техники безопасности персонала АС (ОАО ВНИИАЭС) ОАО «Атомэнергoproject»</i></p>	<p><i>Scientific and Engineering Centre (SEC NRS) Centre for Radiation Safety, Environmental Protection and NPP Personnel Safety Engineering, Candidate of Science Corporation "Atomenergoproekt"</i></p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Рассматривается дозиметрическая система для определения мощности выброса газоаэрозольной радиоактивной примеси в условиях радиационных аварий и штатной работы на АЭС. Показано, что наиболее оптимальной дозиметрической системой, используемой для оценки мощности выброса, является система, состоящая из проточной и непроточной (герметичной) ионизационных камер (ИК).

Дополнительная комплектация системы ксеноновым спектрометром позволяет определить, как парциальную мощность выброса отдельных радионуклидов, так и общую от всей их совокупности.

Даются предложения об использовании технологий сжижения газов для отделения ИРГ от воздуха, что позволит полностью закрыть вопрос о радиоактивных газоаэрозольных выбросах в атмосферу и, таким образом, существенно улучшить экологическую обстановку окружающей среды для персонала и населения в районе объектов использования атомной энергии.

Ключевые слова: дозиметрическая система, мощность выброса газоаэрозольной радиоактивной примеси, радиационная авария, проточная ионизационная камера, непроточная ионизационная камера, экология окружающей среды, технологии сжижения газов, инертные радиоактивные газы.

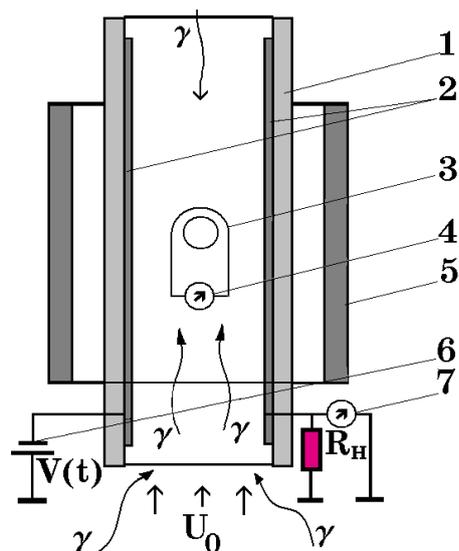
Dosimetry system for determination of release rate of gas and aerosol radioactive mixture in case of radiation accidents and normal operation of a NPP is considered. The system that consists of a flow-type ionization chamber and non-flowing (leak-tight) ionization chamber (IC) is a more acceptable dosimetry system.

Additional kitting of the system with xenon spectrometer allows to define partial intensity of a release of specific radionuclides, as well as total intensity of radionuclides in total.

Here are given proposals on the use of technologies for liquefaction of gases to separate Gas Flow Meter from air. This allows to settle problem of radioactive gas and aerosol releases into the atmosphere and drastically improve ecological condition of environment for personnel and public in the area of allocation of nuclear facilities.

Keywords: dosimetry system, release rate of gas and aerosol radioactive admixture, radiation accident, flow-type ionization chamber, non-flowing ionization chamber, ecological condition of environment, gas liquefaction technologies, inert radioactive gases.

Одним из наиболее важных параметров, который характеризует загрязнение окружающей среды радиоактивной примесью (радиоактивными газами, аэрозолями), поступающей в атмосферу при выбросах из вентиляционных труб АЭС и других предприятий атомной промышленности, является мощность выброса P_B [Бк/с], определяемая, как произведение секундного расхода вентиляционной трубы G [см³/с] на объемную активность Q_0 [Бк/см³]. [1–3] Этот параметр при штатной работе АЭС, проектных и запроектных авариях в случае использования автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) должен оцениваться в автоматическом режиме. В настоящее время секундный расход находят как сумму расхода отдельных вентиляционных систем, входящих в нее, что является неудобной и дорогостоящей процедурой при автоматизации измерения расхода. Объемную активность примеси в автоматическом режиме измеряют аспирационными установками типа «РКС-07П» [4], предшественницей которой являлась установка «Калина», используемая, как внутри помещений, так и в венттрубах АЭС, нуклидный состав штатных выбросов в соответствии с технологическим регламентом – в лабораторных условиях. Если зависимость скорости газового потока в вентиляционной трубе, как функция радиуса, известна, то нормируя функцию скорости на значение, измеренное в точке, т.е. определяя скорость в абсолютных единицах, расход можно найти, как интеграл от скорости потока по сечению трубы при постоянной плотности, а объемную активность – по мощности дозы, создаваемой радиоактивной примесью. Таким образом, если с помощью датчика можно измерить скорость воздушного потока в некоторой точке венттрубы и мощность дозы β , γ -излучения радиоактивной примеси, то поставленная задача может быть успешно решена. В работе [5] приводится принципиальная конструкция такого датчика и способ определения мощности выброса радиоактивной примеси, в основе которого лежит измерение индукционного и ионизационного токов, создаваемых ионизированным газовым (воздушным) потоком, движущимся в поперечном (относительно направления скорости потока) электрическом поле межэлектродного промежутка канала датчика рисунок 1.



- 1 – измерительный канал (корпус);
- 2 – электроды;
- 3 – индукционная катушка (соленоид);
- 4 – прибор для регистрации индукционного тока;
- 5 – магнитный экран;
- 6 – источник переменного напряжения;
- 7 – блок регистрации ионизационного тока.

Рисунок 1 – Принципиальная схема конструкции датчика для измерения скорости и мощности дозы радиоактивного воздушного потока в вентиляционных трубах АЭС [5]

Физическая сущность метода заключается в следующем. Датчик помещают в ионизированный поток, образующийся в вентиляционной трубе в результате ионизации воздушного потока радиоактивной газоаэрозольной примесью, поступающей в венттрубу из вентиляционных систем АЭС. Поступая в рабочий объем ионизационной камеры, поток ионов разделяется в электрическом поле межэлектродного промежутка, и создает электрический ток, причем, в приэлектродных областях концентрация ионов одного знака значительно больше противоположного. Но, поскольку продольный воздушный поток в вентиляционной трубе увлекает и ионы, постольку он создает продольную составляющую их скорости, определяющей продольный ток, который, в свою очередь, возбуждает магнитное поле, имеющее максимальное значение в центре между электродами. При подаче на электроды импульсного униполярного напряжения в межэлектродном промежутке будет возникать импульсный ток, регистрируемый внешним устройством. При постоянной или медленно меняющейся скорости воздушного потока импульсный продольный ток индуцирует переменное магнитное поле, которое регистрируется соленоидом, размещенным в центре межэлектродного промежутка.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунках 2, 3. [6]

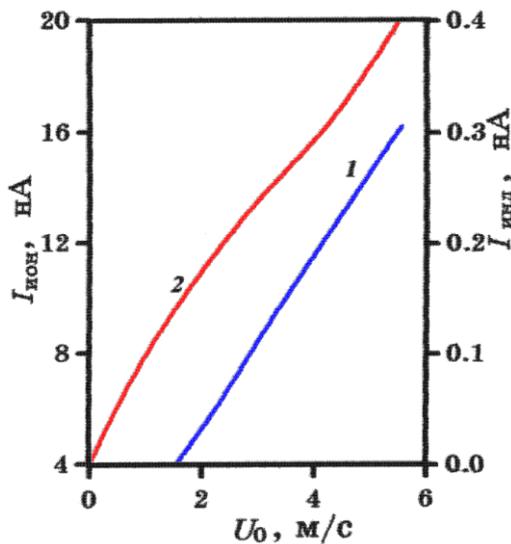


Рисунок 2 – Зависимость регистрируемого ионизационного(1) и индукционного (2) токов датчика от скорости воздушного потока [6]

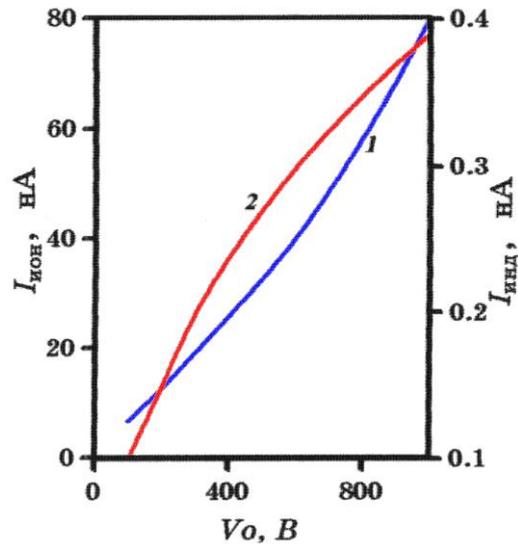


Рисунок 3 – Вольт-амперные характеристики регистрируемых ионизационного (1) и индукционного (2) токов, как функции внешнего напряжения [6]

Экспериментальные данные, приведенные на рисунках 2, 3, убедительно показывают, что значения индукционного тока более чем на порядок меньше ионизационного и, в связи с этим, для надежной регистрации требуют высокоточных приборов. Это накладывает определенные ограничения на использование рассмотренного выше метода определения скорости воздушного потока в венттрубе АЭС и мощности выброса, в конечном итоге, а также к увеличению себестоимости системы (АСКРО) в целом. Поэтому, с целью повышения надежности регистрации скорости воздушного потока и уменьшения себестоимости системы, было целесообразно отказаться от индукционного датчика (по крайней мере, при регистрации штатных выбросов) с заменой его непроточной ионизационной камерой

таких же габаритов и измерением ионизационных токов, регистрируемых проточной и непроточной ионизационными камерами, принципиальная схема которых приведена на рисунке 4 [7], а на рисунках 5, 6 приведены реальные конструкции системы датчиков, состоящих из плоскопараллельных [8] или цилиндрических проточной и непроточной ионизационных камер.

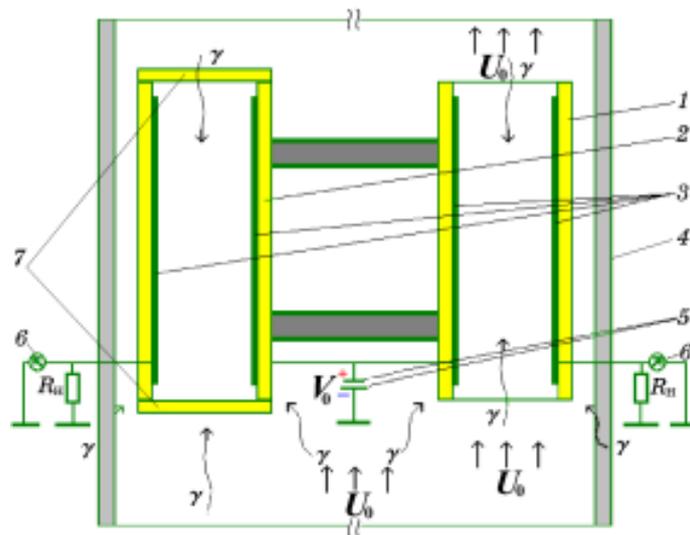


Рисунок 4 – Принципиальная схема устройства для определения скорости потока и плотности ионизации в потоке газоаэрозольной примеси [7]



Рисунок 5 – Датчик мощности радиоактивных выбросов, состоящий из непроточной (с конусом), проточной (с каналом) ионизационных камер и кронштейна [8]

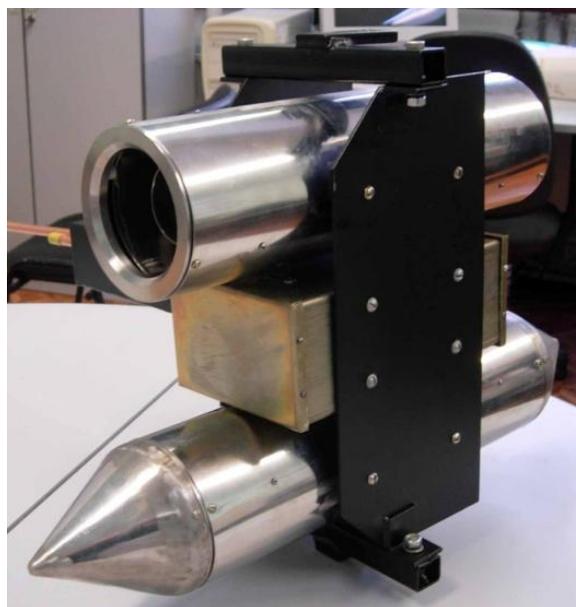


Рисунок 6 – Датчик мощности радиоактивных выбросов, состоящий из непроточной (с конусом), проточной (с каналом) ионизационных камер цилиндрической геометрии, термоизолированного блока электрометрических усилителей и высоковольтного источника, помещенных между камерами

Система уравнений, описывающих пространственное распределение концентрации ионов, образующихся в плоскопараллельной ионизационной камере, помещенной в поле ионизирующего излучения, и метод её решения подробно описаны в работе. [6] Система уравнений имеет следующий вид.

$$G_1 D'_{\gamma,\beta} - K_p q^+ q^- + \mu_- (\partial/\partial x)(E q^-) = 0; \quad (1)$$

$$G_1 D'_{\gamma,\beta} - K_p q^+ q^- - \mu_+ (\partial/\partial x)(E q^+) = 0 \quad (2)$$

$$E = E_0 - E_{вн}; \quad (3)$$

$$\partial E_{вн}/\partial x = (e/\varepsilon \varepsilon_0)(q^+ - q^-). \quad (4)$$

с граничными условиями:

$$q^- \Big|_{x=0} = 0; \quad (5)$$

$$q^+ \Big|_{x=L_0} = 0, \quad (6)$$

где $D'_{\gamma,\beta}$ – мощность дозы ионизирующего излучения, обусловленная как γ -, так и β -излучением радиоактивной примеси, P/c;

G_1 – радиационный выход носителей заряда, (Pсм³)⁻¹;

K_p – коэффициент рекомбинации зарядов, см³/c;

$E_0, E_{вн}$ – напряженность внешнего поля и поля, обусловленного пространственным зарядом соответственно, В/см;

q^+, q^- – концентрация положительных и отрицательных зарядов соответственно, см⁻³;

ε_0 – электрическая постоянная, равная $8.85 \cdot 10^{-14}$ Ф/см;

ε – диэлектрическая проницаемость среды;

μ_+, μ_- – подвижность положительных и отрицательных ионов, см²/(В·с).

В приближении малых значений мощности дозы или высоком значении напряженности электрического поля, когда возмущением внешнего электрического поля полем пространственного заряда можно пренебречь, решение системы уравнений (1-6) можно представить в виде:

$$E = \sqrt[3]{8C^3 + \frac{\gamma}{2} + \sqrt{8\gamma C^3 + \gamma^2/4}} + \sqrt[3]{8C^3 + \frac{\gamma}{2} - \sqrt{8\gamma C^3 + \gamma^2/4}} - 3C, \quad (8)$$

где $C \approx E_0^2 - 0.3bL_0^2$; $\gamma \approx 18E_0^2(x - L_0/2)^2(a - 2bE_0^2)$;

$$a = (K_p C_1 / \mu_q)^2;$$

$$b = K_p G_1 D'_{\gamma,\beta} / \mu^2 q.$$

Концентрации положительных и отрицательных ионов определяются выражениями:

$$q^+ = \frac{C_1}{2E} - \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{2e} \cdot \frac{dE}{dx}; \quad (9)$$

$$q^- = \frac{C_1}{2E} + \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2e} \cdot \frac{dE}{dx}, \quad (10)$$

где $C_1 \approx (2/3)(\mu_q/K_p)(E_0^2/L_0) + 3(\mu_q bL_0/K_p)$.

При этом величина ионизационного тока в непроточной $i_{ин}$ (герметичной) ионизационной камере определится выражением:

$$i_{ин} = e\mu_q E_0 S_n \frac{C_1}{L_0} \int_0^{L_0} \frac{dx}{E(x)}. \quad (11)$$

Рассматривая работу проточной ионизационной камеры, следует отметить, что кроме процессов, характерных для непроточной ионизационной камеры, концентрация ионов в проточной камере увеличивается за счет ионов, поступающих в рабочий объем этой камеры из внешней ионизированной среды, за счет переноса воздушного потока с искомой скоростью U_0 (уменьшением концентрации ионов в рабочем объеме последней за счет выноса ионов можно пренебречь, выбирая длину камеры и напряженность поля такими, при которых время дрейфа ионов в межэлектродном промежутке будет много меньше времени их переноса вдоль канала). При этом ионизационный ток проточной камеры $i_{пр}$ определяется выражением [9]:

$$i_{пр} = i_{ин} \left[1 + \frac{S_0 U_0}{\mu E_0 S_n} \right], \quad (12)$$

из которого находят значение искомой скорости воздушного потока:

$$U_0 = \left(\frac{i_{пр}}{i_{ин}} - 1 \right) \frac{S_n}{S_0} \mu E_0, \quad (13)$$

где $S_n = Ll$;

$S_0 = LL_0$;

l, L – длина и ширина электродов соответственно;

L_0 – ширина межэлектродного промежутка.

Результаты расчетов пространственного распределения напряженности электрического поля и концентрации ионов в межэлектродном промежутке при различных значениях мощности дозы приведены на рисунках 7 и 9 соответственно.

При фиксированной температуре с ростом мощности дозы концентрация носителей заряда увеличивается, формируя пространственный заряд, что приводит к возмущению внешнего электрического поля электрическим полем пространственного заряда, которое наиболее заметно в центре межэлектродного промежутка (рис. 7).

С ростом напряженности внешнего электрического поля E_0 при фиксированных температуре и мощности дозы ионизирующего излучения пространственный заряд уменьшается за счет стока на электроды (растет ионизационный ток), что приводит к уменьшению возмущения величины E_0 и “спрямлению” зависимости $E(x)$, что и демонстрирует рисунок 8.

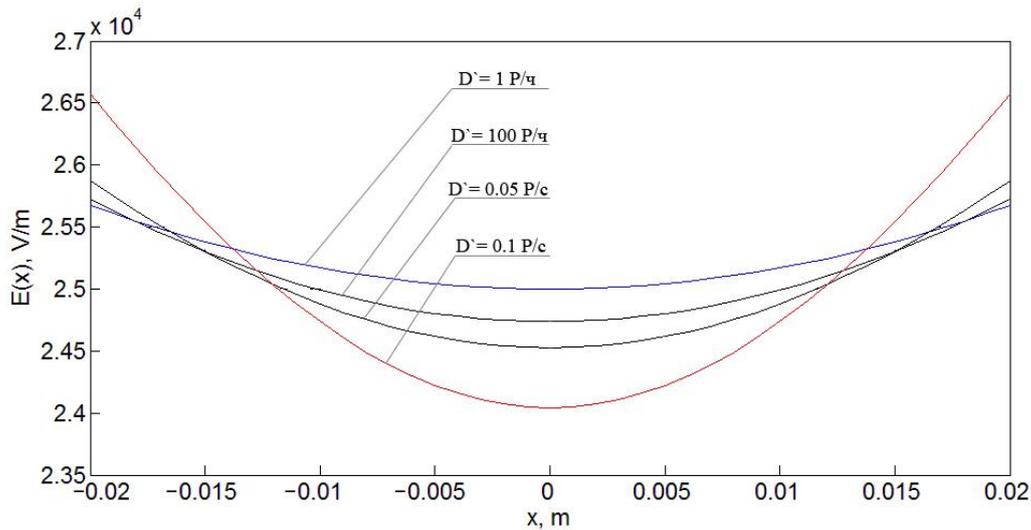


Рисунок 7 – Зависимость напряжённости эффективного электрического поля, как функция расстояния x межэлектродного промежутка L_0 при различных мощностях доз ионизирующего излучения и постоянной температуре $T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$, $E_0 = 250 \text{ В/см}$, $D' = 1 \text{ P/ч} \div 0,1 \text{ P/с}$

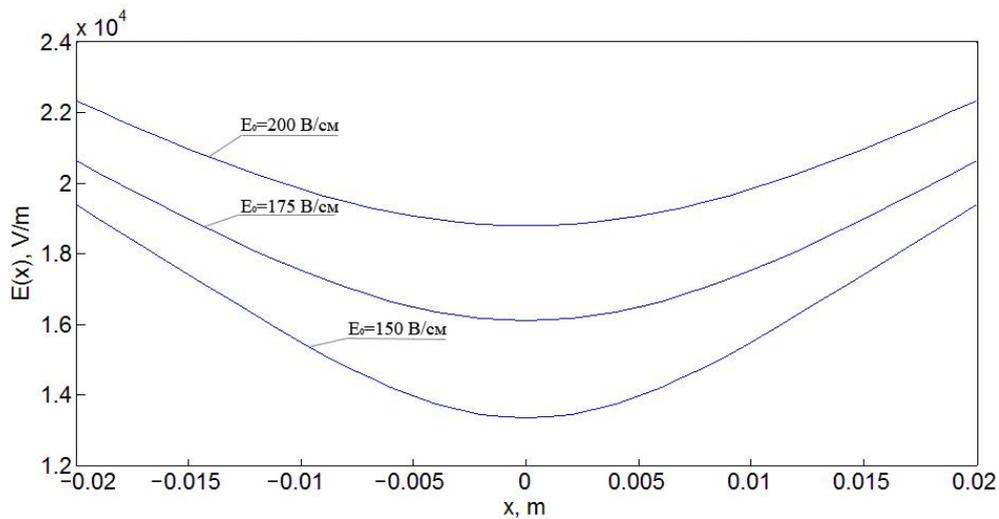


Рисунок 8 – Зависимость напряжённости эффективного электрического поля, как функция расстояния x при различных значениях E_0 и постоянных температуре и мощности дозы ИИ. $T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$, $D' = 0,1 \text{ P/с}$, $E_0 = 150, 175, 250 \text{ В/см}$

Семейство кривых зависимости концентраций ионов $q^+(x)$, $q^-(x)$ как функций расстояния x межэлектродного промежутка L_0 при постоянной температуре и различной мощности дозы представлено на рисунке 9. Зависимости демонстрируют рост концентрации носителей заряда с ростом мощности дозы при фиксированной температуре. Проведенные выше расчеты электрических полей и пространственных плотностей зарядов ионов позволяют получить результаты и для ионизационных токов камер.

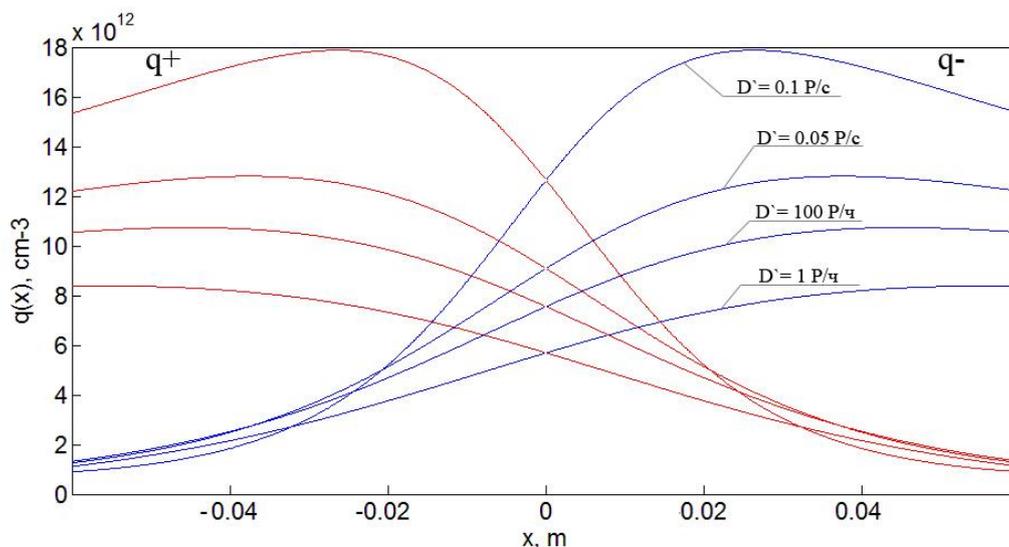
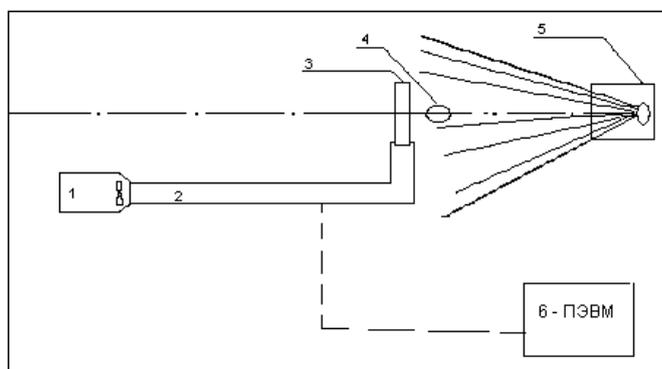


Рисунок 9 – Распределение концентраций ионов $q^+(x)$, $q^-(x)$ как функций расстояния x межэлектродного промежутка L_0 при постоянной температуре ($T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$), $E_0 = 250 \text{ В/см}$ и различной мощности дозы ИИ ; $D' = 1 \text{ Р/ч} \div 0,1 \text{ Р/с}$

Экспериментальные исследования работоспособности системы ионизационных камер, используемых для оценки мощности выброса газоаэрозольной радиоактивной примеси, проводились в полях ионизирующего гамма-излучения на специальном стенде, представленном на рисунке 10, где при ионизации воздушного потока создавался поток ионов, поступающих в проточную ионизационную камеру (см. рис.10), имитируя, таким образом, движение по каналу радиоактивной примеси. Интерес, в первую очередь, представляла зависимость ионизационного тока проточной ионизационной камеры от скорости воздушного потока при различных значениях мощности дозы, а также зависимость ионизационных токов проточной и непроточной ионизационных камер от мощности дозы при скорости воздушного потока, равной нулю.



- 1 – нагнетательное устройство для создания воздушного потока через проточную камеру в диапазоне до 12,0 м/с;
- 2 – воздуховод (гофрированная труба, $\varnothing 50,0$ мм, длиной 2,0 м), предназначенный для формирования воздушного потока через проточную камеру ДМРВ;
- 3 – блок ионизационных камер (проточной и непроточной);
- 4 – термоанемометр ТТМ-2 для измерения скорости воздушного потока на выходе проточной камеры;
- 5 – коллиматор поверочных установок УПГД-1М и «Гаммарид»;
- 6 – ПЭВМ для обработки результатов измерения.

Рисунок 10 – Испытательный стенд

Последнее позволяло определить диапазон чувствительности дозиметрической

системы. Результаты исследований приведены на рисунках 11–14. На рисунке 11 представлены графики зависимости показаний проточной и непроточной камер (ионизационных токов камер) от мощности дозы гамма-излучения при скорости воздушного потока равной нулю.

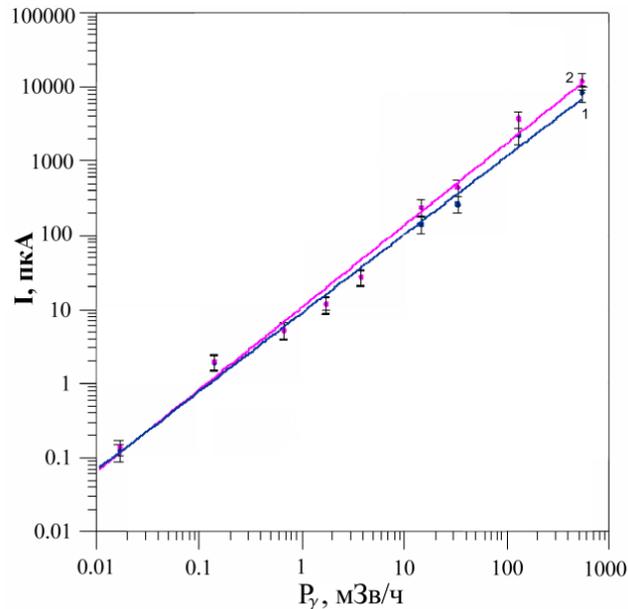


Рисунок 11 – Зависимость ионизационных токов непроточной (1) и проточной (2) ионизационных камер при скорости воздушного потока равной нулю, $V = 0$ м/с

На рисунках 12–14 представлены графики зависимости ионизационного тока проточной камеры от скорости воздушного потока при значении мощности дозы от 0,1 мкЗв/час (фон) до 200,0 Зв/час и при скоростях воздушного потока, проходящего через проточную камеру, от 0 до 12,0 м/с (в соответствии с требованием технического задания).

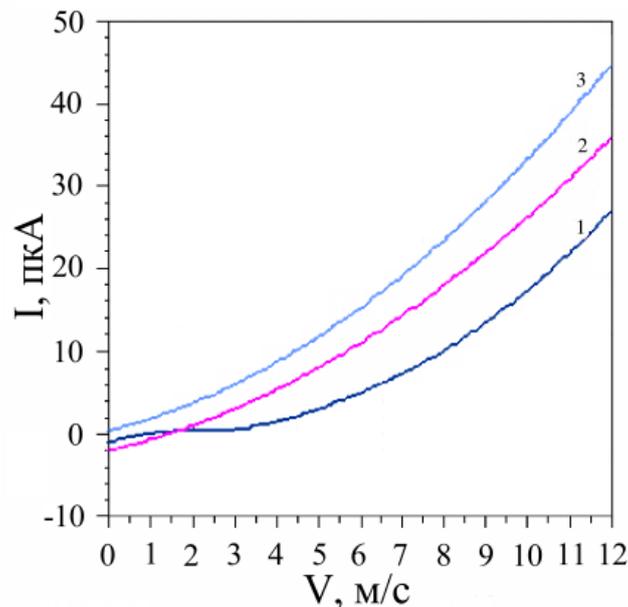


Рисунок 12 – Зависимость ионизационного тока проточной камеры от скорости воздушного потока при мощности дозы, равной: 0,0001 мЗв/ч (1), 0,00107 мЗв/ч (2), 0,0167 мЗв/ч (3)

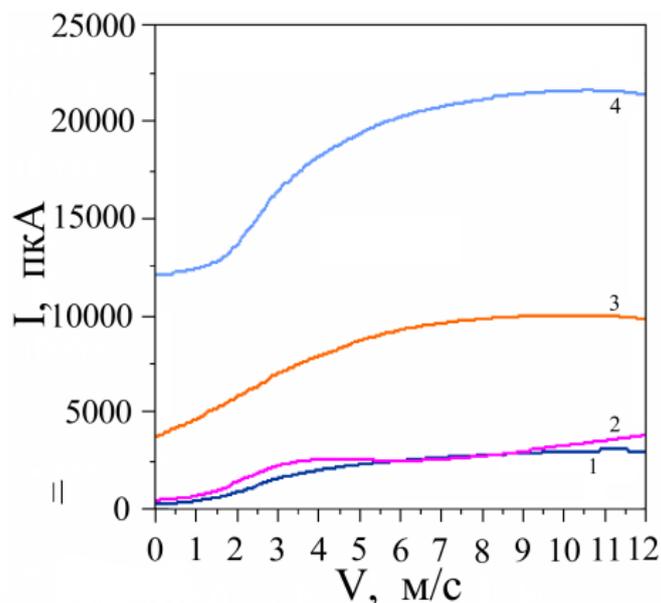


Рисунок 13 – Зависимость ионизационного тока проточной камеры от скорости воздушного потока при мощности дозы, равной: 14,7 мЗв/ч (1), 33,0 мЗв/ч (2), 132,0 мЗв/ч (3), 538,0 мЗв/ч (4)

Анализ результатов эксперимента показал следующее:

1. Показания проточной и непроточной ионизационных камер при скорости воздушного потока равной 0,0 м/сек практически совпадают при мощностях доз гамма-излучения до 4,0 мЗв/час. При дальнейшем увеличении мощности дозы гамма-излучения показания проточной камеры начинают превышать показания непроточной камеры и при максимально запланированной для испытаний мощности дозы (200 Зв/час) примерно в 1,5 раза выше показаний непроточной камеры.

2. Минимальное значение мощности дозы гамма-излучения, при которой наблюдается зависимость показаний проточной камеры от скорости воздушного потока, имеет место даже при мощности дозы гамма-излучения на уровне естественного гамма-фона (0,1-0,15 мкЗв/час) (рис.12), но показания камеры при этом очень нестабильны и начинают стабилизироваться с величины мощности дозы порядка (0,4 – 0,6 мкЗв/час). При мощностях доз от 0,0167 мЗв/час показания надежны и с увеличением скорости воздушного потока через проточную камеру имеют линейную зависимость (примерно до 3,0 м/сек). При дальнейшем увеличении скорости воздушного потока наблюдается уменьшение зависимости показаний от скорости воздушного потока и практически ее отсутствие (насыщение). С увеличением мощности дозы гамма-излучения переход в режим насыщения происходит быстрее.

Надежность работы датчиков при больших мощностях доз гамма-излучения определяется радиационной стойкостью элементов конструкции.

Выбранные рабочие параметры и конструкция ионизационных камер допускают длительную работу даже при максимальных мощностях доз, заданных в ТЗ. Наиболее чувствительными к облучению элементами конструкции являются предварительные усилители токов камер. Усилители построены на базе микросхем операционных усилителей, выполненных по DIFET технологии. Типичная радиационная стойкость таких усилителей (в стандартном исполнении, без спецприемки) составляет 10-20 кРад.

Этой величины достаточно, чтобы обеспечить работу в условиях заданной в ТЗ

запроектной аварии (200 Зв/час в течение 0,5 часа).

При необходимости радиационная стойкость изделий может быть увеличена путем дополнительных конструкторских решений (резервирование, использование специальных электронных компонент). Мощность дозы в месте расположения усилителей может также быть снижена применением дополнительной свинцовой или вольфрамовой защиты. Отметим, что подобные меры могут привести к существенному увеличению стоимости изделий.

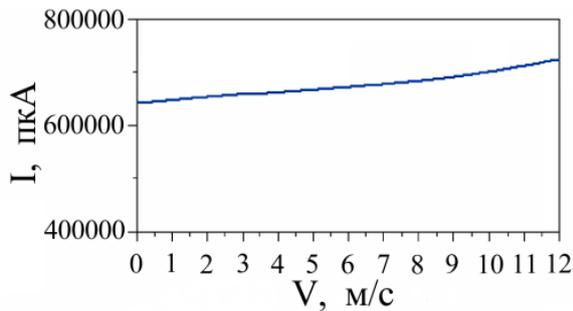


Рисунок 14 - Зависимость ионизационного тока проточной камеры от скорости воздушного потока при мощности дозы равной 200 Зв/ч

представлялось возможным в связи с отсутствием соответствующих источников. Для устранения отмеченного расхождения достаточно изменить калибровочные коэффициенты для грубого диапазона усилителей датчиков. После такого изменения характеристика станет практически линейной во всем диапазоне (от фона до 200 Зв/час).

При испытаниях было обнаружено, что, хотя характеристика датчика должна быть линейной по скорости, при скоростях воздушного потока более 3 м/сек в зависимости тока проточной камеры от скорости появляется нелинейность (переход к насыщению).

Возможными причинами появления этой нелинейности по скорости являются краевые эффекты на входе в проточную камеру (пропуск ионов в центральной части потока без сбора) и ограниченность зоны облучения воздуха в испытаниях.

Дело в том, что центральный высоковольтный электрод камеры, через который, как и через межэлектродное пространство, проходит воздух, является полым и поле внутри него отсутствует. Электрическое поле в центральной части воздушного потока имеется лишь на краях камеры. При больших скоростях воздушного потока время прохода воздуха через край камеры становится малым, и поле на краях камеры может не успевать вытягивать ионы из центральной части потока на электроды.

Оценка скорости, при которой может начать сказываться краевой эффект, дает величину 2–4 м/сек. Падение собираемого тока при этом будет происходить в число раз, равное отношению площади поперечного сечения камеры к площади сечения межэлектродного пространства, что составляет 1,6 раза. Качественно эти цифры согласуются с результатами измерений ФГУП НИИП, где проводились эксперименты.

Для устранения краевых эффектов необходимо исключить возможность свободного прохода воздуха через центральный электрод (например, с помощью заглушек). Дополнительно к этому можно уменьшить на 3–5 см длину центрального электрода.

Второй возможной причиной нелинейности является возможная ограниченность зоны облучения воздуха в экспериментах. Если записать уравнение кинетики, описывающее стационарную генерацию и рекомбинацию ионов, то его решение будет устанавливать плотность ионов в воздухе, которая будет зависеть от времени, как

$$N(t) = \sqrt{\frac{G_I \cdot D'}{K_p}} \tanh\left(\sqrt{K_p \cdot G_I \cdot D'} \cdot t\right).$$

Если предположить, что перед попаданием воздуха в камеру воздух, двигаясь со скоростью U_0 , проходит путь S по зоне (например, венттрубе) с мощностью дозы D' , начиная движение из зоны с нулевой мощностью дозы, то для плотности ионов на входе в камеру, подставляя в нее время прохода воздуха $t = S/U_0$, получим

$$N(U_0) = \sqrt{\frac{G_I \cdot D'}{K_p}} \tanh\left(\sqrt{K_p \cdot G_I \cdot D'} \cdot \frac{S}{U_0}\right).$$

При этом плотность тока проточной камеры j_{np} будет пропорциональна произведению $U_0 \cdot N$, т.е.

$$j(U_0) \propto \sqrt{\frac{G_I \cdot D'}{K_p}} \cdot U_0 \cdot \tanh\left(\sqrt{K_p \cdot G_I \cdot D'} \cdot \frac{S}{U_0}\right).$$

При малых скоростях воздушного потока плотность тока, как и следовало ожидать, пропорциональна произведению скорости воздушного потока на равновесную плотность, а при больших скоростях выходит на константу, пропорциональную $G_I \cdot D' \cdot S$. Расчет по этим формулам зависимости плотности тока проточной камеры от скорости качественно согласуется с полученными в измерениях результатами при размерах зоны облучения воздуха порядка 1 – 2 метров. Указанный эффект зависит от длины области, в которой при заданных скорости воздушного потока и мощности дозы концентрация ионов является равновесной, что определяется соотношением:

$$S_{\text{равн}} \approx U_0 \tau_p = U_0 / \left(K_p \sqrt{G_I D' / K_p} \right) = U_0 / \sqrt{G_I D' K_p}.$$

Оценку секундного расхода находят, используя следующие соображения. Считая поток воздуха в вентиляционной трубе турбулентным, для нахождения расхода целесообразно использовать эмпирическую зависимость скорости потока от расстояния внутренней поверхности трубы y . [10]

$$U = V_* (5.75 \lg \eta + 5.5), \tag{14}$$

где $\eta = V_* y / \nu$, V_* – динамическая скорость;

ν – кинематическая вязкость $\nu = 0,15 \text{ см}^2/\text{с}$;

$y = r_0 - r$; r_0 , r – внутренний и текущий радиусы трубы соответственно.

Определяя скорость газового потока U_1 в точке размещения датчика из уравнения:

$$U_1 = V_* (5.75 \lg(V_* y_1 / \nu) + 5.5),$$

находим параметр V_* и расход по формуле:

$$G = 2\pi \int_0^{r_0 - \delta} U(r) r dr,$$

где δ – толщина ламинарного подслоя ($\delta \ll r_0$).

Для $U(r)$ вида (14) интегрируя, находим:

$$G = \pi V_* r_0^2 \{13.255 \cdot \ln(V_* r_0 / v) + 4.0\}, \text{ (см}^3/\text{с)}.$$

Величину объемной активности газоаэрозольной радиоактивной примеси, равномерно заполняющей вентиляционную трубу и поступающую в атмосферу, можно найти, используя значение мощности дозы, измеряемое непроточной ионизационной камерой (по показанию ионизационного тока), и формулу, связывающую указанное распределение объемной активности с величиной мощности дозы, создаваемой газоаэрозольной радиоактивной примесью во внутреннем объеме вентиляционной трубы, в зависимости от того имеет ли она цилиндрическую форму или форму усеченного конуса. [11, 12] При этом величина объемной активности радионуклидов определится выражением:

$$Q_0 = \frac{2D'}{\pi B F_c \psi(H_0, h_0, r_1) \sum_{i=1}^N K_{\gamma,i} p_i}, \quad (15)$$

где $\psi(H_0, h_0, r_1)$ для цилиндрической венттрубы будет определяться формулой:

$$\psi(H_0, h_0, r_1) = \int_{-h_0}^{H_0-h_0} \left[\ln \frac{\varphi_1(u) + \sqrt{\varphi_1^2(u) + 1}}{\varphi_2(u) + \sqrt{\varphi_2^2(u) + 1}} \right] du, \quad (16)$$

а для венттрубы типа усеченного конуса формулой:

$$\psi(H_0, h_0, r_1) = \int_{-h_0}^{H_0-h_0} \left[\ln \frac{\theta_1(u) + \sqrt{\theta_1^2(u) + 1}}{\theta_2(u) + \sqrt{\theta_2^2(u) + 1}} \right] du, \quad (17)$$

где
$$\varphi_1(u) = \frac{r_0^2 - r_1^2 + u^2}{2r_1 u}; \quad \varphi_2(u) = \frac{u^2 - r_1^2}{2r_1 u},$$

и
$$\theta_1(u) = \frac{(a - \chi u)^2 - r_1^2 + u^2}{2r_1 u}; \quad \theta_2(u) = \frac{u^2 - r_1^2}{2r_1 u}.$$

При этом каждая из компонент газоаэрозольной примеси, представляющая собой парциальную объемную активность i -го радионуклида, распространяющегося по венттрубе определится выражением:

$$q_i = Q_0 \cdot p_i,$$

где p_i – вклад активности i -го радионуклида в общую активность смеси газоаэрозольной радиоактивной примеси («вес» радионуклида).

Умножая каждое q_i на секундный расход G , найдем величину мощности выброса для каждого из нуклидов газоаэрозольной примеси, выбрасываемой из венттрубы АЭС,

и с учетом того, что $\sum_{i=1}^N p_i = 1$, в конечном итоге, их сумму:

$$P_b = Q_0 G \sum_{i=1}^N p_i = Q_0 G.$$

Для определения веса радионуклида в примеси используют дополнительное оборудование, например ксеноновый спектрометр гамма-излучения. [13] Его преимущество состоит в том, что при его разрешающей способности, сравнимой с твердотельными детекторами, он не требует криогенной техники, что сразу решает проблему излишнего веса оборудования. [14] Таким образом, измеряя при ограниченном времени счета (для осуществления передачи информации в режиме on-line) дополнительно спектр гамма-излучения радионуклидов и идентифицируя их тип по характерной энергии гамма-излучения, квантовый выход которой известен, находят вклад в общую активность каждого радионуклида, как отношение:

$$p_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^N q_i} = \frac{\alpha(E_i) A(E_i) \Delta(E_i) / \nu_i}{\sum_{i=1}^N \frac{\alpha(E_i) A(E_i) \Delta(E_i)}{\nu_i}}, \quad (18)$$

где $\alpha(E)$ – коэффициент, характеризующий энергетическую зависимость ксенонового спектрометра, определяемый экспериментально по монолиниям гамма-излучения;

$A(E)$, ΔE – амплитуда и полуширина пика, измеряемая на его полувысоте, обработанного спектра;

ν (γ -кв/распад) – квантовый выход энергии гамма-излучения радионуклида (таблично заданная величина).

В целом, результаты проведенной работы убедительно свидетельствуют о справедливости исходных идей, на основании которых разработана система [7, 9], и о работоспособности её конструкции, основные особенности которой представлены в работе. [8]

Приведенные результаты убедительно свидетельствуют о том, что подобные дозиметрические системы могут быть успешно использованы и для оценки радионуклидного состава газоаэрозольной радиоактивной примеси в условиях штатных выбросов. Действительно, анализ материалов ежегодника «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2008 году» [15] показывает, что радиационная обстановка на территориях сопредельных государств, за исключением территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате Чернобыльской аварии, в целом удовлетворительна – радиационный фон в пределах нормы 13–20 мкР/ч. Напротив, на территориях, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС, в пунктах постоянного контроля (вне 30-км зоны вокруг ЧАЭС и зоны отселения) в 2008 г. регистрировались повышенные уровни МЭД: в Брагине (Беларусь) – 70 мкР/ч (при среднегодовом значении 64 мкР/ч), в Наровле (Беларусь) – 58 мкР/ч (при среднегодовом значении 54 мкР/ч), что, по-видимому, связано с результатом вторичного подъема радиоактивной примеси в атмосферу.

В районах расположения предприятий топливного цикла (ПО «МАЯК», Челябинская область; ФГУП «Горно-химический комбинат» (ГХК), Красноярский край; Сибирский химический комбинат (СХК), Томская область и т.д.) радиационная обстановка, согласно данных ежегодника, относительно радиационного фона в целом нормальна. Среднегодовые значения МЭД в 100 км – зоне ПО «МАЯК» – самого

неблагоприятного (относительно радиационной обстановки) предприятия находились в пределах 10–13 мкР/ч, индивидуальная эффективная доза, обусловленная сложившейся радиационной обстановкой в районе расположения предприятия составляла 0,07–0,22 мЗв/год. Вместе с тем, как отмечается в ежегоднике, радиационная обстановка в 100-км зоне ПО «МАЯК» остается сложной, что обусловлено радиационными авариями 1957 г. (взрыв емкости с высокоактивными ЖРО с выбросом в атмосферу β -излучающих радионуклидов $2 \cdot 10^7$ Ки) и 1967 г. (ветровой перенос высохших донных отложений с обнажившихся берегов оз. Карачай, в которое сливались среднеактивные ЖРО), а также загрязнение донных отложений реки Теча за счет несовершенства (в начальный период работы предприятия) технологий производства оружейного плутония. Годовые выбросы радионуклидов на ПО «МАЯК» в атмосферу в 2008 г. приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Выбросы радионуклидов в атмосферу на НПО «МАЯК», Бк

Наименование радионуклида	Допустимый выброс	Фактический выброс
^{51}Cr	$3,7 \cdot 10^{10}$	$1,85 \cdot 10^7$
^{60}Co	$1,85 \cdot 10^{10}$	$8,89 \cdot 10^6$
^{65}Zn	$3,70 \cdot 10^{11}$	$8,89 \cdot 10^6$
$^{89,90}\text{Sr}$	$1,85 \cdot 10^{10}$	$7,2 \cdot 10^8$
$^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$	$2,96 \cdot 10^{10}$	$1,78 \cdot 10^7$
$^{103,106}\text{Ru}$	$6,66 \cdot 10^{10}$	$5,16 \cdot 10^7$
^{125}Sb	$3,7 \cdot 10^{10}$	-
ΣI	$3,7 \cdot 10^{10}$	$1,79 \cdot 10^8$
^{134}Cs	$1,85 \cdot 10^{10}$	$2,64 \cdot 10^7$
^{137}Cs	$1,85 \cdot 10^{10}$	$1,19 \cdot 10^9$
$^{141,144}\text{Ce}$	$2,96 \cdot 10^{11}$	$7,71 \cdot 10^6$
ΣPu	$7,40 \cdot 10^9$	$5,3 \cdot 10^8$
Сумма ИРГ	$3,52 \cdot 10^{15}$	$2,14 \cdot 10^{13}$

Годовые выбросы радионуклидов в атмосферу на ГХК в 2008 г. приведены в таблице 2, а на СХК в том же году – в таблице 3.

Таблица 2 – Выбросы радионуклидов в атмосферу на ГХК, Бк

Наименование радионуклида	Допустимый выброс	Фактический выброс
1	2	3
^{32}P	$5,6 \cdot 10^{11}$	$1,05 \cdot 10^{10}$
^{46}Sc	$1,00 \cdot 10^7$	$1,34 \cdot 10^6$
^{51}Cr	$3,7 \cdot 10^{10}$	$1,69 \cdot 10^8$
^{54}Mn	$3,00 \cdot 10^8$	$1,92 \cdot 10^6$
^{59}Fe	$1,00 \cdot 10^8$	$4,00 \cdot 10^6$
^{58}Co	$3,06 \cdot 10^9$	$2,40 \cdot 10^7$
^{60}Co	$3,08 \cdot 10^9$	$2,81 \cdot 10^7$
^{65}Zn	$5,00 \cdot 10^9$	$8,33 \cdot 10^6$

Продолжение таблицы 2

1	2	3
$^{89,90}\text{Sr}$	$2,67 \cdot 10^{10}$	$3,28 \cdot 10^8$
$^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$	$2,20 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
$^{103,106}\text{Ru}$	$8,28 \cdot 10^{10}$	$4,17 \cdot 10^8$
ΣI	$1,56 \cdot 10^{10}$	$5,04 \cdot 10^8$
^{134}Cs	$7,20 \cdot 10^7$	$5,24 \cdot 10^6$
^{137}Cs	$6,21 \cdot 10^9$	$1,77 \cdot 10^8$
$^{140}\text{Ba} + ^{140}\text{La}$	$5,00 \cdot 10^8$	$1,19 \cdot 10^7$
$^{141,144}\text{Ce}$	$7,12 \cdot 10^{10}$	$1,00 \cdot 10^9$
ΣEu	$3,00 \cdot 10^8$	$2,00 \cdot 10^6$
ΣPu	$1,39 \cdot 10^9$	$1,25 \cdot 10^7$
Сумма ИРГ	$7,53 \cdot 10^{15}$	$2,00 \cdot 10^{15}$

Таблица 3 – Выбросы радионуклидов в атмосферу на СХК, Бк

Наименование радионуклида	Допустимый выброс	Фактический выброс
$^{89,90}\text{Sr}$	$5,18 \cdot 10^9$	$2,19 \cdot 10^8$
ΣI	$3,64 \cdot 10^{11}$	$2,46 \cdot 10^9$
$\Sigma\alpha$	$6,81 \cdot 10^9$	$2,36 \cdot 10^9$
$\Sigma\beta$	$6,88 \cdot 10^{11}$	$2,35 \cdot 10^{10}$
Сумма ИРГ	$6,29 \cdot 10^{15}$	$5,70 \cdot 10^{14}$

Сокращение производств на ряде предприятий Росатома привело к уменьшению выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую природную среду, и хотя величина последних пока еще остается значительной, тем не менее, она оказывается значительно меньше величин ДОА_{НАС} для соответствующих радионуклидов.

Анализ выбросов действующих АЭС в атмосферу показал, что для АЭС с реакторами ВВЭР-1000 и РБМК основными радионуклидами в выбросах являются: ИРГ, ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , ^{60}Co (Балаковская, Ростовская, Калининская, Курская, Ленинградская, Нововоронежская); ИРГ, ^{137}Cs , ^{131}I , ^{60}Co (Кольская, Смоленская). Для реактора БН-600 с жидкометаллическим теплоносителем – ИРГ, ^{137}Cs , ^{60}Co (Белоярская); ИРГ, ^{90}Sr , ^{131}I , ^{60}Co (Билибинская), причем основной дозообразующий вклад внешнего облучения создают ИРГ. Однако, наблюдаемые объемные активности выбросов соответствующих радионуклидов существенно ниже допустимых и, согласно НРБ – 99, не представляют опасности для населения.

Из приведенных выше данных следует, что на каждом типе указанных производств наиболее значительную величину выбросов в атмосферу составляют ИРГ. Если радиоактивные аэрозоли могут быть задержаны путем усовершенствования методов фильтрации, то задержка ИРГ оказывается достаточно трудоемкой в силу особых их физико-химических свойств, требуя специальных технологий. [16]

Вместе с тем, используя известные технологии сжижения газов при низких температурах, в основе которых лежит явление Джоуля-Томсона, и, основываясь на

том, что разные ИРГ имеют различную температуру сжижения* (см. табл.4), а также учитывая тот факт, что выбросы газоаэрозольной радиоактивной примеси в атмосферу на рассматриваемых производствах не осуществляются равномерно (в сутки, месяц, год), а имеют залповый характер, то, ограничивая время выброса и направляя в заданный период времени воздушный поток, загрязненный газоаэрозольной радиоактивной примесью, в установку сжижения газов, можно добиться как разделения ИРГ от воздуха, так и выделения радиоактивных аэрозолей. Последнее можно осуществить на том основании, что вязкость сжиженных газов достаточно низка, так что аэрозоли могут просто уходить в осадок.

Сущность явления Джоуля – Томсона заключается в следующем: газ, выходящий из резервуара, в котором поддерживается постоянное давление p_1 и температура T (по абсолютной шкале), через малые отверстия, например пробку из ваты или шелка, в другой резервуар, имеющий, равно как и все части прибора, ту же температуру T и некоторое постоянное давление p_0 , охлаждается. Понижение температуры может быть выражено $\theta^\circ = a(p_1 - p_0)(273/T)^2$, где a постоянная, зависящая от свойств взятого газа, равная для воздуха = 0,276, для углекислоты = 1,388, p_1 и p_0 – давления в атмосферах.

Таблица 4 – Температура сжижения инертных газов при нормальном атмосферном давлении

Газ	Массовое число	T °C
Гелий	4,003	-268,9
Неон*	20,18	-246
Аргон*	39,948	-185,9
Криптон*	83,80	-153,2
Ксенон*	131,29	-108,1
Радон	222,018	-61,9

*Примечание: криптон, ксенон, неон и аргон получают из воздуха путем его разделения при глубоком охлаждении

Таким образом, система окончательной газоаэрозольной очистки воздушных потоков, направляемых в венттрубу, будет работать не постоянно, а лишь на момент специально подготовленного выброса, что позволит в дальнейшем вообще отказаться от установки венттрубы.

Использование подобных технологий позволит полностью закрыть вопрос о радиоактивных газоаэрозольных выбросах в атмосферу и, таким образом, существенно улучшить экологическую обстановку окружающей среды для персонала и населения в районе объектов использования атомной энергии.

В таблице 5 приведены основные радионуклиды ИРГ, выбрасываемых в атмосферу, а в таблице 6 – показатели основных физических свойств инертных газов.

*Лит.: Клод Ж., Жидкий воздух, перевод с франц., Л., 1930; Кеезом В., Гелий, пер. сангл., М., 1949; Герш С.Я., Глубокое охлаждение, 3 изд., ч. 1–2, М. – Л., 1957–60; Разделение воздуха методом глубокого охлаждения, т. 1–2, М., 1964; Техника низких температур, М. – Л., 1964; Новые направления криогенной техники, пер. с англ., М., 1966; Фастовский В.Г., Петровский Ю.В., Ровинский А.С., Криогенная техника, М., 1967; Криогенная техника за рубежом, М., 1967.

Таблица 5 – Радионуклиды инертных радиоактивных газов*

Радионуклид	E_γ , МэВ	η , % квант. выход	Период полураспада $T_{1/2}$
Ar ⁴¹	1,2936	99,1	1,83 ч
Kr ^{85m}	0,30447	14,1	4,48 ч
	0,15099	75,3	
Kr ⁸⁵	0,51397	0,435	10,71 года
Kr ⁸⁷	0,4027	48,3	1,27 ч
Kr ⁸⁸	2,3920	37,8	2,84 ч
	2,1959	14,9	
	1,5298	11,3	
	0,8347	13	
	0,1961	37,8	
Xe ¹²⁵	0,2434	28,9	17,0 ч
	0,18843	55,1	
Xe ¹²⁷	0,37496	20,3	36,41 дня
	0,20284	67,7	
	0,17210	23,2	
Xe ¹³³	0,089997	36,3	5,245 дня
	KX 0,03164	47	
Xe ¹³⁵	0,2498	90,5	9,083 ч

Таблица 6 – Свойства элементов VIII-А подгруппы

Свойство	Элемент					
	гелий	неон	аргон	криптон	ксенон	радон
Порядковый номер элемента	2	10	18	36	54	86
Относительная атомная масса	4,003	20,180	39,948	83,80	131,29	222,018
Температура плавления, °С	-272,15	-248,6	-189,4	-157,2	-111,8	-71,0
Температура кипения, °С	-268,9	-246,8	-185,9	-153,4	-108,1	-62,0
Плотность г/см ³ при нормальных условиях	0,18	0,9	1,78	3,74	5,89	9,96
Степени окисления	0	0	0	0, +2, +4	0, +2, +4, +6, +7	0

В подгруппу инертных газов входят элементы: гелий, неон, аргон, криптон,

* Остальные радионуклиды инертных газов имеют период полураспада меньше 1 часа и их не учитывают.

ксенон, радон.

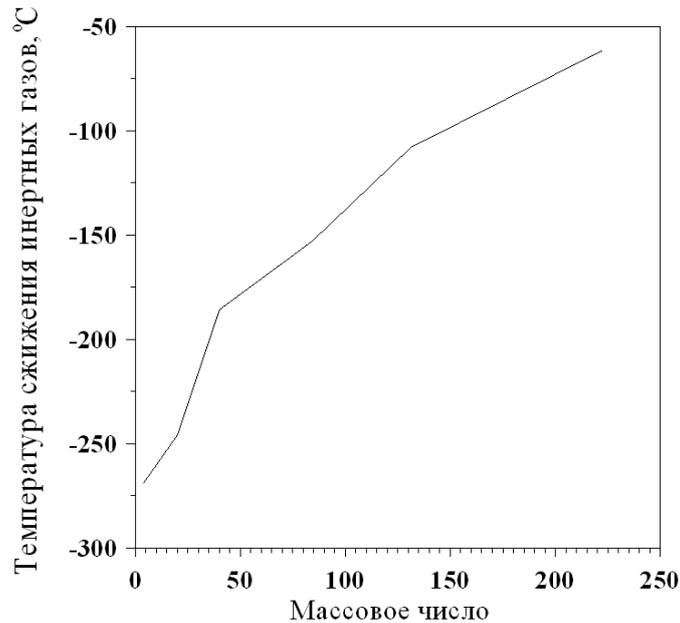


Рисунок 15 – Зависимость температуры сжижения инертных газов при нормальном атмосферном давлении, как функции их массового числа

Поскольку массовое число радионуклидов ИРГ, приведенных в таблице 5, выше массового числа соответствующего инертного газа, то, основываясь на зависимости температуры сжижения инертных газов как функции их массового числа, в соответствии с рисунком 15 можно ожидать, что при сжижении воздуха, содержащего ИРГ, последние будут сжижаться быстрее, чем соответствующие газы в основном состоянии за исключением Xe^{125} и Xe^{127} . Как известно, разделение жидкого воздуха на кислород и азот основано на разнице температур их кипения: температура кипения жидкого азота -196 °C, а жидкого кислорода $-182,9$ °C при нормальном атмосферном давлении. Подобный эффект, очевидно, может служить основанием для выделения жидких ИРГ от азота с кислородом, из которых последние могут быть использованы для нужд предприятия, а жидкие ИРГ утилизированы.

Литература

1. Елохин А.П., Рау Д.Ф., Ткачев А.Н., Румянцев А.Д., Беркович В.М., Хлопотин Р.С. Дозиметрическая система для определения мощности выброса газоаэрозольной радиоактивной примеси в условиях радиационных аварий. Атомная энергия, 2009, Т.107, вып.6, с. 321–328.
2. Елохин А.П., Рау Д.Ф., Таги-Заде Р.Ф., Васильченко Д.Л. Методы оценки и прогнозирования переноса р/а примеси в рамках моделей приземного и пограничного слоев атмосферы. Доклады II всесоюзного научно-технического совещания по итогам ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, том I (Радиационный мониторинг), Чернобыль 22–24 мая 1990 с.240–267.
3. Елохин А.П., Соловей А.Ф. Оценка и прогнозирование масштабов радиоактивного загрязнения окружающей среды при выбросах АЭС. Атомная энергия, т.77, вып.2, 1994, с.145–152.

4. Паспорт. Установка радиометрическая РКС_07П ЖШ 1.289.404. ОАО Пятигорский завод, г. Пятигорск.

5. Елохин А.П., Макеев С.Н., Рау Д.Ф., Филатов Н.М. Способ определения электропроводности и скорости потока ионизированного газа и устройство для его осуществления. Авт. свид. СССР №1636775, МКИ G 01 P 5/08, 27.05.88, опубл. 23.03.91.

6. Елохин А.П., Филатов Н.М. Определение мощности выброса радиоактивной примеси вентиляционных труб АЭС. Атомная энергия, т.77, вып.5, 1994, с.392–402.

7. Елохин А.П., Рау Д.Ф. Способ определения скорости потока радиоактивного газа и плотности ионизации газовой среды и устройство для его осуществления. Изобретение РФ №99107479, приоритет от 12.04.99, Москва, Федеральный Институт Промышленной Собственности России (ФИПСР), 34 с. Патент №2149410 от 20.05.2000.

8. Елохин А.П., Рау Д.Ф., Ткачев А.Н. и др. «Датчик измерения радиоактивных выбросов из вентиляционных труб АЭС»– доклад на международной научно-практической конференции АЭРОЗОЛИ И БЕЗОПАСНОСТЬ. Обнинск. Тезисы докладов, 2005, 24–28 октября, с.234–239.

9. Елохин А.П., Рау Д.Ф. «Повышение чувствительности датчика, определяющего мощность выброса в венттрубах АЭС». Атомная энергия, т.87, вып. 3, сентябрь 1999, с.239–242.

10. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1987, 430 с.

11. Елохин А.П., Рау Д.Ф., Беркович В.М., Жилина М.В., Халупкова Г.И., Виноградов А.П. Метод оценки мощности выброса инертных радиоактивных газов, выходящих из пассивной системы фильтрации межоболочечного пространства реактора ВВЭР-1500, в условиях запроектной аварии. Экологические системы и приборы 2007, №7, с.14–23.

12. Елохин А.П., Рау Д.Ф., Беркович В.М., Жилина М.В., Халупкова Г.И., Виноградов А.П. Оценка мощности выброса радиоактивных благородных газов в условиях запроектной аварии ВВЭР-1500. Атомная энергия, 2008, Т.104, вып.1, с. 43–54.

13. Власик К.В., Грачев В.М., Дмитренко В.В., Дружинина Т.С., Котлер Ф.Г., Улин С.Е., Утешев З.М., Муравьев-Смирнов С.С. «Автоматизированная система на основе ксеноновых гамма-спектрометров для контроля газообразных радиоактивных выбросов ядерного реактора», Ядерные измерительно-информационные Технологии. NuclearMeasurement&InformationTechnologies. №2 (10) 2004, с.45–53.

14. Елохин А.П., Сафоненко В.А., Улин С.Е., Дмитренко В.В., Пчелинцев А.В., Пархома П.А. Применение беспилотного дозиметрического комплекса для определения концентрации радионуклидов в атмосфере в условиях радиационных аварий. ЯДЕРНЫЕ измерительно-информационные ТЕХНОЛОГИИ. NuclearMeasurement&InformationTechnologies. №3(23), 2007, с.42–59.

15. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2008 году. Ежегодник. Под ред. С.М. Вакуловского. ИПМ ГУ «НПО «ТАЙФУН», Обнинск, 2009, 297 с.

16. Петров М.М., Михилев Л.А., Кукушкин Ю.Н. Неорганическая химия – Л.: Химия, 1989. – 542 с.

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.

Беркович Виктор Мозесович – заместитель главного инженера ОАО «Атомэнергопроект». E-mail: berkovich@aep.ru

Elokhin Aleksandr P. – Doctor of Technical Sciences, 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.

Berkovich Viktor M. – Deputy Head Engineer of Public Corporation «Atomenergoproekt». E-mail: berkovich@aep.ru

УДК 504.53.054:620 (470.61)

ДИНАМИКА ПРОФИЛЕЙ ^{137}Cs ПРОМЫВНОГО ТИПА И ТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ РОСТОВСКОЙ АЭС

Е. Бакаева, Е.А. Бураева, Н.А. Игнатова

<p style="text-align: center;"><i>Южный отдел Института водных проблем РАН, Гидрохимический институт, Научно исследовательский институт физики при Южном федеральном университете</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Southern Division of the Institute of Water Problems of RAS, Hydrochemical Institute, Research Institute of Physics, Southern Federal University</i></p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

В работе приведены данные по динамике распределения ^{137}Cs за 2000-2008 годы, свидетельствующие о его перераспределении по почвенному профилю контрольного участка Ростовской АЭС. Полный запас ^{137}Cs уменьшился приблизительно в 1,5 раза. Необработанные почвы и их водные вытяжки по результатам биотестирования оказывали угнетающее действие на развитие и размножение трех тест-объектов. Вероятно, это связано с повышенной солонцеватостью почв.

Ключевые слова: токсичность, почвы, водные вытяжки, биотестирование, ^{137}Cs , тест-объекты.

The paper presents data on the dynamics of distribution of ^{137}Cs for 2000-2008, indicating its redistribution within the soil profile control area Volgodonsk NPP. Full stock of ^{137}Cs decreased approximately 1.5 times. Untreated soil and water extract on the results of bioassays have a depressing effect on the development and reproduction of three test sites. This is probably due to the high saline soils.

Keywords: toxicity, soil, water extraction, bioassay, ^{137}Cs , the test object.

Характеристика радиационной обстановки Ростовской АЭС (ВД АЭС) без детальных данных не только о пространственной, но и о временной динамике содержания естественных (ЕРН) и искусственных радионуклидов (ИРН) в различных горизонтах почв, является неполной. Наибольший интерес для района АЭС представляют профили вертикального распределения ИРН (в данном случае ^{137}Cs). Во-первых, содержание ^{137}Cs в слое 0-5см характеризует плотность загрязнения земной поверхности этим радионуклидом. Во-вторых, с его помощью возможен анализ процессов переноса ^{137}Cs в почвенно-растительном покрове, в том числе, динамики изменения загрязнения этим радионуклидом. [1]

Оценке токсичности почв уделяют большое внимание среди экологических аспектов работы АЭС. Почвы выполняют огромное количество функций и играют особую роль в экологических системах. Важнейшая из них – экологическая, обеспечивающая жизненное пространство для человека и живых организмов. Однако, к настоящему времени аналитическими методами невозможно выявить весь комплекс и природных, и вновь синтезируемых веществ, а, главное, - продуктов их

взаимодействия, которые подчас бываю более токсичны и опасны для биоты. В связи, с чем возникает необходимость холистического подхода, обеспечивающего интегральную оценку токсичности сред. Поскольку токсичность является характеристикой биологической, то для ее выявления необходимо использовать представителей биоты. Оценить воздействие всего комплекса загрязняющих веществ на представителей биоты (тест-объекты) позволяет метод биотестирования. Метод биотестирования основан на использовании представительных тест-объектов различных систематических групп и трофических уровней живых организмов.

Материал и методы исследования. В работе представлены данные о распределении ^{137}Cs некоторых ЕРН на одном из контрольных участков (КУ 12) 30 км зоны наблюдения ВД АЭС, полученные в 2000-2008 годах в период нормальной эксплуатации АЭС, когда существенных изменений содержания ИРН (^{137}Cs) не должно быть.

Токсичность проб почвы участка КУ 12 оценивали методом биотестирования в 2008 году. Для оценки токсичности неизмененных почв применяли биотест на фитотоксичность (фитотест). В качестве тест-объекта использовали семена редиса *Raphanus sativus*. [2] Токсичность водных вытяжек почв оценивали с использованием общепринятого тест-объекта *Daphniamagna*. [3] в остром опыте и коловороток *Brachionus calyciflorus*. [4] в остром и хроническом опытах. Тест-показателями служили процент выклева семян, длина корней и ростков редиса, гибель дафний, гибель и плодовитость коловороток. Степень токсичности оценивали по отклонению (%) тест-показателей в опытных сериях от контрольных. Контроль для почв – садовая земля по горизонтам, для водных вытяжек – экстракция почв дехлорированной водопроводной водой. Общее токсическое действие почвы оценивали по показателю, проявившему наибольшую чувствительность.

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.

Результаты и обсуждение исследований. Тип профилей ^{137}Cs на КУ 12 (рис. 1) 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 45 см).

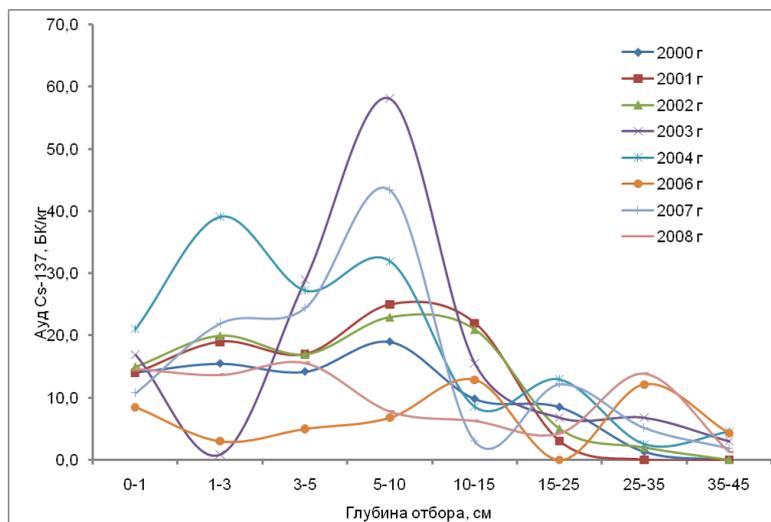


Рисунок 1 - Профили промывного типа.

Динамика изменения профилей ^{137}Cs на КУ 12

Относительные запасы в слоях 0-15см и 15-45см часто соизмеримы или большие на большей глубине. Структура профилей очень разнообразна. В большинстве профилей (кроме 2004, 2007, 2008 гг.) нет максимума у поверхности и есть на большой глубине.

Такие профили сформированы 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 15-20см. 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 $A(h)$ и $P(h)$ на этих глубинах может быть связано с солонцеватостью.

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.

Данные по содержаниям ЕРН в почве (0-1 см) и растительности приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Содержание ЕРН в почве 0-1см и растительности КУ-12

Объект	$U-238$	$Ra-226$	$Pb-210$	$Th-232$	$K-40$
почва 0-1см	36,1±3,6	46,1±0,9	218,0±16,0	44,0±6,0	427,0±11,0
растительность	-	20,6±6,0	114,0±35	5,3±1,2	885,0±14,0

Для КУ 12 содержание ^{40}K в растительности всего в 2 раза больше, чем в почве, ^{238}U в растительности отсутствует.

Сравнение данных 1999г и 2004 г по профилям распределения ^{137}Cs в почвах (по удельной активности A_i , Бк/кг, запасам P_i , Бк/м²) для КУ 12 приведены в таблице 2 .

Видно, что за 5 лет (с 1999по 2004 гг.) [2] на КУ 12 при неизменном полном запасе ^{137}Cs в почвенном профиле $\Sigma P_i \cong 3900$ Бк/м² произошло некоторое перераспределение по его профилю. Относительные запасы во втором слое 1-3см и, особенно, в четвертом слое 5-10см заметно возросли, а в более глубоких слоях при $h > 10$ см P_i и $P_i/\Sigma P_i$ резко уменьшились.

Таблица 2 - Динамика распределения ^{137}Cs по профилям

h , см	1999 год		2004 год		2008 г	
	A_i , Бк/кг	P_i , Бк/м ²	A_i , Бк/кг	P_i , Бк/м ²	A_i , Бк/кг	P_i , Бк/м ²
1	2	3	4	5	6	7
0-1	14,1±1,3	175±16	22,7±2,3	282±28	14,7±1,3	1108,4±53
1-3	15,5±1,1	384±27	19,7±1,4	488±35	13,7±1,1	564,9±28
3-5	14,2±1,3	352±31	16,2±1,9	402±47	15,6±1,6	713,2±49

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
5-10	19,0±1,6	1150±100	40,4±2,8	2445±170	7,8±0,9	140,1±15
10-15	9,8±0,8	608±50	1,6±1,0	99±62	6,3±0,6	130,9±11
15-25	8,5±1,1	1105±140	1,2±1,0	156±130	4,3±0,3	47,3±5
25-35	1,3±0,6	150±87	-	-	13,9±1,5	173,0±16
35-45	-	-	-	-	1,3±0,3	15,2±2
ΣP_i		3894		3872		2872

За последующие 4 года (с 2004 г по 2008г) полный запас ^{137}Cs уменьшился приблизительно в 1,5 раза. Это может быть связано: а) с проникновением ^{137}Cs в нижележащие слои почвы за счет усиления фильтрации; б) переходом этого радионуклида в доступную растениям форму и последующей фиксацией; в) изменением гидротермического коэффициента данной зоны.

Результаты оценки токсичности почв методом биотестирования на трех тест-объектах представлены в таблицах 3-4.

Таблица 3 - Результаты биотестирования почв по данным фитотоксичности (семена редиса *Raphanus sativus*)

h, см	Тест-показатели, откл. от контроля, %			Токсическое действие
	выклев	длина ростков	длина корней	
0-1	-30 (нет ТД)	+23,8 (нет ТД)	+30,0 (нет ТД)	Нет ТД
1-3	-65 (ОТД)	+40,5 (ОТД)	+31,2 (ОТД)	ОТД
3-5	-55 (ОТД)	+32,5(нет ТД)	-40,2 (ОТД)	ОТД
5-10	-55 (ОТД)	+14,2(нет ТД)	+16,5(нет ТД)	ОТД
10-15	-70 (ОТД)	- 65,0 (ОТД)	-60,0 (ОТД)	ОТД
15-20	0 (ОТД)	0 (ОТД)	0 (ОТД)	ОТД

ОТД – острое токсическое действие, ТД – токсическое действие

Биотест по фитотоксичности с использованием трех тест-показателей свидетельствует об угнетающем действии на выклев семян (табл.3). Отклонение от контроля составило от-30 до -70%.Нагоризонте 15-20см выклева семян не было.Верхние горизонты почвы оказывали небольшое стимулирующее действие на развитие ростков редиса, нижние горизонты с 10-15см - угнетающее действие. Полностью непригодны для семян редиса оказались пробы почвы горизонта 15-20см. По данным трех тест-показателей фитотеста действие почв можно оценить как острое токсическое.

Результаты биотестирования на двух тест-объектах (*Dahniamagna*, *Brachionuscalyciflorus*) свидетельствуют о негативном действии водных вытяжек почв на тест-показатель «выживаемость» (табл.4). Однако наиболее важным для прогноза

развития популяции из используемых тест-показателей является плодовитость. Короткоциклические виды, такие как коловратки, позволяют за небольшой промежуток времени (четверо 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.

Таблица 4 - Результаты биотестирования почв по данным двух тест-объектов

h, см	Daphnia magna	Brachionus calyciflorus		Токсическое действие
	снижение выживаемости, % от контроля	снижение выживаемости, % от контроля	плодовитость, откл. от К, %	
0-1	20 (Нет ТД)	25 (нет ТД)	-35 (ХТД)	ХТД
1-3	35 (ОТД)	40 (ОТД)	-40 (ОТД)	ОТД
3-5	30 (ОТД)	40 (ОТД)	-40 (ОТД)	ОТД
5-10	40 (ОТД)	35 (ОТД)	-55 (ОТД)	ОТД
10-15	40 (ОТД)	50 (ОТД)	-80 (ОТД)	ОТД
15-20	80 (ОТД)	70 (ОТД)	-100 (ОТД)	ОТД

ОТД – острое токсическое действие, ХТД – хроническое токсическое действие, ТД – токсическое действие

Возрастание токсичности почв с глубиной можно объяснить, во-первых, с повышением солонцеватости почв с горизонта 15-20см, во-вторых, одинаково сухое жаркое лето 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]

Таким образом, перераспределение содержания ^{137}Cs по профилям промывного типа 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 кольматажу.

Литература

1. 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», Москва, 2002, Т. 2, С. 132-133.
2. СанПиН 2.1.7.573-96 Санитарная охрана почвы гигиенические требования к использованию сточных вод. Утв. Постановлением № 46 Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.96 .
3. РД 52.24.566-94 Методы токсикологической оценки загрязнения пресноводных экосистем. М.: ФСР Госкомгидромета, 1994. – 129 с.
4. Р 52.24.662 -2004 оценка токсического загрязнения природных вод и донных отложений пресноводных экосистем методами биотестирования с использованием коловраток. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006.- 60 с.



5. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Кобцева М.А., Стасов В.В. Радиоэкологический мониторинг зоны наблюдения Волгодонской АЭС // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский регион технические науки. 2010. № 2. С.154-159.

6. Бакаева Е.Н., Никаноров Н.А. Гидробионты в оценке качества вод. М.: Наука, 2006. – 238 с.

Бакаева Елена Николаевна - доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Гидрохимический институт, Южный отдел Института водных проблем РАН. E-mail: rotaria@mail.ru

Игнатова Надежда Анатольевна - младший научный сотрудник, Гидрохимический институт, Южный отдел Института водных проблем РАН. E-mail: ignatse@aanet.ru

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

Bakaeva Elena N. - doctor of biology, the scientific employer, Hydrochemical institute, Southern department of Institute of water problems of the Russian Academy of Sciences. E-mail: rotaria@mail.ru

Ignatova Nadeschda A. - the scientific employer, Hydrochemical institute, Southern department of Institute of water problems of the Russian Academy of Sciences. E-mail: ignatse@aanet.ru

Buraeva Elena A. - senior researcher and head of the Laboratory studies of Radioecology Research Institute of Physics at Southern Federal University (Institute of Physics at SFU). E-mail: buraeva_elena@mail.ru

УДК 616-006:614.8(470.61)

ДИНАМИКА ОНКОЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ТРИДЦАТИ КИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЫ РОСТОВСКОЙ АЭС

И.А. Бубликова, О.Ф. Цуверкалова, М.Г. Баклыкова

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

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

Выполнено исследование динамики онкопатологии населения, проживающего на территориях, прилежащих к Ростовской атомной станции. Сравнительный анализ трендов рассматриваемого показателя для территорий различной удаленности от АЭС до и после пуска первого энергоблока, показал, что наблюдающийся рост онкологической заболеваемости не может быть связан с эксплуатацией атомной станции, поскольку сложился задолго до её пуска.

Ключевые слова: Онкопатология, население тридцатикилометровой зоны АЭС, математическое моделирование, динамика.

The investigation of the dynamics oncopathology population living in areas adjacent to the Rostov nuclear power plant. Comparative analysis of trends in this indicator for the territories of different distance from the plant before and after starting the first unit, showed that the observed increase in cancer incidence can not be associated with the operation of the plant, since it was formed long before the launch.

Keywords: oncopathology, population thirty-kilometer zone of plant, mathematical modeling of the dynamics.

В тридцатикилометровой зоне РоАЭС проживает население общей численностью 230,7 тыс. человек, из них 170 тысяч – население г. Волгодонска, расположенного в 13,5 км. Одним из главных опасений жителей региона является развитие злокачественных новообразований, определяющееся близостью к Ростовской АЭС и связанным с ней дополнительным облучением. Поэтому исследования влияния радиационных воздействий Ростовской АЭС на формирование онкопатологии населения являются актуальными.

Развитие злокачественной опухоли является многостадийным процессом, включающим фазы инициации, промоции и прогрессии. [1, с. 229] При этом ионизирующее излучение (но не только оно!) может выступать как в роли иницирующего фактора, так и в роли промотора.

Таким образом, онкологические заболевания не являются специфическими только для радиации, а могут быть вызваны другими причинами, другими факторами среды, в том числе образом жизни населения. Поэтому связь канцерогенеза с дополнительным облучением организма должна быть доказана.

В связи с высокой социальной значимостью этой проблемы было проведено исследование динамики онкопатологии населения тридцати километровой зоны Ростовской АЭС. Информационной базой исследования служили аналитические материалы ФБУ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области» и Ростовского НИИ онкологии.

Онкозаболеваемость населения является стохастической, вероятностной величиной. Это определяется следующими обстоятельствами:

- 1) вероятностной природой образования онкопатологии под влиянием тех или иных факторов;
- 2) неопределенность длительности периода времени проявления заболевания после иницилирующего воздействия;
- 3) вероятность обнаружения заболевания.

Медицинская статистика, безусловно, фиксирует все случаи заболевания, но это касается только уже обнаруженных, выявленных у населения. В этом отличие онкопатологии от некоторых других заболеваний, для которых анализ данных позволяет получить более четкую зависимость тяжести проявления заболевания от интенсивности фактора, его провоцирующего. В значительной степени стохастический характер таких данных определяется тем, что не все заболевшие обращаются за медицинской помощью, и поэтому учёт заболевших медицинской статистикой далеко не полный.

В случае канцерогенеза ситуация иная. Само выявление заболевания возможно только медицинскими средствами диагностики, поэтому выявление (фиксирование) заболевания определяется уровнем контроля состояния здоровья населения (диспансеризацией) на той или иной территории и уровнем медицинской культуры населения, его отношением к собственному здоровью.

Поскольку первый энергоблок Ростовской АЭС был запущен в промышленную эксплуатацию в 2001 г., для определения изменений в динамике рассматриваемого показателя был выполнен анализ данных до и после пуска АЭС с получением в MSExcel уравнений трендов онкологической заболеваемости и коэффициентов детерминации. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Модели динамики онкозаболеваемости населения г. Волгодонска

Период времени	Математическая модель	Коэффициент детерминации
До пуска (1992 – 2000 г.г.)	$y = 9,5x - 18849$	0,764
После пуска (2001 – 2011 г.г.)	$y = 8,1x - 15874$	0,647
Весь период с 1992 г. по 2011 г.	$y = 8,7x - 17177$	0,911

Значения коэффициента детерминации, приведенные в таблице 2, указывают на достаточную информативность полученных зависимостей. Причем следует отметить, что коэффициент, отражающий скорость роста онкозаболеваемости до пуска Ростовской АЭС, равный 9,5, больше, чем после пуска (8,1). Таким образом, нет оснований утверждать, что пуск первого энергоблока Ростовской АЭС увеличил скорость роста онкозаболеваемости населения г. Волгодонска.

Были проанализированы данные об онкологической заболеваемости за период с 1992 по 2011 гг. и других территорий, входящих в 30-ти километровую зону АЭС, а именно Дубовского и Цимлянского районов. Динамика исследуемого показателя в сравнении с г. Волгодонском и Ростовской областью в целом приведена на рисунке 1. Разброс данных по рассматриваемым районам был настолько велик, что коэффициенты детерминации трендов не превышают 0,2. При этом если в Дубовском районе показатели канцерогенеза ниже, чем в г. Волгодонске, в Цимлянском районе они выше не только соответствующих значений для населения Волгодонска, но и всей

Ростовской области. Очевидно, что такое распределение онкозаболеваемости по территориям 30-ти километровой зоны Ростовской АЭС не может быть связано с ее работой, так как тенденции динамики показателя сложились еще до её пуска в 2001 г. А в Волгодонске значения рассматриваемого показателя ниже, чем по всей Ростовской области.

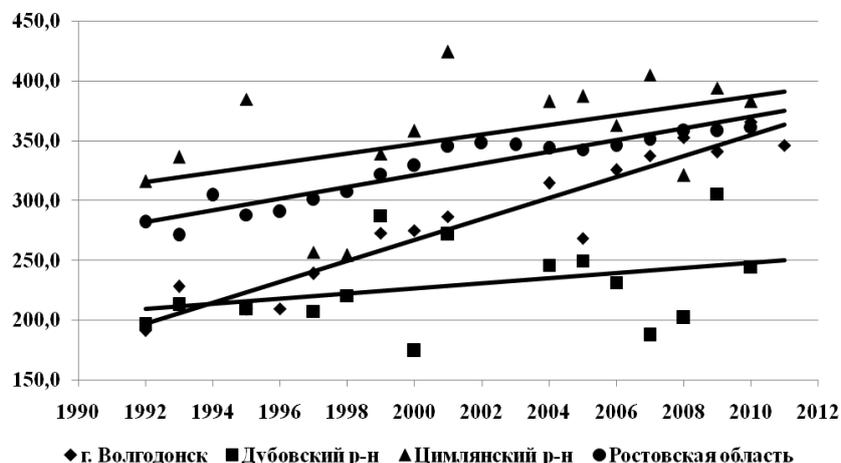


Рисунок 1 - Динамика онкозаболеваемости населения 30-км зоны Ростовской АЭС на 100 тысяч населения

Сравнительный анализ трендов онкозаболеваемости для территорий различной удаленности от АЭС до и после пуска первого энергоблока (рис. 2) показал, что для г. Таганрога, для которого характерен высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, значения весь рассматриваемый период выше, чем в Волгодонске.

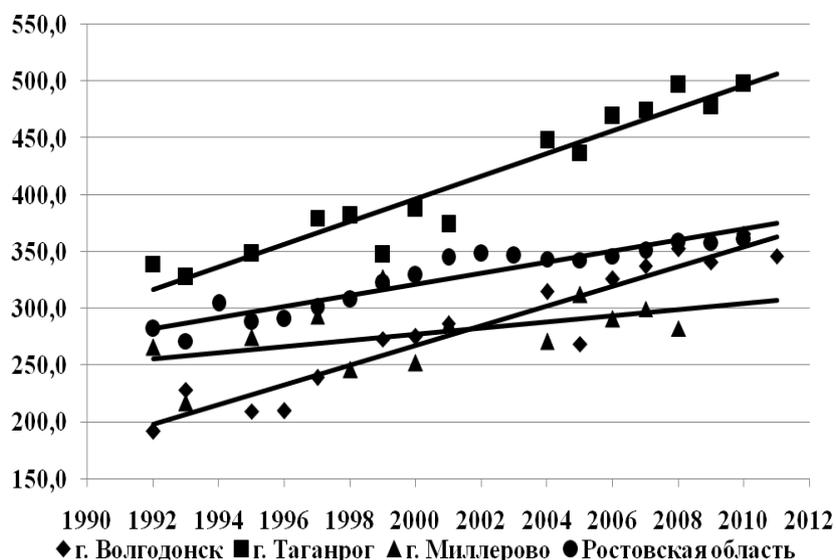


Рисунок 2 - Динамика онкозаболеваемости населения Ростовской области на 100 тысяч населения

А в г. Миллерово различия в характере поведения онкопатологии по отношению к Волгодонску проявились в последние годы. При этом как Таганрог, так и Миллерово находятся более чем за 300 км от Ростовской АЭС, и не попадают под направления господствующих ветров, то есть вне зоны её влияния.

Математические модели анализируемых показателей по рассматриваемым территориям и соответствующие коэффициенты детерминации приведены в таблице 3.

Таблица 3- Модели динамики онкозаболеваемости населения Ростовской области с 1992 по 2011 гг.

Город	Математическая модель	Коэффициент детерминации
г. Волгодонск	$y=8,7x-17177$	0,911
г. Таганрог	$y=9,9x-19596$	0,918
г. Миллерово	$y = 2,7x - 5137,8$	0,247
Ростовская область	$y = 4,9x - 9446,2$	0,889

Угол наклона аппроксимирующих прямых, который определяется в уравнении коэффициентом перед переменной x , позволяет утверждать, что скорость роста заболеваемости населения по городам Волгодонск и Таганрог выше, чем в г. Миллерово и Ростовской области в целом, но в г. Таганрог, выше, чем в Волгодонске. Поэтому, сложившиеся тенденции анализируемого показателя определяются не радиационными выбросами Ростовской АЭС, а другими социальными и экологическими факторами.

Сравнение характера динамики данных онкологической заболеваемости по рассмотренным городам и районам Ростовской области показывает, что разброс данных выше именно в сельских районах. Можно предположить, что одной из причин этому являются различия не только в уровне медицинской диагностики, но и в количестве населения, проживающего на той или иной территории и, следовательно, составляющего анализируемую когорту. Поэтому данные по всему населению Ростовской области носят более устойчивый характер. Для проверки предположения была построена зависимость коэффициента детерминации математических моделей тренда онкологической заболеваемости для разных территорий Ростовской области от численности населения этих территорий (рис. 3). Уравнение аппроксимирующей логарифмической кривой имеет высокую информативность ($R^2 = 0,909$), это подтверждает наше предположение.

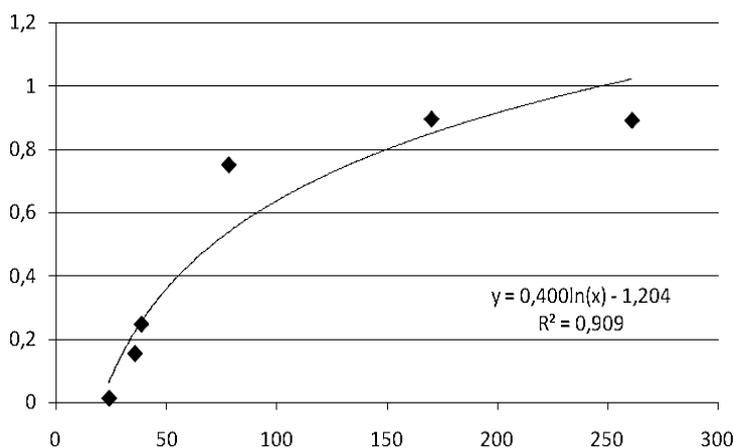


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента детерминации математической модели тренда онкопатологии от численности когорты (тысяч человек)

В связи с этим, необходимо отметить, что существующий разброс данных по годам и вероятность проявления онкопатологии спустя длительное время после воздействия, провоцирующего его, делает малоэффективным при анализе информации прямое сопоставление значения показателей за 2-3 предыдущих года, как это обычно

приводится Центром гигиены и эпидемиологии в годовых отчетах о состоянии здоровья населения. Более информативным является анализ соответствующих трендов с учетом статистических свойств данных.

Выводы

1. Сравнительный анализ трендов онкологической заболеваемости для территорий различной удаленности от АЭС до и после пуска первого энергоблока показал, что высокий уровень онкопатологии характерен не только для г. Волгодонска, но и для других территорий, находящихся вне зоны действия Ростовской АЭС, но с напряженной экологической ситуацией. Причем наблюдающиеся тенденции роста показателя сложились до пуска АЭС. Поэтому нет оснований утверждать, что пуск первого энергоблока Ростовской АЭС повлиял на рост онкозаболеваемости населения тридцати километровой зоны.

2. Обвинения Ростовской атомной станции в росте онкозаболеваемости не столько вредят имиджу ОАО «Концерн Росэнергоатом», сколько мешают найти истинные причины сложившихся негативных тенденций и принять меры по их устранению.

3. Поскольку атомная станция является объектом потенциально опасных воздействий, как на окружающую среду, так и на здоровье населения, необходим и в дальнейшем постоянный контроль и анализ показателей заболеваемости, который необходимо выполнять с учетом статистических свойств данных.

Литература

1. Василенко И.Я., Василенко О.И. Биологическое действие продуктов ядерного деления. – М.: Издательство БИНОМ, 2011. – 384 с.

Бубликова Ирина Альбертовна - Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», заведующая кафедрой инженерной экологии, кандидат технических наук, доцент. E-mail: IABublikova@mephi.ru

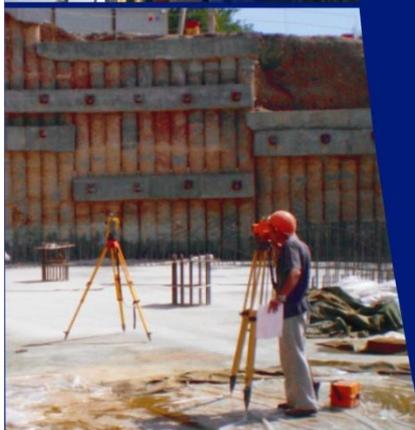
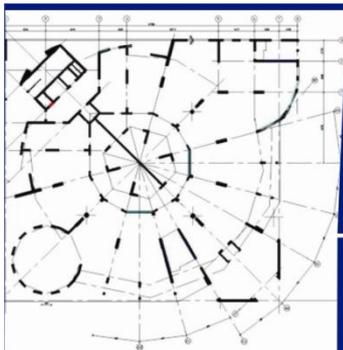
Цуверкалова Ольга Феликсовна- Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», доцент кафедры информационных и управляющих систем. E-mail: o_fel@mail.ru

Баклыкова Мария Георгиевна - Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». E-mail: oranjevaya_masha@mail.ru

Bublikova Irina A. - candidate of technical science, head of engineering ecology department, senior lecturer, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: IABublikova@mephi.ru

Tsuverkalova Olga F. - senior instructor of information and managing systems department, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: o_fel@mail.ru

Baklykova Maria G. – student of Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail: oranjevaya_masha@mail.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 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**

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



УДК 621.039:621.311.25

О ВЛИЯНИИ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ АЭС

**В.Н. Медведев, Александр С. Киселев, Алексей С. Киселев,
В.Ф. Стрижов, А.Н. Ульянов**

<i>Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН), г. Москва</i>	<i>Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE RAS), Moscow</i>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------

Приведены отдельные результаты контроля качества строительно-монтажных работ, вызывающие изменения в напряженном состоянии защитных оболочек АЭС. Отмечено, что влияние технологических нарушений весьма значительно сказывается на характере напряженного состояния конструкции. Даются рекомендации по совершенствованию контроля строительства защитной оболочки.

Ключевые слова: Защитная оболочка, бетон, арматурные канаты, напряжения, усилия.

Several results of the control over quality of construction-and-assembling operations producing changes in the stress-strain state of Nuclear Power Plant (NPP) containments are presented. As observed, technology violations influence considerably the stress-strain state of constructions. Recommendations on improvement of the control over construction of NPP containments are formulated.

Keywords: Containment, concrete, tendon, tension, efforts.

Преднапряженные железобетонные защитные оболочки АЭС предназначены для защиты реакторной установки от внешних природных и техногенных воздействий и, являясь элементом локализирующей системы безопасности, служат для предотвращения или ограничения распространения, выделяющихся при авариях, радиоактивных веществ и излучений за, установленные проектом, границы.

Защитные оболочки АЭС имеют достаточно сложную геометрическую форму и большое количество конструктивных неоднородностей (узлы сопряжения элементов различной жесткости, отверстия, неравномерности траекторий арматурных канатов и другие).

Кроме того, в практике строительства встречается значительное количество технологических нарушений, которые влекут за собой возникновение технологических неоднородностей. Указанные факторы могут оказывать существенное влияние на однородность напряженного состояния защитной оболочки и ее надежность.

В новых нормах (СНиП 52-01-03 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения») введено требование по долговечности железобетонных конструкций, которое формулируется следующим образом: железобетонная конструкция должна иметь такие начальные характеристики, чтобы в течение установленного длительного времени она удовлетворяла бы требованиям по безопасности и эксплуатационной пригодности с учетом влияния на геометрические характеристики конструкции и механические характеристики материалов различных

расчетных воздействий (длительное действие нагрузки, неблагоприятные климатические, технологические, температурные и влажностные воздействия, попеременное замораживание и оттаивание, агрессивное воздействие и др.).

При этом устанавливается, что долговечность железобетонных конструкций должна обеспечиваться требованиями к бетону и его составляющим, арматуре, расчету, конструированию, технологии изготовления и эксплуатации.

При строительстве АЭС существует практика контроля качества строительно-монтажных работ, которая показала, что имеют место отклонения от требований нормативных документов и проектных решений.

Эти обстоятельства позволяют говорить о том, что вопросы контроля качества строительства защитных оболочек АЭС остаются актуальными.

Контроль качества строительно-монтажных работ должен включать: контроль физико-механических характеристик используемых материалов строительных конструкций с привязкой к зонам бетонирования, контроль геометрических параметров и др.

При производстве бетона на бетонном заводе и укладке его в тело защитной оболочки прочностные характеристики отдельных партий материала могут варьироваться под влиянием большого числа систематических и случайных причин.

В качестве примера рассматриваются некоторые данные строительства защитной оболочки первого энергоблока Ростовской АЭС, сооружение которой заняло более трех лет (с 03.07.86 по 18.10.89 г.). Укладку бетона проводили ярусами с помощью бетононасосов. Объем бетона, укладываемого в один прием, колебался от 20 до 200 м³. Перерывы в бетонировании сменных слоев составляли от 1 до 90 суток.

В период строительства защитной оболочки испытывались образцы для определения прочностных характеристик бетона, а также проводились испытания кернов, выбуренных из оболочки. [Л. 1]

Результаты показали, что данные испытания контрольных образцов значительно отличаются от данных испытания кернов. Средняя прочность бетона в конструкции через 90 суток после укладки ($\bar{X} = 341$ кг/см²) ниже средней прочности контрольных образцов в возрасте 28 суток ($\bar{X} = 432$ кг/см²), а среднеквадратические отклонения равны, соответственно, 83 кг/см² и 39,7 кг/см² (см. таблицу 1 и 2).

Таблица 1– Результаты испытания кернов, выбуренных из бетона защитной оболочки первого энергоблока Ростовской АЭС

X(прочн. бетона, R ₂₈ кг/см ²)	B(число серий образцов)	X ²	B×X	B×X ²	Откл. от сред, кг/см ² X- \bar{X}
240	7	57600	1680	403200	-101
320	10	102400	3200	1024000	-21
400	9	160000	3600	1440000	59
480	3	230400	1440	691200	139
	29		9920	3558400	

$$\text{Среднее значение } X = \frac{\sum B \cdot X}{n} = \frac{9880}{29} = 341 \text{ кг/см}^2;$$

$$\text{Среднеквадратические отклонения } \sqrt{\frac{\sum B \cdot X^2 - (\sum B \cdot X)^2 / n}{n - 1}} = 83.$$

Таблица 2– Результаты испытания бетонных образцов на осевое сжатие (через 28 суток) при строительстве защитной оболочки первого энергоблока Ростовской АЭС

X (прочн. бетона, R ₂₈ кг/см ²)	B (число серий образцов)	X ²	B×X	B×X ²	откл. от сред, кг/см ² X- X̄
350	1	122500	350	122500	-83
370	2	136900	740	273800	-63
390	19	152100	7410	2889900	-43
410	32	168100	13120	5379200	-23
430	15	184900	6450	2773500	-3
450	12	202500	5400	2430000	17
470	14	220900	6580	3092600	37
490	6	240100	2940	1440600	57
510	4	260100	2040	1040400	77
530	4	280900	2120	1123600	97
	109		Σ47150	Σ20566100	

$$\text{Среднее значение } \bar{X} = \frac{\sum B \cdot X}{n} = \frac{47150}{109} = 433 \text{ кг/см}^2;$$

$$\text{Среднеквадратические отклонения } \sqrt{\frac{\sum B \cdot X^2 - (\sum B \cdot X)^2 / n}{n - 1}} = 39,7$$

Основными причинами вариации прочности бетона защитной оболочки 1-го энергоблока Ростовской АЭС явились: отсутствие автоматических дозировочных устройств на бетонном заводе и пооперационного контроля в процессе приготовления и укладки бетона; бесконтрольное добавление воды в автобетоносмесители перед разгрузкой, приводящее к выпуску бетонной смеси с подвижностью, значительно превышающей заданную; большое разнообразие добавок с различной подвижностью (по данным измерений осадка конуса составляла от 7 до 26 см).

Очевидно, что в большинстве случаев проектная марка бетона не выдерживалась, но не это является главным. Важно то, что в соседних блоках бетонирования оказывались материалы с резко отличающимися прочностными характеристиками. При колебаниях физико-механических характеристик бетона в конструкции каждый фрагмент обладает своей определенной прочностью по отношению к действующим нагрузкам. Следовательно, деформации ползучести бетона, зависящие, в основном, от прочностных характеристик бетона и уровня напряжений, будут различны.

Для длительного наблюдения за изменением физико-механических характеристик бетона представляется целесообразным данные по каждому участку бетонирования наносить на общую схему. Например, на рисунке 1 представлен фрагмент развертки цилиндра защитной оболочки АЭС с указанием свойств бетона в каждой захватке бетонирования.

Эти данные будут использоваться на протяжении всего жизненного цикла сооружения (период строительства, предпусковых испытаний, длительной эксплуатации, продления срока службы, вывода из эксплуатации).

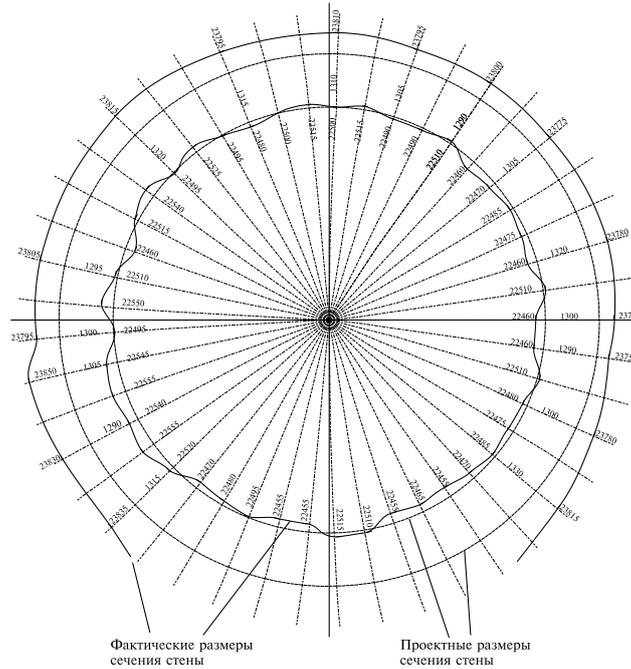


Рисунок 2– Геометрические параметры стены защитной оболочки первого энергоблока Калининской АЭС в средней части цилиндра. Отклонения от проектных размеров увеличены в 50 раз по сравнению с толщиной стенки

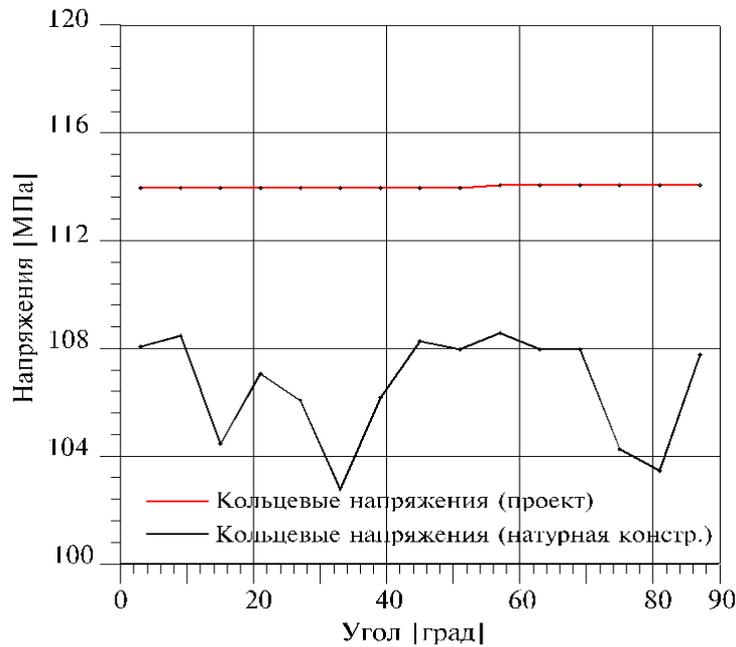


Рисунок 3 - Распределение кольцевых напряжений в облицовке в кольцевом сечении оболочки при воздействии внутреннего давления, P=1 МПа

В процессе предварительного напряжения арматурных канатов в защитной оболочке также возникает неравномерность напряженного состояния. Основные факторы, вызывающие неравномерность усилий в канатах при обжатии оболочки следующие [Л. 2, 3]:

- действие сил трения между арматурными канатами и каналобразователями;

– различные величины потерь усилий при передаче нагрузки с домкрата на анкер.

Основными факторами, влияющими на величину потерь усилий в арматурном канате от трения, являются:

- предусмотренные проектом, радиусы кривизны, располагаемых в теле защитной оболочки, арматурных элементов;
- дополнительные радиусы кривизны, обусловленные отгибами арматурных канатов при обходе отверстий большого диаметра;
- неизбежное отклонение каналообразователей от заданной траектории кривизны, возникающее при сооружении защитных оболочек;
- характеристики арматурного элемента (шероховатость проволок, наличие коррозии);
- материал каналообразователей (металл, полиэтилен).

Характер распределения усилий по длине арматурного каната, действующий при загрузке защитной оболочки нагрузками от предварительного напряжения, представлен на рисунке 4.

При передаче нагрузки с домкрата на анкер наблюдаются значительные потери усилий в арматурных канатах, иногда сопоставимые с потерями усилий в канатах от трения. Результаты измерений, полученные при помощи датчиков силы НВ005 на 1-м энергоблоке Ростовской АЭС, показали, что в цилиндре оболочки потери усилий при анкерровке составили от 37 до 239 тонн (средняя величина потерь 182 тонны или 18.2 %), а в куполе – от 93 до 231 тонны (средняя величина потерь 164 тонны или 16.4 %).

На тематическом совещании о готовности к испытаниям системы СПЗО блока № 3 Калининской АЭС (протокол КЛНАЭС от 04.07.2003 г) было принято решение, выдать задание институту «Оргэнергострой» на корректировку технологии натяжения арматурных канатов по рекомендациям ИБРАЭ РАН. В работе [Л. 4] отмечалось, что к началу выполнения предварительного напряжения на втором энергоблоке Ростовской АЭС следует обратить особое внимание на эту проблему с тем, чтобы избежать значительных потерь усилий в канатах при их анкерровке.

Однако, исходя из результатов измерения, полученных по датчикам НВ005, при преднапряжении защитной оболочки энергоблока № 2 Ростовской АЭС эти рекомендации учтены не были.

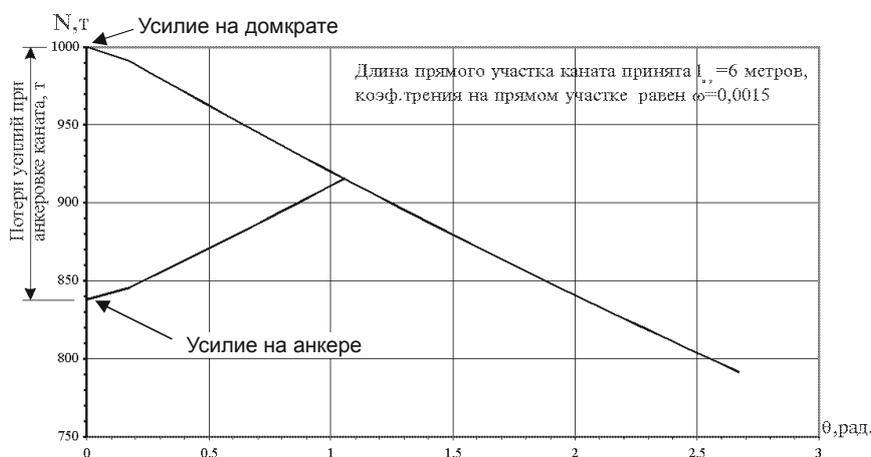


Рисунок 4— Изменение усилий по длине арматурного каната в цилиндре оболочки от кольца сопряжения до основания в зависимости от действия сил трения между канатом и каналообразователем с учетом потерь при анкерровке

Кроме того, при преднапряжении канатов не фиксируется их удлинение, поскольку используемый домкрат не оборудован средствами измерения перемещения канатов, а это позволило бы получить дополнительные возможности контроля усилий.

Следует отметить, что в мировой практике преднапряжения арматурных канатов применяется метод, когда на каждом этапе натяжения фиксируется приращение усилия, расчетное перемещение анкера и измеренное перемещение анкера. Такой подход использовался при преднапряжении арматурных канатов фирмы Freyssinet (Франция) на защитной оболочке энергоблока № 1 Калининской АЭС.

В качестве примера в таблице № 4 приведены данные по натяжению арматурного пучка СПЗО-М (с двумя датчиками контроля усилий на тяжном и глухом конце каната), установленного в каналобразователь № 104 цилиндрической части защитной оболочки энергоблока № 1 Калининской АЭС.

Следовательно, для получения полной информации о качестве работ по преднапряжению канатов необходимо выполнить модернизацию домкрата для получения возможности фиксировать усилия и перемещения арматурных канатов при их натяжении. При этом необходимо фиксировать, как минимум, два измерения: приращение усилия на каждом шаге натяжения и удлинение каната.

Таблица 4– Данные по натяжению арматурного пучка СПЗО-М

Этапы	Расчетные данные		Фактические данные		
	Давление, бар	Усилие, кН	Удлинение, мм.	Усилие на датчике силы, тс	
				Тяжной анкер (отм.+70.50м.)	Глухой анкер (отм.+9.30м.)
1	100	1965	152	163	138
2	200	3930	153	355	305
3	200	3930		355	305
4	300	5895	157	578	486
5	400	7860	145	749	643
6	458	9000	79	863	727
Итого удлинение			686	–	–
Значение после завершения натяжения армопучка (усадка цанг равна 6 мм)			680	756	727

Для контроля напряженно-деформированного состояния защитной оболочки в период строительства в тело сооружения установлена контрольно-измерительная аппаратура (КИА). Всего в защитной оболочке предусмотрена установка порядка 300 датчиков, в том числе: преобразователи силы арматурные струнные (ПСАС), предназначенные для измерения напряжений в стержневой арматуре; преобразователи линейных деформаций струнные (ПЛДС), предназначенные для измерения деформаций бетона; преобразователи температуры струнные (ПТС), предназначенные для измерения температуры бетона. Датчики КИА используются для обоснования эксплуатационной безопасности на протяжении всего жизненного цикла сооружения (период строительства, предпусковых испытаний, длительной эксплуатации, продления срока службы, вывода из эксплуатации).

Однако, из-за дефектов строительного периода в ряде случаев происходили отказы в работе датчиков КИА, установленных в тело защитной оболочки. В этом случае необходимо рассмотреть альтернативные средства оценки напряженно-

деформированного состояния защитной оболочки. Для этого следует оценить положительный опыт Ростовского государственного строительного университета по определению геометрических параметров купольной и цилиндрической частей защитной оболочки 1-го и 2-го энергоблоков Ростовской АЭС и разработанной в ИБРАЭ РАН экспертной системы оценки напряженного состояния для защитной оболочки 1-го энергоблока Ростовской АЭС. [Л. 5, 6]

Выводы

1. Как показывают приведенные примеры контроля качества строительно-монтажных работ, влияние технологических нарушений весьма значительно сказывается на характере напряженного состояния конструкции защитной оболочки.

2. Наблюдения за изменением физико-механических характеристик бетона во времени необходимо вести по каждому участку бетонирования, нанесенному на общую схему защитной оболочки. Эти данные могут использоваться на протяжении всего жизненного цикла сооружения (период строительства, предпусковых испытаний, длительной эксплуатации, продления срока службы, вывода из эксплуатации).

3. В ряде случаев потери усилий в арматурных канатах защитной оболочки при их анкеровке были недопустимо велики. Для получения полной информации о качестве работ по преднапряжению канатов необходимо выполнить модернизацию домкрата для возможности фиксировать усилия и перемещения арматурных канатов при преднапряжении.

4. Поскольку из-за дефектов строительного периода могут происходить нарушения работы датчиков КИА, установленных в тело защитной, необходимо рассмотреть альтернативные средства оценки напряженно-деформированного состояния защитной оболочки.

Литература

1. Ульянов А.Н., Гурьева Э.Я., Медведев В.Н. Экспериментальные и расчетные обоснования методических рекомендаций, алгоритмов и программ по учету технологических и конструктивных неоднородностей при диагностике напряженно-деформированного состояния защитных оболочек АЭС для периодов их возведения, испытаний и эксплуатации. Институт Оргэнергострой. М., 1990, 92 с.

2. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. /Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 79 с.

3. Труды ИБРАЭ РАН. Механика преднапряженных защитных оболочек АЭС. Издательство «Наука», 2008, 151с.

4. Медведев В.Н., Ульянов А.Н., Стрижов В.Ф., Киселев А.С., Киселев А.С. К вопросу обеспечения качества сооружения защитной оболочки 2-го энергоблока Волгодонской АЭС. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. – Прил. № 16 – С. 125–132.

5. Медведев В.Н., Ульянов А.Н., Киселев Александр С., Киселев Алексей С., Стрижов В.Ф., Баюклин В.Ф. Разработка экспертной системы оценки напряженного состояния для защитной оболочки 1-го энергоблока Волгодонской АЭС. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – Спецвыпуск – С. 107–112.

6. Медведев В.Н., Ульянов А.Н., Киселев А.С., Стрижов В.Ф., Киселев И.А., Баюклин В.Ф. Модернизация экспертной системы оценки напряженного состояния

защитной оболочки 1-го энергоблока Волгодонской АЭС. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. – Спецвыпуск – С. 90–95.

Медведев Виктор Николаевич – Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН), Москва, заведующий лабораторией, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

E-mail: cont@ibrae.ac.ru

Ульянов Алексей Николаевич – Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН), Москва, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук. E-mail: cont@ibrae.ac.ru

Киселев Александр Сергеевич – Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН), Москва, старший научный сотрудник, доктор технических наук, E-mail: kis-rncki@rambler.ru

Киселев Алексей Сергеевич – Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН), Москва, старший научный сотрудник, доктор технических наук. E-mail: kis-rncki@rambler.ru

Стризов Валерий Федорович – Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН), Москва, директор отделения, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник.

E-mail: vfs@ibrae.ac.ru

MEDVEDEV Viktor N. – Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE RAS), Moscow, head of laboratory, PhD in engineering sciences, senior staff scientist. E-mail: cont@ibrae.ac.ru

ULIANOV Alexey N. – Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE RAS), Moscow, leading research officer, PhD in engineering sciences.

E-mail: cont@ibrae.ac.ru

KISELEV Alexander S. – Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE RAS), Moscow, senior staff scientist, Full Doctor of technical sciences.

E-mail: kis-rncki@rambler.ru

KISELEV Alexey S. – Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE RAS), Moscow, senior staff scientist, Full Doctor of technical sciences.

E-mail: kis-rncki@rambler.ru

STRIZHOV Valery F. – Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE RAS), Moscow, Head of division, Full Doctor in physics & mathematics, senior staff scientist. E-mail: vfs@ibrae.ac.ru

УДК 621.18.021

**К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ РЕСУРСА И НАДЕЖНОСТИ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ВВОДИМОГО В
ЭКСПЛУАТАЦИЮ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО
ХРАНЕНИЯ И КОНСЕРВАЦИИ**

В.К. Семенов, В.С. Щербнев, В.П. Дерий, Д.С. Румянцев, В.Ф. Степанов

<i>Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина</i>	<i>Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin</i>
--------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------

Эксплуатация оборудования, введенного после длительной консервации, требует четкого отслеживания его состояния в течение всего срока эксплуатации. В работе предлагаются математические модели и программа электронного паспорта индивидуального прогноза различных единиц оборудования.

Ключевые слова: эксплуатация после длительной консервации, математические модели прогноза ресурса и надежности.

The Usage of the equipment, incorporated after long preservation, requires clear tracing of his(its) condition for the whole period of the usages. Mathematical models and program of the electronic passport of the individual forecast of the different units of the equipment are offered In functioning.

Keywords: the usage after long preservation, mathematical models of the forecast of the resource and reliability

Ввод в эксплуатацию второго блока Ростовской АЭС ставит ряд новых задач по прогнозированию ресурса оборудования. Старение теплоэнергетического оборудования, введенного в эксплуатацию после длительного хранения, определяется, как числом явных дефектов, накопившихся в оборудовании при его хранении, так и числом скрытых дефектов, кумулятивное действие которых проявится во время эксплуатации. Поскольку в настоящее время отсутствуют статистические данные по обследованию накопленных дефектов в оборудовании, введенном в эксплуатацию после длительной консервации, то построить функцию прогноза состояния того или иного аппарата на основе аппроксимации экспериментальной зависимости числа накопленных дефектов от времени подходящей аналитической зависимостью не представляется возможным. В основу прогноза должен быть положен закон роста дефектов. Функция прогноза должна определяться на основе этого закона и верифицироваться результатами обследования объекта наблюдений. При таком подходе даже знание только нескольких точек в кривой зависимости числа накопленных дефектов от времени уже позволит построить функцию прогноза состояния объекта на более поздние моменты времени. На основе принятой математической модели и данных мониторинга объекта необходимо разработать программу электронного паспорта прогноза состояния объекта. Полученная таким способом, функция прогноза должна в режиме реального времени оперативно обновляться и верифицироваться на основе, вновь поступающей, информации об

объекте. При такой организации прогноза оператор, управляющий объектом, будет надежно отслеживать его состояние.

Первым шагом в реализации сформулированной программы является разработка адекватной физико-математической модели роста дефектов в оборудовании. В соответствии с поставленной задачей все дефекты, возникающие в оборудовании разделим на крупные и мелкие. Крупные (внезапные) повреждения оборудования являются событиями чрезвычайно редкими и плохо предсказуемыми. Накопление мелких дефектов определяет процесс старения оборудования и, стало быть, его ресурс. Задача прогноза ресурса оборудования, обусловленного его старением, должна заключаться в определении времени достижения числом дефектов некоторого критического значения, превышение которого может привести к катастрофическим последствиям. До наступления названного момента времени устройство должно либо сниматься с эксплуатации, либо подвергаться капитальному ремонту.

Старение оборудования определяется целым комплексом внешних условий (тепловым и динамическим режимом работы аппарата, наличием внешних механических воздействий, коррозией и пр.), многие из которых являются неконтролируемыми. В сложившейся ситуации на процесс старения следует смотреть, как на стохастический, и исходить из вероятностных представлений.

Вначале сформулируем некое модельное дифференциальное уравнение, носящее универсальный характер и грубо отражающее главные черты роста, различных по своей физической природе, дефектов в оборудовании на детерминированном уровне описания, а затем перейдем к вероятностным представлениям. Целая группа явлений (рост трещин, нарастание амплитуды вибраций, рост коррозионных отложений на трубчатке теплообменных аппаратов, выход из строя теплообменных трубок с последующим их глушением и пр.) обладает одним общим свойством – свойством насыщения, т.е. число таких дефектов не может превысить некий физический предел. Например, число заглушенных трубок парогенератора не может быть больше полного числа трубок, длина трещины не может быть больше некоторого геометрического размера аппарата, амплитуда вибраций не может превзойти некий предел, обусловленный потерей устойчивого состояния объектом и т.д. Второй характерной особенностью вышеперечисленных дефектов является их зависимость от динамического режима работы оборудования и его старения. Обе особенности роста различных дефектов можно учесть, определив скорость их роста следующим модельным уравнением

$$\frac{dN}{dt} = \lambda(t) \left(1 - \frac{N}{N_p}\right)^m \quad (1)$$

где N – количественная характеристика дефектов (число заглушенных трубок, длина трещины, амплитуда вибраций, количество коррозионных отложений на трубчатке и пр.);

N_p – предельное число дефектов.

Коэффициент $\lambda(t)$, учитывающий старение аппарата, может быть представлен в виде ряда:

$$\lambda(t) = \alpha + \beta t + \gamma t^2 + \dots$$

Коэффициенты α , β , γ и m должны определяться на основе регрессионного анализа экспериментальных данных, полученных при отслеживании состояния объекта. Сформулированный таким образом динамический закон роста дефектов оборудования является весьма гибким, поскольку позволяет описать весьма широкий класс функций прогноза на детерминированном уровне, и достаточно широко апробирован нами на практике. [1–3]

При описании роста дефектов на вероятностном уровне состояние системы будем характеризовать вероятностью $P(N,t,N_0,t_0)$ того, что система, имевшая в момент времени N_0 дефектов, к моменту t будет иметь N дефектов. Введем предположение, что рассматриваемый нами стохастический процесс является марковским. Это означает, что вероятность перехода системы из одного состояния (начального) в другое состояние (конечное) зависит только от начального состояния и не зависит от их состояний, которые предшествовали начальному. Последнее предположение является весьма общим и, хотя вначале не может быть доказано, получает обоснование в дальнейшем. Так ниже будет показано, что уравнение (1), описывающее кинетику накопления дефектов на детерминированном уровне, является по существу следствием сделанного допущения. Поскольку в наших задачах переменная N может быть как дискретной, так и непрерывной, то рассмотрим каждый из этих случаев отдельно.

Можно показать, что при дискретном N и непрерывном t эволюция $P(N,t,N_0,t_0)$ подчиняется уравнению Колмогорова, которое в случае накопления единичных дефектов имеет вид [2]:

$$\frac{\partial}{\partial t} P(N,t) = P(N-1,t)Q(N-1,t) - P(N,t)Q(N,t).$$

где $Q(N,t)dt$ – вероятность появления одного повреждения за время dt .

Эта вероятность определяет средний поток повреждений в системе. Для краткости записи аргументы N_0 и t_0 опущены. Заметим, что при $N=N_0$ правая часть уравнения не должна содержать первого слагаемого. Для практики достаточно знать, как ведут себя средние числа повреждений и дисперсия распределения. Для знания этих величин не требуется определения явного вида функции распределения. Методом моментов нами получены уравнения для среднего числа дефектов и дисперсии распределения [1, 2]:

$$\frac{d \langle N \rangle}{dt} = Q(\langle N \rangle), \quad (2)$$

$$\frac{d\Delta}{dt} = 2 \left(\frac{dQ}{dN} \right)_{N=\langle N \rangle} \cdot \Delta + Q(\langle N \rangle, t). \quad (3)$$

Полученные уравнения справедливы при условии $\frac{\Delta}{\langle N \rangle^2} \ll 1$. Заметим, что на детерминированном уровне описания именно уравнение (2) должно лежать в основе всех теорий накопления числа повреждений в системе. В случае линейной зависимости $Q(N)$ это уравнение становится точным. Если в зависимости $Q(N,t)$ переменные N и t разделяются, то вместо времени t можно ввести новую переменную $\langle N \rangle$, разделив уравнение (3) на уравнение (2):

$$\frac{d\langle N \rangle}{d\langle N \rangle} = 2\Delta \frac{d}{d\langle N \rangle} [\ln Q(\langle N \rangle)] + 1. \quad (4)$$

Полученное уравнение является линейным и интегрируется в квадратурах:

$$\Delta = \frac{Q^2(\langle N \rangle)}{Q^2(\langle N_0 \rangle)} \left[\Delta_0 + Q^2(\langle N_0 \rangle) \int_{\langle N_0 \rangle}^{\langle N \rangle} \frac{dN}{Q^2(N)} \right].$$

Изложенная теория допускает обобщение на случай, когда поток дефектов идет пачками. Опуская вычисления, приведем конечный результат:

$$\begin{aligned} \frac{d\langle N \rangle}{dt} &= \sum_1^{\infty} mQ_m(\langle N \rangle, t), \\ \frac{d\Delta}{d\langle N \rangle} &= 2\Delta \frac{d}{d\langle N \rangle} \left[\ln \sum_1^{\infty} mQ_m(\langle N \rangle) \right] + \frac{\sum_1^{\infty} m^2 Q_m(\langle N \rangle)}{\sum_1^{\infty} mQ_m(\langle N \rangle)}. \end{aligned} \quad (5)$$

Аналогично (4), уравнение (5) тоже легко интегрируется:

$$\Delta = \frac{\left[\sum_1^{\infty} mQ_m(\langle N \rangle) \right]^2}{\left[\sum_1^{\infty} mQ_m(\langle N_0 \rangle) \right]^2} \left[\Delta_0 + \left[\sum_1^{\infty} mQ_m(\langle N_0 \rangle) \right]^2 \int_{\langle N_0 \rangle}^{\langle N \rangle} \frac{\sum_1^{\infty} m^2 Q_m dN}{\left(\sum_1^{\infty} mQ_m \right)^3} \right].$$

При непрерывных переменных N и t процесс описывается уравнением Фоккера-Планка для плотности вероятностей $\rho(N,t)$, т.е. $\rho(N,t)dN$ – представляет собой вероятность того, что данная система имеет N дефектов, лежащих в интервале от N до $N+dN$

$$\frac{\partial \rho(N,t)}{\partial t} = -\frac{q}{\partial N} [A(N)\rho(N,t)] + \frac{\partial^2}{\partial N^2} [B(N)\rho(N,t)],$$

где

$$A(N) = \int_0^{\infty} q\omega(N,q)dq, \quad B(N) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} q^2\omega(N,q)dq.$$

Кинетические коэффициенты $A(N)$ и $B(N)$ соответственно представляют собой среднее и среднеквадратичное изменение числа дефектов за единицу времени. Здесь $\omega(N,q)dq$ – вероятность изменения числа дефектов за единицу времени от величины N до $N+q$, а q – число элементарных дефектов, возникающих в системе. Уравнения для среднего числа дефектов и дисперсии распределения соответственно принимают вид:

$$\frac{d\langle N \rangle}{dt} \approx A(\langle N \rangle),$$

$$\frac{d\Delta}{d\langle N \rangle} = \Delta \frac{d\Delta}{d\langle N \rangle} \left[\ln A^2(\langle N \rangle) \right] + 2 \frac{B(\langle N \rangle)}{A(\langle N \rangle)},$$

$$\Delta = \frac{A^2(\langle N \rangle)}{A^2(\langle N_0 \rangle)} \left[\Delta_0 + 2A^2(\langle N_0 \rangle) \int_{\langle N_0 \rangle}^{\langle N \rangle} \frac{B(\langle N \rangle)}{A^3(\langle N \rangle)} d\langle N \rangle \right].$$

Таким образом, изложенная математическая модель позволяет прогнозировать с точностью до флуктуаций рост дефектов в оборудовании в процессе эксплуатации.

В качестве примера приведем прогноз радиальных вибраций ТНПБ подшипника турбины гидроагрегата №2 СШГЭС на основе опубликованных в литературе данных. [4] Результаты прогноза амплитуды вибраций представлены на рисунке 1. Сплошная кривая построена по шести имеющимся экспериментальным точкам, тогда как пунктирная кривая построена только по первым четырем экспериментальным точкам. Из сравнения кривых видно, что они практически совпадают. Совпадение этих кривых верифицирует функцию прогноза. Несмотря на скудность, имевшейся в нашем распоряжении, информации, заложенная в процессе, тенденция успела себя проявить уже на первых четырех точках. Это является подтверждением того, что полуэмпирическое уравнение (1) весьма удовлетворительно отражает главные черты анализируемого процесса и подтверждает, высказанную специалистами, точку зрения о том, что катастрофу можно было спрогнозировать.

Литература

1. Семенов В.К., Щербнев В.С., Степанов В.Ф., Дерий В.П. К вопросу прогнозирования ресурса теплоэнергетического оборудования тепловых и атомных электрических станций // Вестник ИГЭУ. – Иваново. 2007. №2.
2. Семенов В.К., Щербнев В.С., Дерий В.П. К вопросу прогнозирования надежности и ресурса трубчатки АЭС с ВВЭР // Изв. вузов «Ядерная энергетика» 2007г. №2.
3. Семенов В.К., Щербнев В.С., Степанов В.Ф., Дерий В.П. Прогнозирование отложения продуктов коррозии на теплообменных поверхностях парогенераторов АЭС с ВВЭР // Материалы международной научно-технической конференции «XIV Бенардосовские чтения», Иваново 2007 г.
4. Акт технического расследования причин аварии, произошедшей 17 августа 2009 года на СШГЭС.

Семенов Владимир Константинович – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры АЭС ИГЭУ (ИГЭУ – Ивановский Государственный Энергетический Университет). E-mail: npp@aes.ispu.ru

Щербнев Владимир Сергеевич – профессор, кандидат технических наук, заведующий кафедрой АЭС ИГЭУ (ИГЭУ – Ивановский Государственный Энергетический Университет). E-mail: wvs@aes.ispu.ru

Дерий Владимир Петрович – кандидат технических наук, Второй главный инженер Атомэнерго Московская обл., г. Мытищи.

Степанов Владимир Фёдорович – начальник отдела кафедры АЭС ИГЭУ (ИГЭУ – Ивановский Государственный Энергетический Университет). E-mail: step@aes.ispu.ru

Румянцев Дмитрий Сергеевич – инженер, Калининская АЭС.



Semenov Vladimir K. – professor, doctor of the technical sciences, professor of the pulpit AES IGEU (IGEU – Ivanovskiy State Energy University). E-mail: npp@aes.ispu.ru

Schebnev Vladimir S. – professor, candidate of the technical sciences, managing pulpit AES IGEU (IGEU – Ivanovskiy State Energy University). E-mail: wvs@aes.ispu.ru

Deriy Vladimir P. – candidate of the technical sciences, the second chief engineer of Atomtechenergo, Moscow obl., Mytishi.

Stepanov Vladimir F. – chief of the department pulpits AES IGEU (IGEU – Ivanovskiy State Energy University). E-mail: step@aes.ispu.ru

Rumyancev Dmitriy S. – engineer, Kalininskaya AES.

УДК 623.45

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ НЕРЕГЛАМЕНТИРОВАННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВЗРЫВООПАСНЫЙ ОБЪЕКТ

О.А. Губеладзе

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

Рассматривается математическая модель детонации заряда в корпусе взрывоопасного объекта. Определена скорость метания элементов конструкции корпуса с учетом активной доли заряда.

Ключевые слова: детонация, продукты детонации, скорость метания.

The mathematical model of a detonation of a charge in the case of explosive object is considered. Speed of a throwing of elements of a design of the case taking into account a share of an active share of a charge is defined.

Keywords: detonation, detonation products, speed of a throwing.

Анализ возможных аварийных ситуаций (АС) при нерегламентированных воздействиях (НРВ) показал, что наиболее опасным для окружающих объектов, является ударное воздействие, создаваемое действием продуктов детонации и разгоняемыми элементами конструкции транспортно-упаковочного комплекта (ТУК) с взрывчатым веществом (ВВ). При взрыве ВВ энергия распределится по поверхности оболочки. Масса той части заряда, которая передает энергию тому или иному элементу конструкции (днище, цилиндрическая оболочка и т.д.), называется активной массой $m_{акт}$. Для каждого элемента она будет иметь своё определенное значение. Будем считать детонацию заряда мгновенной ($D \rightarrow \infty$). Это значит, что ВВ мгновенно сдетонировало и перешло в газообразное состояние. Давление в этом объеме при допущении, что плотность продуктов детонации равна плотности ВВ, определяется:

$$P_m = 0,125 D^2 \rho .$$

Газообразный продукт, расширяясь, действует на элементы конструкции ТУК (рис.1). Для мгновенной детонации активные массы определяются:

- для цилиндрической оболочки:

$$m_{акт}^{об} = \frac{2\pi}{3} \left[R_0^2 \left(\frac{3H}{2} - H_{ко} \right) - r^2 \left(\frac{3h_0}{2} - h_{ко} \right) \right] \rho ;$$

- для днища:

$$m_{акт} = \frac{\pi}{3} (R_0^2 H_{ко} - r_0^2 h_{ко}) \rho_0 ;$$

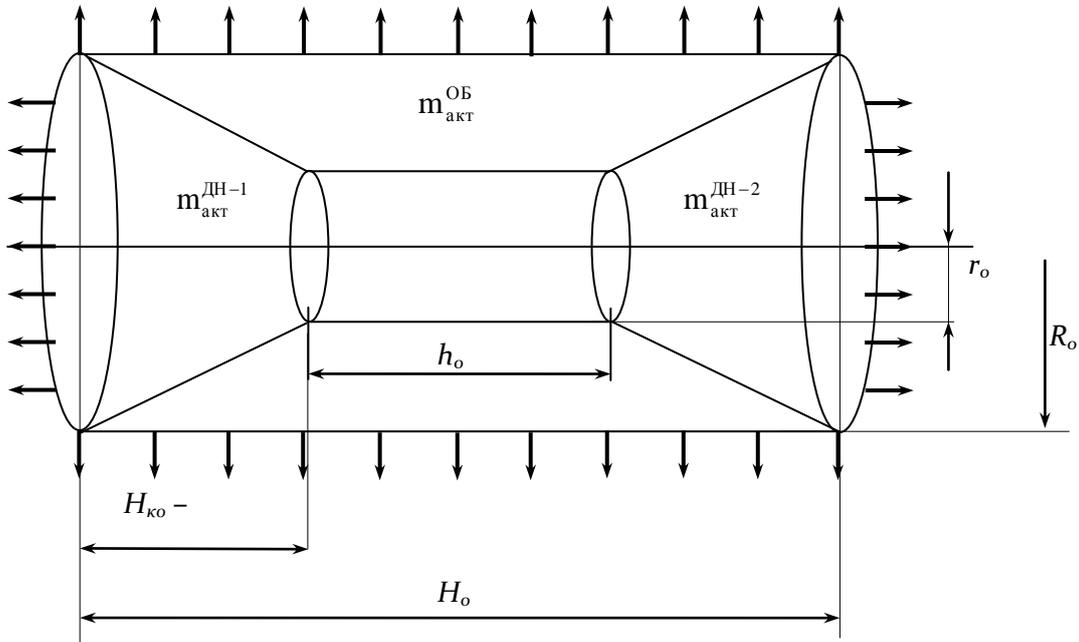


Рисунок 1 – Распределение объемов продуктов детонации

Энергия продуктов детонации состоит из энергии деформации и разрушения элементов объекта E_p , кинетической энергии E_k , потенциальной энергии продуктов детонации E_n и передаваемая окружающей среде энергия $E_{сред}$. Полное уравнение энергии продуктов детонации будет иметь вид:

$$\begin{aligned} & \frac{m_k U^2}{2} + \frac{m_3 U^2}{5} + \frac{m_3 P}{\rho(k-1)} + \frac{M_k^{об}}{\rho_m^{об}} A_{раз} + \frac{2M_k^{дн}}{\rho_m^{дн}} A_{раз} + \\ & + \frac{\rho_{возд} \pi R_0^2 H U^2 (k+1)}{2} \left[\left(\frac{R}{R_0} \right)^2 - 1 \right] + \frac{\rho_{возд} \pi R_0 S_0 U^2 (k+1)}{2} \left[\frac{R}{R_0} - 1 \right] = m_3 Q, \end{aligned} \quad (1)$$

где m_k – масса конструкции ТУК;

U – максимальная скорость оболочки;

m_3 – масса заряда;

P – давление в момент полного разгона оболочки;

ρ – плотность в момент полного разгона оболочки;

$k = \frac{C_p}{C_v}$ показатель изоэнтропы (адиабаты Пуассона);

$M_k^{об}$ – масса конструкции днища;

$\rho_m^{об}$ – плотность материала оболочки;

$M_k^{дн}$ – масса цилиндрической оболочки;

$\rho_m^{дн}$ – плотность материала днища;

$A_{раз}$ – энергия разрушения единицы объема материала;

$\rho_{возд}$ – плотность воздуха;

R – внешний радиус оболочки на момент полного разгона;

R_0 – начальный внешний радиус оболочки;

Q – теплота взрывного разложения.

Анализ расчетов, представленных в работе [1], показал, что величинами E_p и $E_{сред}$

можно пренебречь, так как для данного случая их общий вклад составляет менее 4% $m_3 Q$. Тогда уравнение (1) будет иметь вид:

$$\frac{m_k U^2}{2} + \frac{m_3 U^2}{5} + \frac{m_3 P}{\rho(k-1)} = m_3 Q.$$

Скорость метания конструкции равна:

$$U = \sqrt{\left[Q - \frac{P}{\rho(k-1)} \right] \frac{\beta}{\frac{1}{2} + \frac{\beta}{5}}},$$

где $\beta = \frac{m_3}{m_k}$.

С учетом $Q - E_n \approx D^2/16$ [1], получим:

$$U = \sqrt{\left[Q - \frac{Q - D^2/16}{m_3} \right] \frac{\beta}{\frac{1}{2} + \frac{\beta}{5}}}. \quad (2)$$

Поражающая способность осколка определяется его удельной кинетической энергией. Вблизи ТУК:

$$W_{\text{кин}} = \frac{m_{\text{оск}} U^2}{2S_{\text{оск}}},$$

где $S_{\text{оск}} \approx 7,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ - площадь ортогональной проекции осколка любой формы.

Средняя масса осколка определяется по формуле:

$$m_{\text{ср}} = \frac{m_k}{N},$$

где N – число осколков конструкции.

Литература

1. Орленко Л.П. Физика взрыва и удара. М., ФИЗМАТЛИТ, 2008. 304с.

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

Gubeladze Oleg Avtondilovich - he deputy chief of chair №12, Rostov Military Institute of Rocket Troops. E-mail: sahabudinov@mail.ru

УДК 621.791.75

РАЗРАБОТКА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДНОСТОРОННЕЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Ю.В. Доронин

<i>НПО «Цниитмаи», ООО «ЭКСПЕРТЦЕНТР»</i>	<i>Scientific production association «Cniitmash», Joint Stock Company «Expertcentre»</i>
-----------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------

При односторонней сварке стыковых швов конструкций из сталей плавящимся электродом основной проблемой является качество формирования обратной стороны шва при использовании различного рода формирующих устройств.

Были разработаны составы и конструкции расплавляемых керамических подкладок, обеспечивающих высокое качество обратного валика шва.

Исследованы физико-химические свойства – вязкость и поверхностное натяжение шлаковых систем подкладок, которые показали существенное отличие данных свойств по сравнению со стандартными сварочными флюсами.

Ключевые слова: шлаковая система, формирование шва, обратный валик, подкладка, вязкость, поверхностное натяжение

The main problem of onside welding construction steel by melt electrodes is quantity outside weld with use backup tape.

Designing chemical compositions and construction of backup tape providing normal form outside welding bead.

Investigate physic-chemical properties slag systems outside tape is viscosity and surface tension, which distinction from usual welding fluxes.

Keywords: slag systems, formation bead, outside bead, backup tape, viscosity, surface tension.

В существующей практике подбора формирующих слоев подкладных устройств, а также составов обмазки электродов, шихты порошковой проволоки и флюсов для формирования корня шва, разработчик преследует вполне конкретные цели, исходя из требований нормативной документации и правил промышленной безопасности. [1,2] Например:

- удержание металла сварочной ванны от протекания;
- формирование усиления с обратной стороны шва;
- формирование обратного валика конкретной формы;
- формирование обратного валика без дефектов, равномерного по высоте, ширине, и плавным углом перехода к основному металлу;
- формирование обратного валика шва без дефектов формирования, внутренних дефектов (пор, раковин, шлаковых включений), наружных дефектов, с удовлетворительной кристаллической структурой, механическими свойствами, гарантирующими надежность конструкции при низких и высоких температурах;
- использование формирующих слоев для управления процессом формирования, микролегирования, металлургического и физико-химического воздействия на металл

корня шва;

– использование формирующих слоев, как элементов теплопереноса, теплоотвода с целью предотвращения крупнозернистых, закалочных и хрупких структур в корне шва.

Анализ проведенных исследований показал, что оптимальную форму обратного валика одностороннего шва обеспечивает шлаковый расплав, состоящий из комплекса, участвующих в сварочном процессе, материалов – обмазки, шихты порошковой проволоки, флюса, расплава подкладки. Однако, для оптимизации формы шва, необходимо было разработать универсальную шлаковую систему подкладного устройства, которая бы удовлетворяла всем способам дуговой сварки, обеспечивая необходимые размеры обратного валика шва.

В практике не всегда предоставляется возможность изготовления подкладки с гарантированными свойствами из существующих материалов электродных и флюсовых производств. Поэтому, зная требуемые свойства сварного соединения и необходимые размеры обратного валика шва, можно путем методов математической статистики получить ожидаемый состав формирующего слоя, не проводя значительного количества экспериментов. Предполагается, что оптимальная форма шва может получиться только на базе расплавляемой шлаковой ванны, по образу и подобию наиболее распространенного способа односторонней дуговой сварки – сварки на флюсомедной подкладке.

В составе подкладки, как и в любом сварочном материале, должен быть набор из шлакообразующих, газообразующих компонентов, солей металлов, металлических порошков, ферросплавов и других составляющих сварочных материалов. Анализируя многочисленные составы подкладок по патентным данным зарубежных и отечественных исследователей, мы обнаружили, что почти в 90% составов формирующих слоев используется железный порошок, кремнезем, (SiO_2) глинозем, (Al_2O_3) окиси кальция, магния, бора, натрия, ферросплавы титана, кремния, марганца, плавиковый шпат (CaF_2) . Однако, выбор соотношений тех или иных компонентов варьируется от 10 до 90 % и параметр оптимизации – высокое качество формы шва не регламентируется количественными критериями. Каждый из указанных химических соединений положительно влияет на формообразование при односторонней сварке. Окислы магния и кальция повышают вязкость и поверхностное натяжение шлаковых систем. Окислы кремния и титана – типичные шлакообразующие окислы, широко применяемые в электродном и флюсовом производстве, а также при производстве порошковой проволоки. Окись алюминия – тугоплавкий шлакообразующий окисел с температурой плавления более 2000°C . Шпат плавиковый (CaF_2) , легкоплавкий шлакообразующий минерал, обладающий хорошими формирующими свойствами. Ферросплавы $(\text{FeSi}, \text{FeTi})$ необходимы для раскисления сварочной ванны в случае металлургического взаимодействия шлака расплава в корне шва и металла сварочной ванны. Железный порошок способствует улучшению формирования обратной стороны шва, теплоотводу, выделяемого в процессе плавления металла, тепла, улучшает прочностные характеристики металла шва. Критерием оценки на данном этапе была форма обратной стороны шва, а параметром оптимизации – стабильность размеров высоты и ширины обратной стороны шва. На первом этапе, с целью выявления наиболее значимых компонентов, определяющих качество обратного валика шва, был применен метод случайного баланса. В этом случае из ряда компонентов можно выбрать материалы, которые могут служить основой для создания химической формулы формирующего расплава. Выходным параметром является качество обратного валика. Качество обратного валика можно оценивать методами

качественной и количественной оценки. Метод случайного баланса – это метод качественной оценки. По этой методике выбирается ряд экспертов, которые независимо друг от друга выставляют оценки по 5-бальной шкале, визуально оценивая форму шва. Эксперты качественно оценивают равномерность высоты и ширины обратной стороны шва, плавность перехода к основному металлу, отделимость шлаковой корки, чистоту поверхности шва, наличие или отсутствие подрезов.

По методикам количественной оценки качество обратной стороны шва оценивается количественно. Выполняются замеры ширины и высоты обратной стороны шва, рассчитывается отклонение от средней величины, осуществляется замер угла перехода от выпуклости валика к основному металлу, глубина подреза, наличие наружных пор или каналов (шевронная пористость).

Эксперименты показали хорошую сходимость оценок параметра оптимизации со значением оценок в мысленных опытах. Планирование эксперимента по методам случайного баланса и Бокса-Уилсона позволило определить оптимальный, с точки зрения формирования обратного валика шва, состав шихты для изготовления формирующих устройств, используемых при односторонней сварке сталей.

Таким образом, оптимальный состав шихты выглядит следующим образом (весовые проценты):

- TiO_2 (рутил) – 40 %,
- SiO_2 (кремнезем) – 18,5 %,
- CaF_2 (плавиковый шпат) – 25 %,
- FeSi – 15%,
- Al_2O_3 – 1,5 % ,

Для создания формирующего устройства необходимой формы и жесткости или гибкости шихту необходимо превратить в керамическую плитку или гибкую полосу (для криволинейных стыковых соединений). На первом этапе керамическая плитка представляется наиболее приемлемой. Расплавляемая форма подкладки должна быть с гладкой и ровной поверхностью достаточной прочности, жесткости и влагостойкости. В качестве необходимого связующего использовались калий – натриевое и натрий – калиевое жидкое стекло, алюмофосфатные и магнийфосфатные связки, связки на основе оксинитратов и оксихлоридов алюминия и циркония, связки на основе гетерополисоединений, неорганических смол.

Органические связующие – фенолформальдегидные, мочевиноформальдегидные смолы, бакелитовые лаки, ацетатные и поливинилацетатные смолы разделяются на две основные подгруппы: термопластичные и терморезистивные смолы. Основное преимущество неорганических связующих веществ в их хороших гигиенических свойствах, при разложении под действием температуры они не выделяют, вредных для окружающей среды, газообразных продуктов. Однако, существенным недостатком неорганических связок является вспучивание и деформация поверхностей под действием температуры, в частности, при использовании жидкостекольных смесей, наиболее распространенных при изготовлении сварочных электродов. Недостатком жидкостекольных смесей является их низкая живучесть, что особенно сказывается при изготовлении подкладных устройств, где по технологии после опрессовки подкладка вынимается из штампа для дальнейшей термообработки (просушки и прокалики). После прокалики подкладка деформируется. При длине 400мм, стрела прогиба составляет 5мм, что крайне неблагоприятно влияет на плотность поджатия подкладки к обратной стороне шва.

Органические связующие материалы лишены недостатков присущим неорганическим связкам. Они обладают хорошими связующими свойствами, смеси с их

использованием технологичны в изготовлении, обладают высокой живучестью, пластичностью и прочностью в вязком состоянии. Наилучшими показателями этой группы обладают водные, 10, 20, 30 % растворы поливинилового спирта (ПВС), которые по своим гигиеническим свойствам обладают существенным преимуществом перед другими органическими связующими.

При сварке плавящимся электродом качество формы обратной стороны шва одностороннего сварного соединения определяется важнейшими процессами, протекающими в тот момент, когда металл сварочной ванны и шлак расплавляемой формирующей изложницы взаимодействуют друг с другом. Чтобы иметь достаточно точные представления о сущности этих процессов и уметь воздействовать на них, необходимо располагать данными о физических, химических и физико-химических свойствах взаимодействующих фаз.

Исследования поверхностных свойств шлаков сводится в физической химии к экспериментальному и расчетному определению поверхностного и межфазного натяжения, смачиванию взаимодействующих поверхностей, определению адгезионных и когезионных свойств металлических и шлаковых расплавов. Из всех методик наименьшую погрешность окончательного результата дают методика графического измерения лежащей капли Попеля С.И. и методика максимального давления в газовом пузырьке.

Установка для измерения поверхностного натяжения шлаковых систем методом максимального давления в газовом пузырьке состоит из высокотемпературной печи Таммана и измерительной части (рис. 1). Нагреватель печи выполнен из электродного графита цилиндрической формы (2). В качестве рабочих тиглей использовались тигли из графита (3). Выбор графита обусловлен большой химической активностью шлаков по отношению к алунду, молибдену и платине, что приводит к разрушению тигля, а также необходимостью стабильного поддержания температуры в зоне нагрева.

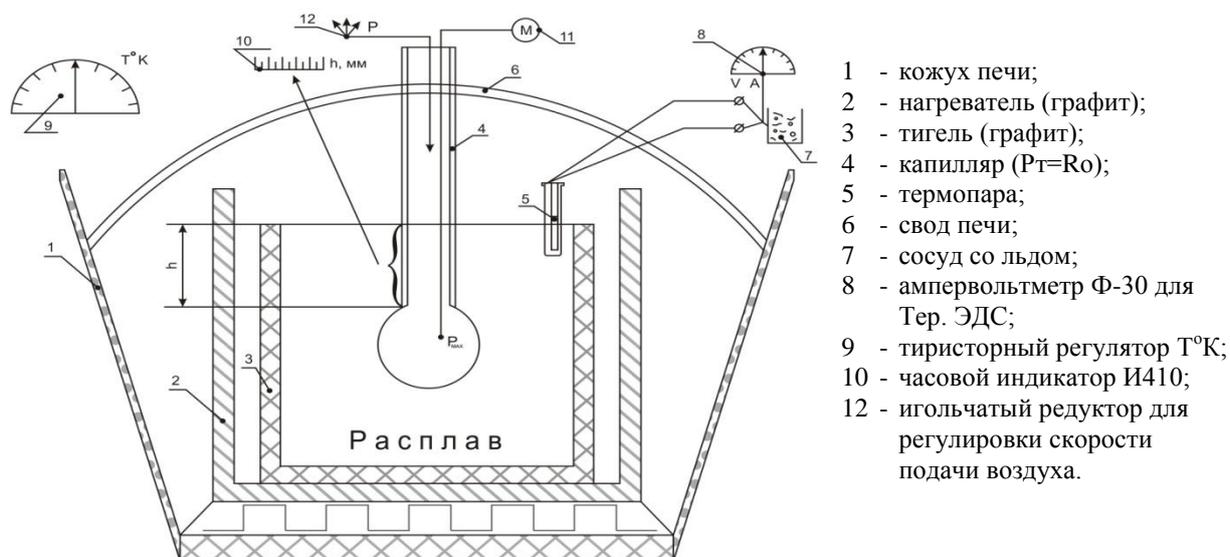


Рисунок 1 – Методика измерения поверхностного натяжения методом максимального давления в газовом пузырьке в печи Таммана

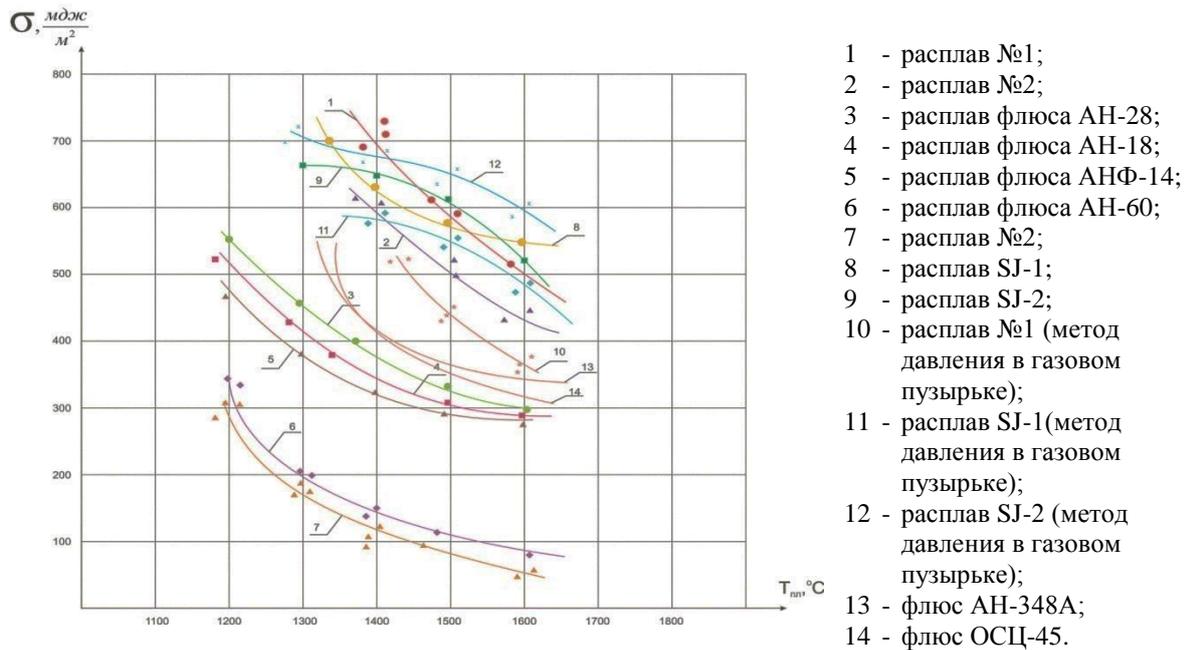
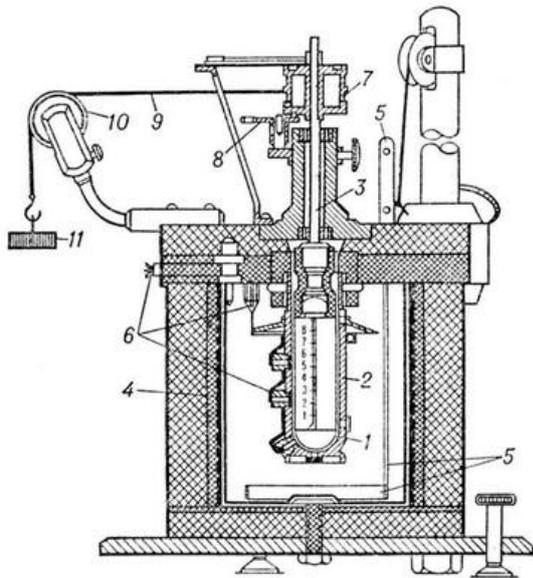


Рисунок 2 – Поверхностное натяжение экспериментальных шлаковых расплавов и сварочных флюсов

Аналогично поверхностным свойствам, вязкость шлакового расплава, как было показано ранее, оказывает не менее важное влияние на форму обратного валика при односторонней сварке и возникновение дефектов корня шва.

Расчетное определение вязкости пограничного слоя показало, что для предотвращения захвата шлаковых частиц движущимся пограничным слоем металла сварочной ванны и стабилизации формы обратного валика по высоте, необходимо иметь вязкость пограничного слоя шлакового расплава в диапазоне 2...5 Па·с. При использовании в качестве формирующих обратную сторону шва флюсов стандартных шлаковых систем, их вязкость на границе металл-шлак при температуре взаимодействия 1500...1650 °С составляет в большинстве случаев 0,1...0,4 Па·с. [1] Аналогичные сведения характерны и в исследованиях Якобашвили С.Б., Подгаецкого В.В. Таким образом, становится ясно, что, используемые в качестве формирующих обратную сторону шва при односторонней сварке, сварочные флюсы АН-348А, ОЦ-45М, АН-60, по одной из важнейших физических характеристик в расплавленном состоянии, не обеспечивают в пограничном слое необходимых условий для устранения и предотвращения дефектов формы шва.

Для подтверждения модельных представлений о причинах возникновения дефектов и путях их устранения были проведены исследования динамической вязкости экспериментальных шлаковых систем и шлаковых расплавов системы SJ(США). Эксперименты проводились в Государственном институте стекла (ГИСе), на ротационном вискозиметре, в динамическом температурном режиме (1500...1760°С). Измерения проводились в корундовом тигле, с помощью молибденового стержня-датчика, в печи с графитовым нагревателем в среде азота (рис. 3). Ошибка измерения составляла не более $\pm 0,008 \lg \eta$.

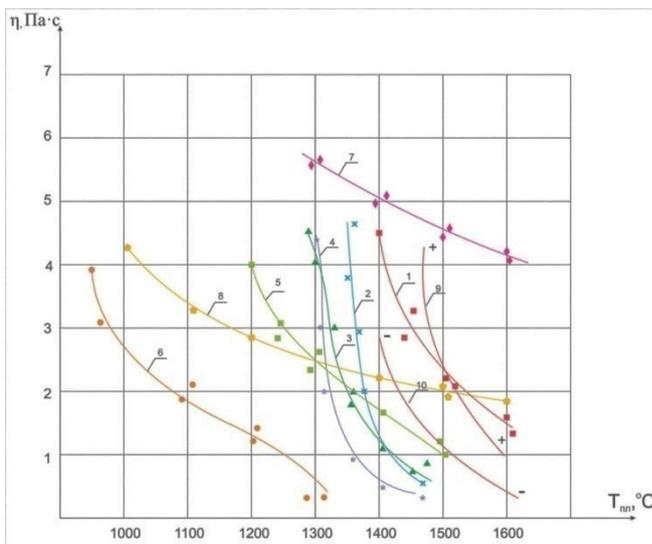


- 1 - внутренний вращающийся цилиндр;
- 2 - внешний неподвижный цилиндр;
- 3 - ось вращающейся системы;
- 4 - термостат;
- 5 - мешалка термостата;
- 6 - термопары;
- 7 - шкив;
- 8 - тормоз;
- 9 - нить;
- 10 - блок;
- 11 - груз, вращающийся шкив.

Рисунок 3 – Ротационный вискозиметр РВ-7 (с заданным крутящимся моментом)

Скорость вращения шкива определяют по скорости опускания груза.

Расплав выдерживался при температуре 1500°C не менее 120 мин. для расплавления всей массы тугоплавких компонентов. Измерения показали, что за исключением легкоплавкой шлаковой системы № 3 (Fe_2O_3 - TiO_2 - SiO_2), вязкость которой при температуре 1200° С составила 0,7 Па·с, а при 1300°C – менее 0,1 Па·с, вязкость системы № 1 (SiO_2 – TiO_2 – Al_2O_3 – CaF_2), системы SJ-1, SJ-2 в диапазоне температур 1400...1600°C не опускалась ниже 4 Па·с. Более того, вязкость 4...5 Па·с при температуре 1450°C принадлежит шлаку SJ-2, материалу, используемому для формирования шва при односторонней сварке высоколегированных сталей. Система SJ-1 и система № 1 имеют вязкость не менее 2 Па·с в этом же диапазоне температур. Сравнительные данные измерения вязкости шлаковых систем известных сварочных флюсов и шлаков, полученных экспериментальным путем, показаны на рисунке 4.



- 1 - расплав №1 (SiO_2 - TiO_2 - Al_2O_3);
- 2 - расплав флюса АН-28;
- 3 - расплав флюса АН-18;
- 4 - расплав флюса АНФ-14;
- 5 - расплав флюса АН-60;
- 6 - расплав шлака № 3 (SiO_2 - TiO_2 - MgO);
- 7 - расплав шлака SJ-1;
- 8 - расплав шлака SJ-2;
- 9 - расплав флюса 348А;
- 10 - расплав флюса ОСЦ- 45 .

Рисунок 4 – Вязкость шлаковых расплавов формирующих подкладных устройств и сварочных флюсов



Таким образом, расчетным путем определен и экспериментально подтвержден вывод о том, что существенный рост вязкости пограничного слоя шлакового расплава по длине сварочной ванны, находящегося в расплавленном состоянии не менее чем до двух Па·с, служит мерой предотвращения захвата слоя шлака перемещающимся из головной в хвостовую часть ванны металлом и мерой регулирования высоты обратного валика шва. Шлак должен в период взаимодействия с металлом сварочной ванны находиться в состоянии присущем дилатантным жидкостям, которое еще позволит двигаться под действием касательных напряжений « τ » в хвостовую часть сварочной ванны на весьма короткий участок, и он будет тем короче, чем выше вязкость шлака. При вязкости, достигающей 15 Па·с и более, скорость шлака стремится к нулю и шлак не двигается, а лишь деформируется по толщине внедряемым более плотным жидким металлом.

Литература

1. Доронин Ю.В., Ханпетов М.В. Односторонняя сварка в строительстве. М, 1990 150с
2. Веселков В.Д. Односторонняя сварка стыковых соединений стальных корпусных конструкций. Л, 1984 238с

Доронин Юрий Викторович – директор ООО «Экспертцентр», д.т.н., Москва.
E-mail: bekkenbauer@ yandex.ru

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

УДК 528.48

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ КРАНОВ МОСТОВОГО ТИПА С КОНИЧЕСКИМИ КОЛЕСАМИ

Ю.И. Пимшин, В.А. Наугольников, И.Ю. Пимшин

<p><i>Ростовский государственный строительный университет; Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»</i></p>	<p><i>Rostov State Building University; Volgodonsk Engineering and Technology Institute branch of National Research Nuclear University of MEPHI</i></p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

В данной статье рассмотрены актуальные для атомных станций вопросы, связанные с обеспечением штатной работы ходовой части кранов кругового действия. Исследовано влияние неточностей изготовления колёс по диаметру и по конусности на положение центра качения крана.

Ключевые слова: кран мостового типа, конические колёса, центр мгновенного вращения, неточности изготовления.

The relevant for nuclear power plant issues related to the provision of regular work of running gear of cranes circular. The effect of inaccuracies in the manufacture of wheels of diameter and taper at the center of the rolling crane.

Keywords: the crane bridge type, conical wheel instantaneous center of rotation, the inaccuracies of manufacture.

На 2010 г. в мире действует 29 энергоблоков АЭС с реактором ВВЭР-1000, имеющие в реакторном отделении специальный мостовой электрический кран кругового действия – полярный кран. Наиболее важным краном на АЭС служит полярный кран, рисунки 1,2.

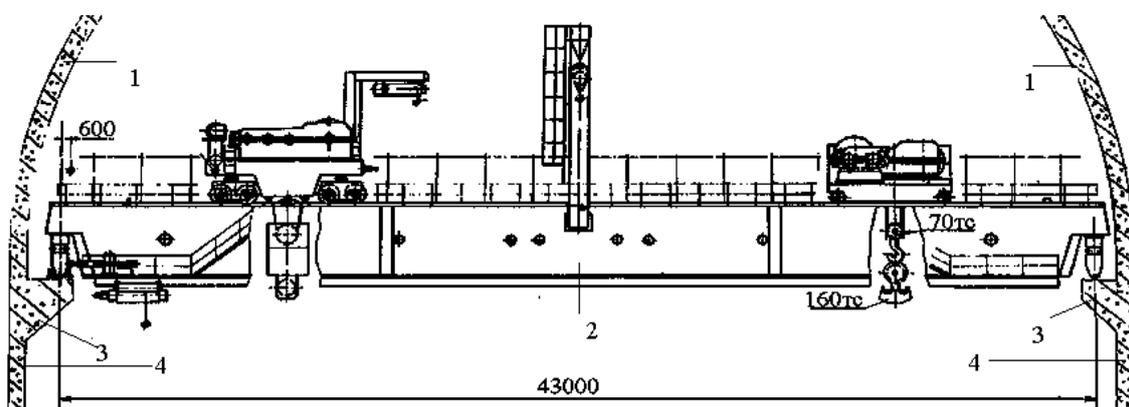


Рисунок 1 – Вертикальное сечение, общий вид полярного крана:

1 – купол ГЗО,
2 – мост крана,

3 – консольные балки,
4 – цилиндрическая часть ГЗО.

Электрический мостовой кран кругового действия АС имеет массу 560-613 т, г/п 320+160/2*70 и пролёт 43 м. Кран расположен под куполом ГЗО. Основными узлами крана являются: мост крана из двух главных и двух концевых балок, опирающихся на систему из главных балансиров, малых балансиров и ходовых колес (по 8 колес на обоих концах крана); привод крана; главная и вспомогательная грузовые тележки г/п 320т и 160/2×70т соответственно; устройство точного наведения.

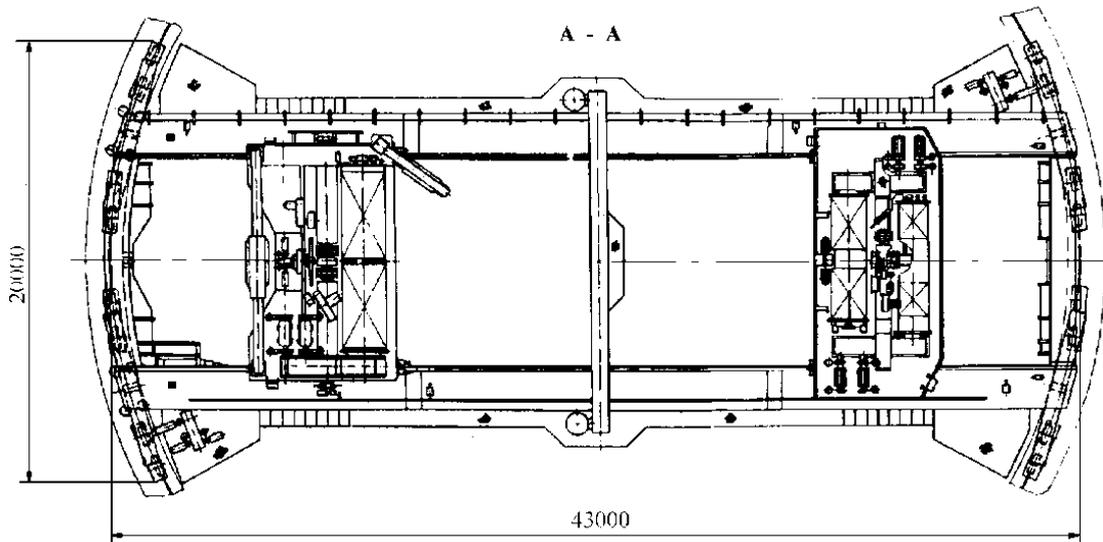


Рисунок 2 – Полярный кран, вид сверху

По рисунку 1 видно, что консольные балки двутаврового и переменного по высоте поперечного сечения прикреплены к ГЗО одним концом. К ним сверху прикреплены подкрановые балки коробчатого поперечного сечения с расположенным на них рельсом.

На рисунке 3 показано, что 24 консольные балки расположены попарно и приведены схемы их соединения с остальными элементами моделируемой системы:

- а) вертикальное сечение системы, вид сбоку;
- б) вид спереди, изнутри оболочки.

Для обеспечения его надежной эксплуатации выполняется комплекс мероприятий, в том числе регулярный контроль геометрии подкранового пути, металлоконструкции (м/к) и ходовой части с помощью геодезических измерений. Допуски на отклонения положения кранового рельса от проектного нормируются с целью обеспечения равномерного перемещения крана по рельсу и ограничения перекоса плоскости моста крана.

В результате деформации герметичной оболочки реакторного отделения рельсовый путь крана получает отклонения от плоской, горизонтально расположенной, окружности. Комплексное обследование рельсового пути крана выявило отклонения некоторых его сечений от их номинального положения в вертикальном и радиальном направлениях. Реальная траектория пути – это пространственная кривая, вызывающая определённые изменения НДС м/к крана. Это значимый фактор для напряжённо-деформированного состояния крана. Однако, авторами установлено, что основными факторами, определяющими траекторию движения полярного крана и его ресурс служат геометрические параметры ходовой части крана и его м/к.

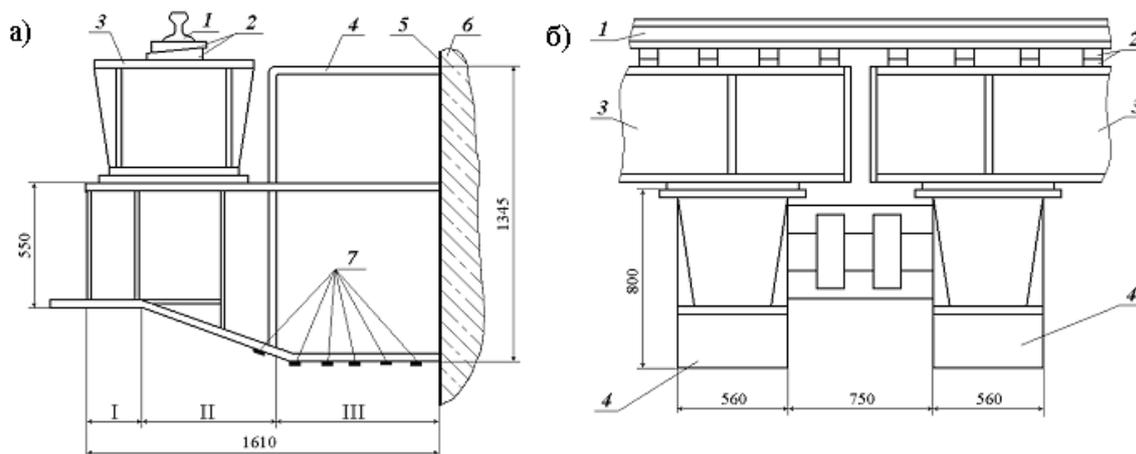


Рисунок 3 – Схема расположения и соединения элементов системы м/к:

- | | |
|-----------------------------------------|------------------------------|
| 1 – рельс, | 4 – консольная балка, |
| 2 – клиновидные регулирующие прокладки, | 5 – металлическая облицовка, |
| 3 – подкрановая балка, | 6 – ГЗО, |
| | 7 – тензодатчики. |

Производством полярных кранов занимались Россия (ПО «Сибтяжмаш»), Германия и Югославия. За исключением 3-го блока Калининской АЭС, с краном немецкого производства, все остальные краны имели цилиндрические колёса. Для 2-го блока Ростовской АЭС с реактором ВВЭР-1000, по заказу станции ПО «Сибтяжмаш» изготовил полярный кран с коническими колёсами, рисунки 1, 2. Полная масса крана с электрооборудованием 585т. Тип подкранового рельса – КР 140.

Особенности движения полярного крана с цилиндрическими колёсами проанализированы в работах. [1, 2] Показано, что круговое движение полярного крана, имеющего цилиндрические колеса, обеспечивается парами колес, объединенных в малых балансирах. Отмечено, что в пятне контакта каждого цилиндрического колеса на внешней стороне полосы катания рельса наблюдается скольжение рельса относительно колеса, так как расстояние вдоль его больше, чем, пройденный колесом, путь, равный одному обороту. На внутренней стороне полосы катания установлено скольжение колеса относительно рельса, так как, пройденное колесом, расстояние, равное одному обороту, больше чем расстояние вдоль рельса. В этой зоне регистрируется дополнительное усилие, следствием которого является отрицательное ускорение (торможение) для колеса. Таким образом, в пятне контакта цилиндрического колеса формируется момент сил, стремящийся развернуть колесо таким образом, что передняя часть по ходу движения стремится вовнутрь окружности катания.

Показано, что круговое движение полярного крана, имеющего цилиндрические колеса, обеспечивается парами колес, объединенных в малых балансирах.

Доказано, что перекося колеса в горизонтальной плоскости приводит к возникновению в ходовой части крана (малых балансирах, главных балансирах) в концевых и главных балках крана дополнительных напряжений. Вследствие этого появляется увод главной оси симметрии крана с диаметра на хорду, неравномерность движения крана сопряженная с «прострелами» колес, то есть частичным их возвратом в положение меньших напряжений элементов м/к крана. [3] Всё перечисленное обуславливает ненормативное снижение ресурса крана. Изложенная теория получила

практическое подтверждение при измерении геометрических параметров на кранах Ростовской и Балаковской АЭС, а способы технической диагностики ходовой части мостовых кранов реализованы авторами в двух патентах. [4,5]

Рассмотрим особенности движения полярного крана с коническими колёсами.

В начале отметим, что свободное цилиндрическое колесо, стоящее на плоскости, катится по прямой линии, а свободное коническое колесо катится по горизонтальной окружности с центром в вершине конуса. Угол наклона плоскости колеса к плоскости качения в этом случае составляет половину угла при вершине конуса, т.е. равен углу α между высотой конуса и его образующей. Для обеспечения вертикального положения колеса центр качения необходимо поднять по вертикали на половину внешнего диаметра колеса $0,5D_n$. При этом траекторией движения колеса будет окружность с радиусом, равным высоте конуса. Движение по окружности цилиндрическими колёсами может быть обеспечено с помощью минимум пары колёс. Причём, угол их взаимного разворота определяет радиус этой окружности. То есть с точки зрения обеспечения движения по окружности одно коническое колесо формально эквивалентно паре цилиндрических колёс. Поэтому у полярного крана цилиндрические колёса обязательно должны быть объединены в малом балансире, тогда как конические колёса такого объединения не требуют.

Для 2-го блока Ростовской АЭС коническое колесо полярного крана установлено вертикально, рисунок 4, имеет угол скоса $\alpha = 1^{\circ}4'$ или 0,018617 рад, рисунок 5. Колёса, объединены в малые и большие балансиры, рисунок 2.

Считаем, что колесо смонтировано без отклонения от вертикали. Рассмотрим по отдельности влияние следующих факторов:

- а) неточность изготовления по внутреннему и внешнему диаметрам колеса (равномерного износа);
- б) неточность изготовления по углу скоса колеса.

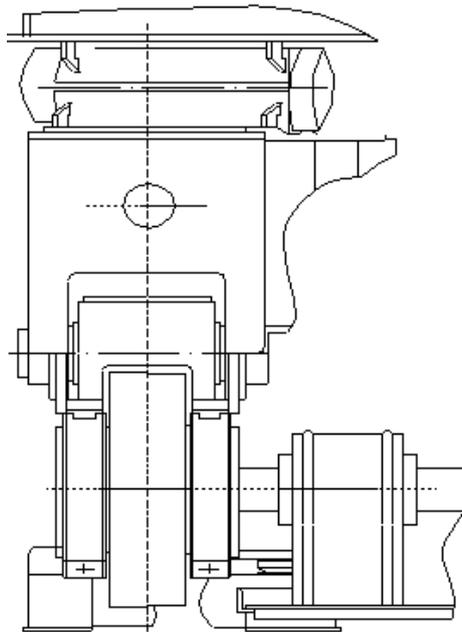


Рисунок 4 – Узел механизма передвижения с коническим колесом

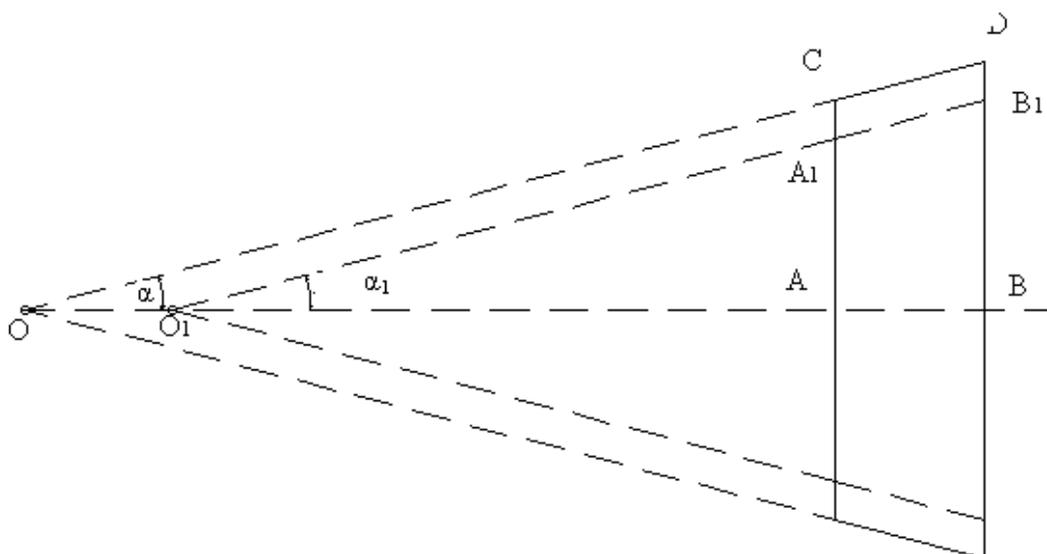


Рисунок 5 – α – нормативный угол скоса, α_1 – в изношенном состоянии или при неточности изготовления

Пусть колесо имеет неточность изготовления по диаметрам. Тогда эта неточность, рисунок 5, вызовет смещение центра качения этого колеса от проектного положения на Δl – отрезок OO_1 . Выразим это смещение через изменение наружного радиуса колеса:

$$\Delta l = OB - O_1B = \frac{D_n}{2\operatorname{tg}\alpha} - \frac{D_n - \Delta D}{2\operatorname{tg}\alpha} = \frac{\Delta R_n}{\operatorname{tg}\alpha}. \quad (1)$$

Из равенства (1) следует, что зависимость смещения центра качения (центра мгновенного вращения) от неточности изготовления линейная. Отобразим её в виде графика, рисунок 6, построенного посредством Mathcad.

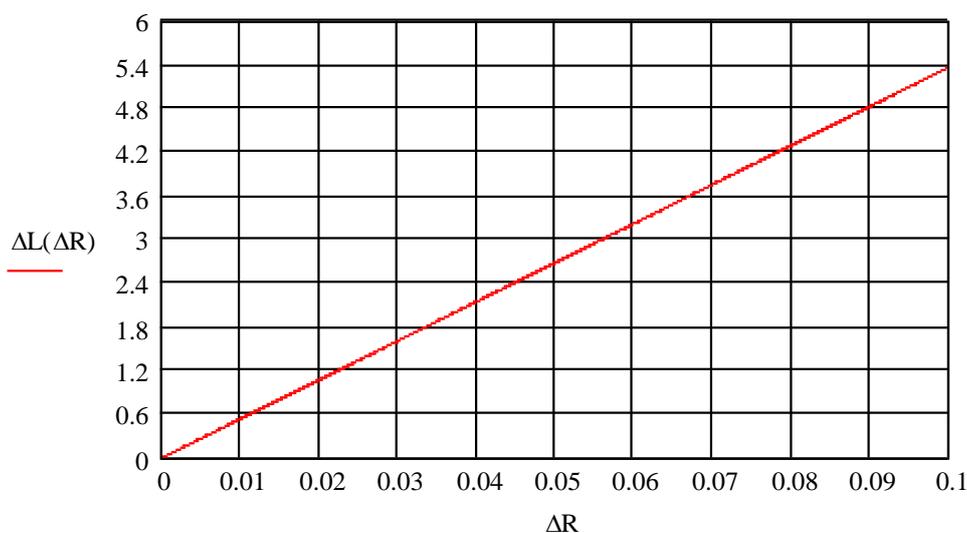


Рисунок 6 – График зависимости смещения центров качения конических колёс от неточности изготовления или износа ΔR , мм

Указанная зависимость для практического применения табулирована. Например, при неточности $\Delta R = 0,1$ мм радиальное смещение составило 5,4 мм. Отметим, что при эксплуатации допускается износ поверхности катания до 15% толщины обода и разность в диаметрах колёс не более ± 0.0005 от номинального диаметра. [6] При диаметре 800 мм получим $\Delta D = 0.0005 * 800 = 0.4$ мм.

Пусть колесо имеет неточность изготовления по углу скоса $\Delta\alpha$ или, что равносильно, неточность изготовления ΔR по внутреннему диаметру колеса $D_{вн}$. В этом случае эта неточность, рисунок 7, вызовет смещение центра качения этого колеса от проектного положения на Δl – отрезок OO_1 , длина которого вычисляется по формуле:

$$\Delta l = OB - O_1B = \frac{D_n}{2} \left(\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_1} \right), \quad (2)$$

где $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$, или

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{R_n - (R_{вн} - \Delta R)}{d}. \quad (3)$$

В равенстве (3) d ширина колеса, у обследованных полярных кранов Ростовской и Балаковской АЭС $d = 240$ мм.

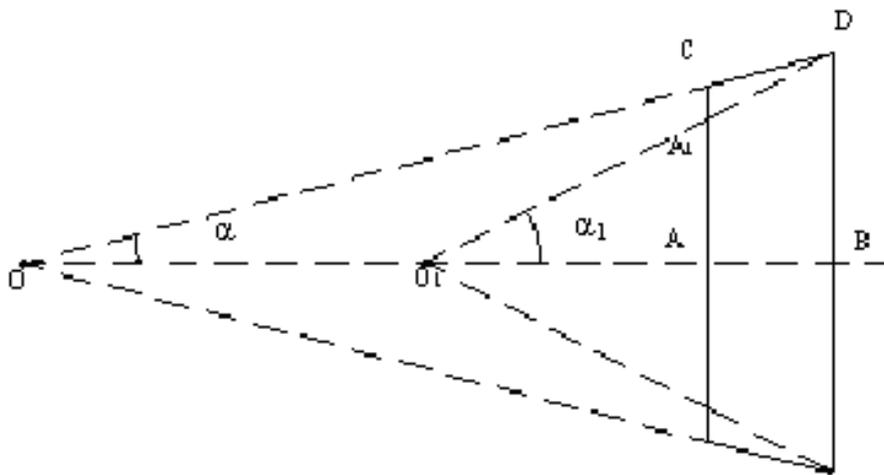


Рисунок 7 – α – нормативный угол скоса, α_1 – в изношенном состоянии или при неточности изготовления

Как следует из равенств (2), (3) зависимость смещения центра качения (центра мгновенного вращения) от угла скоса $\Delta\alpha$ (неточности изготовления ΔR по внутреннему диаметру колеса) нелинейная.

Отообразим её в виде графика, рисунок 8, построенного посредством Mathcad.

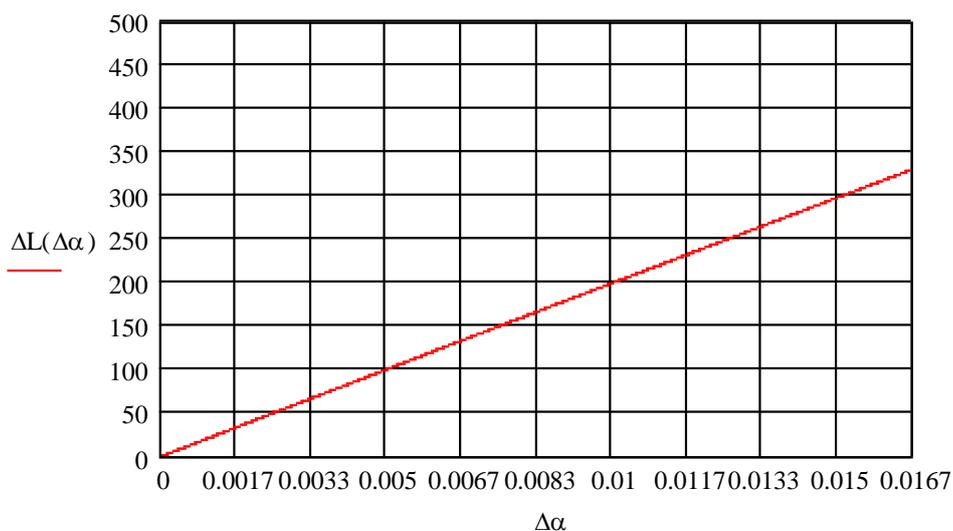


Рисунок 8 – График зависимости смещения центров качения конических колёс от угла скоса $\Delta\alpha$ (рад) (неточности изготовления ΔR по внутреннему диаметру колеса)

Например, при $\Delta R = 0,1 \text{ мм}$ $\alpha = 1^{\circ}5'26''$ радиальное смещение составило 470 мм.

В работе [1] описана специфика движения цилиндрического колеса по окружности, обусловленная трением скольжения в пятне контакта колеса по рельсу и наоборот. Это связано с тем, что внутренняя и наружная части поверхности колеса проходят разную длину пути. Такое же явление возникает и при движении конического колеса по окружности, только внутренняя часть поверхности колеса будет проходить несколько меньший путь по сравнению с цилиндрическим колесом.

Принципиальное различие цилиндрических и конических колёс проявляется и при сборке их в систему – ходовую часть мостового крана. Так неточность в диаметре и радиальное смещение цилиндрического колеса не вызывает существенных трудностей при обеспечении совмещения центра вращения крана и рельсового пути. Цилиндрические колёса могут быть расположены даже на окружностях разных радиусов, только концентрических. У конического колеса радиальное смещение сразу вызывает несовпадение центра его качения с центром вращения крана и рельсового пути. При эксплуатации допускается износ поверхности катания до 15% толщины обода и разность в диаметрах колёс не более ± 0.0005 от номинального диаметра. [6]

Необходимо отметить, что в связи со скосом конического колеса при касании его с цилиндрической частью головки рельса КР – 140 силовая плоскость не проходит через ось симметрии рельса. Последнее обстоятельство приводит к ненормативной нагрузке на рельс в виде изгиба с кручением.

Выводы:

- конические колёса требуют более жёсткого контроля за точностью соблюдения номинальных размеров на заводе-изготовителе, поскольку отклонения даже в пределах допуска существенно сказываются на положении центра качения колеса;

- монтаж и наладка ходовой части крана с коническими колёсами требуют высокой точности соблюдения геометрических размеров конструкции, поскольку для совпадения центра вращения крана и центра рельсового пути в одной точке необходимо совместить центры качения 16 конических колёс;

– для уточнения характера износа и условий напряжённо-деформированного состояния рельса, а также регулирующих прокладок требуется накопить экспериментальный материал и выполнить расчётное обоснование, чтобы предотвратить отрыв башмаков;

– полярные краны требуют обязательного контроля геометрических параметров м/к в совокупности с правильной и точной установкой колёс.

Литература

1. Пимшин Ю.И., Наугольнов В.А., Пимшин И.Ю. Анализ ходовой части кранов радиального действия при движении их по окружности // Изв. ВУЗ Сев. Кавказ. регион. Сер. Техн. науки. – 2009. – Спецвыпуск. – с. 95–100.

2. Пимшин Ю.И., Наугольнов В.А., Пимшин И.Ю. Способ диагностики геометрических параметров ходовой части мостовых кранов радиального действия // Изв. ВУЗ Сев. Кавказ. регион. Сер. Техн. науки. – 2009. – Спецвыпуск. – с. 100–103.

3. Пимшин Ю.И., Пимшин И.Ю., Наугольнов В.А. О методологии контроля геометрических параметров мостовых кранов // Изв. ВУЗ Сев. Кавказ. регион. Сер. Техн. науки. – 2008. – Спецвыпуск. – с. 131–134.

4. Пимшин Ю.И., Пимшин И.Ю., Наугольнов В.А. Способ диагностики геометрических параметров ходовой части мостовых кранов: Пат. № 2382347 С1. Оpubл. 20.02.2010, Бюл. № 5.

5. Пимшин Ю.И., Пимшин И.Ю., Наугольнов В.А. Способ диагностики геометрических параметров ходовой части мостовых кранов радиального действия: Пат. № 2384831 С1. Оpubл. 20.03.2010, Бюл. № 8.

6. Диагностирование грузоподъёмных машин / В.И. Сероштан, Ю.С. Огарь, А.И. Головин и др.: Под ред. В.И. Сероштана, Ю.С. Огаря. – М.: Машиностроение, 1992.–192 с.

Пимшин Юрий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная геодезия», Ростовский государственный строительный университет. E-mail: geodez@aanet.ru

Наугольнов Владимир Андреевич – к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и прикладная механика», Волгодонский институт (филиал) ВИТИ НИЯУ МИФИ

Пимшин Иван Юрьевич – ассистент кафедры «Прикладная механика», Ростовский государственный строительный университет. E-mail: geodez@aanet.ru

Pimshin Yuri I. – doctor of technical science, professor, head of Engineering geodesy department, Rostov State Building University. E-mail: geodez@aanet.ru

Naugolnov Vladimir A. – candidate of technical science, associate professor, Mechanical engineering and applied mechanics department, Volgodonk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonk.

Pimshin Ivan J. – assistant of Engineering geodesy department, Rostov State Building University. E-mail: geodez@aanet.ru

УДК 528

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ГЕОДЕЗИИ

В.А. Малинников, Е.Б. Ключин, В.В. Калугин

*Московский государственный университет
геодезии и картографии (МИИГАиК)*

*Moscow State University of Geodesy and
Cartography (MIGAik)*

В статье обосновывается необходимость и целесообразность создания единого независимого научного центра анализа и сертификации алгоритмов и компьютерных программ обработки результатов спутниковых измерений в связи с возникающими сложностями развития спутниковых технологий в высокоточной геодезии.

Ключевые слова: инженерная геодезия; спутниковые измерения; квазигеоид.

The necessity and feasibility of establishing a single independent center of scientific analysis and certification of algorithms and computer programs for processing of satellite measurements in connection with the difficulties encountered in the development of satellite-based high-precision surveying

Keywords: engineering geodesy, satellite measurements, quasigeoid.

Спутниковые методы измерений стремительно ворвались в геодезию и в настоящее время активно теснят по всем направлениям традиционные методы измерений. Характерной особенностью современного этапа развития геодезии является отсутствие исчерпывающей информации о методах обработки результатов измерений спутниковыми приемниками. Значительные финансовые затраты на разработку алгоритмов и программ, а также жесткая конкурентная борьба между фирмами привели к тому, что все программные продукты являются закрытыми от специалистов и представляются потребителям как конечные, единственно верные разработки, которые потребитель вынужден покупать, полагаясь лишь на авторитет фирмы.

Однако, каждая новая разработка и, тем более, каждая сложная разработка достигает совершенства путем тщательного анализа многими специалистами, широкого обсуждения и всесторонней проверкой на практике. Та информация, которая содержится в современной научной и технической литературе, в большей части носит декларативный характер и отражает лишь основные принципиальные решения. Обсуждение возможных путей решения задачи и обоснование выбора ее решения, как правило, не производится, а дается как окончательное решение.

Безусловно, такое положение дел существенно тормозит развитие новой и весьма перспективной технологии, а отсутствие подробного анализа приближенных методов решения сложных научных задач настораживает многих специалистов и порождает определенный скептицизм. Но, несмотря на очевидные сложности и ограниченный доступ к научной информации, прогресс в этой области будет нарастать, и мы попытаемся сделать прогноз на ближайшее будущее. Не претендуя на всесторонний охват всех задач, которые решаются с использованием спутниковых технологий, попытаемся выделить лишь ключевые моменты, которые могут существенно изменить методы их использования в геодезии.

Фирмы-производители спутниковых приемников справедливо заявляют

исключительно высокие точности измерений: от нескольких миллиметров при коротких расстояниях до нескольких сантиметров при расстояниях в десятки и даже сотни километров. Однако, заявленная точность относится к пространственным прямоугольным системам координат (ПЗ-90 для системы ГЛОНАСС или WGS-84 для системы NAVSTARGPS), которые практически невозможно использовать для большинства видов геодезических работ.

В то же время осуществить переход из пространственной прямоугольной системы координат в системы координат, принятые в геодезии, невозможно без потери точности. В геодезии нет единой трехмерной системы координат. Имеется лишь криволинейная двумерная система координат (широта B и долгота L на поверхности отсчетного эллипсоида), либо ее аналог в координатах проекции Гаусса-Крюгера или UTM, которые, по сути, также являются криволинейными системами координат [1, 3], где по оси абсцисс откладывается длина дуги меридиана, а по оси ординат используют ограниченную зону в 3° или 6° , причем внутри зоны искажения считаются допустимыми. Третья координата – нормальная или ортометрическая высота практически не имеет связи с центром масс Земли, а отсчитывается от собственной поверхности относимости - квазигеоида или геоида.

Такая комбинация систем координат не является недостатком в геодезии. Человек много веков был неразрывно связан с водой при строительстве судоходных каналов, мелиоративных и ирригационных систем и при решении многих других задач.

Исходя из практической целесообразности, удобно считать ниже ту точку, куда потечет вода. В связи с этим в России принята система нормальных высот. Под нормальной высотой понимают отрезок силовой линии, проходящей в поле нормального потенциала силы тяжести между уровнями поверхностями, одна из которых принята за отсчетный, а вторая проходит через определяемую точку. В прикладной геодезии основным методом определения нормальных высот является «геометрическое нивелирование, причем данные геометрического нивелирования используют прежде всего для решения в сущности физической задачи - определения взаимного положения физической поверхности Земли и уровенных поверхностей реального поля силы тяжести». [1] Таким образом, в геодезии используют уникальную комбинацию систем координат: плановое положение объекта определяют на поверхности отсчетного эллипсоида, центр симметрии которого совмещен с центром масс Земли, эти координаты являются величинами геометрическими, а нормальная высота является величиной физической, но характеризуется линейной величиной от точки на поверхности Земли до квазигеоида.

Отсутствие информации о точном значении высоты квазигеоида над отсчетным эллипсоидом существенно осложняет переход из прямоугольной системы координат в криволинейную и может вносить заметные искажения в координаты. Следует отметить, что аномалия высот на территории России изменяется в широких пределах от - 8 м в Прикаспийской низменности до 50 м во Владивостоке.

Для перехода из системы координат ПЗ-90 или WGS-84 в геодезическую систему координат, используемую на конкретном объекте, фирмы - производители и дистрибьюторы рекомендуют определять три угла разворота осей координат (α , β и γ), три величины смещения начал координат (ΔX , ΔY , ΔZ) и, если это необходимо, масштабный коэффициент μ . Всего шесть или семь параметров.

Для определения параметров преобразования рекомендуется выбрать несколько пунктов (не менее трех) с известными координатами в криволинейной системе координат, выполнить на них спутниковые измерения, а затем вычислить координаты одного из них и высокоточные приращения координат до остальных пунктов в

прямоугольной геоцентрической системе координат. При этом рекомендуется переходить от криволинейных координат к прямоугольным, пренебрегая ошибками высот квазигеоида $\Delta\zeta$ которые искажают координаты на величины:

$$\left. \begin{aligned} \delta X &= \Delta\zeta \cos B \cos L, \\ \delta Y &= \Delta\zeta \cos B \sin L, \\ \delta Z &= \Delta\zeta \sin B. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Неспасает положения опубликованные аномалии высот относительно эллипсоида WGS-84, так как криволинейные координаты B и L , а также высоты квазигеоида в России определены относительно эллипсоида Красовского. При геодезическом обеспечении многих инженерных задач широты и долготы пунктов изменяются мало, как правило, на несколько десятков минут, следовательно, ошибки δX , δY и δZ становятся для всех пунктов систематическими, причем различными по осям координат X , Y , Z могут достигать в относительной мере $1 \cdot 10^{-5}$. И, как следствие, при таком алгоритме преобразований возникает необходимость вычисления масштабного коэффициента, которым не всегда удается компенсировать искажения, вносимые в координаты.

Кроме того, точность определения масштабного коэффициента существенно зависит от точности взаимного положения пунктов в криволинейной системе координат. В тех случаях, когда используются местные системы координат, например, в зоне строительства, в которых координаты пунктов не соответствуют реальной кривизне Земли, искажения могут быть еще больше.

Отсутствие тщательного анализа точности метода преобразования координат приводит к ошибочному выводу о том, что возможно определение смещения начал координат с точностью до 1 мм, а разворота осей координат до малых долей угловых секунд.

Следует помнить, что центр масс Земли, а, следовательно, и положение начала координат определено в самой точной в настоящее время Всемирной системе координат WGS-84 с ошибкой в 1 м. Остальные системы координат превышают эту величину ошибки. При определении параметров преобразования с пунктов, расстояния между которыми часто не превышают 6 км (т.е. угол засечки начала координат составляет $\sim 0^{\circ}03'$), при расстояниях до начала координат свыше 6 300 000 м невозможно определить смещение начал координат с точностью до 1 мм. Реально эта ошибка должна составлять многие метры, а вычисленные параметры преобразования обеспечивают приемлемую точность лишь на расстояниях до 10-20 км.

Таким образом, для сохранения высокой точности определения приращений координат, вычисленных по результатам фазовых измерений, необходим иной алгоритм преобразования координат, свободный от перечисленных недостатков, причем каждый шаг преобразования должен сопровождаться детальным анализом точности.

В геодезической литературе часто можно встретить утверждение о том, что в инженерной геодезии используют плоскую систему координат. Это ошибочное утверждение в некоторых случаях порождает уродливые методы использования результатов спутниковых измерений. В геодезии понятие плоскости используют только при определении плановых координат и в пределах одной стоянки инструмента. Кривизна Земли при традиционных методах измерений учитывается методическим приемом, устанавливая геодезические приборы с использованием уровня, как показано на рисунке 1.

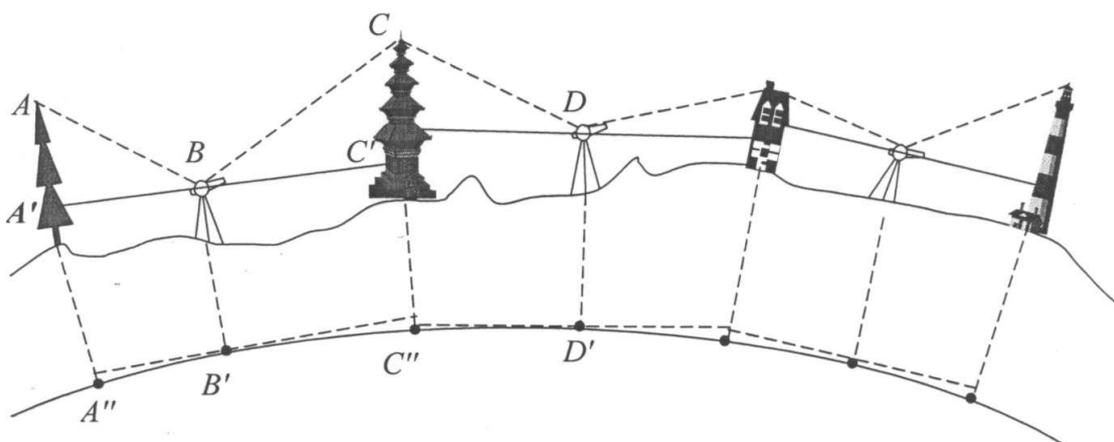


Рисунок 1- Иллюстрация методики учета влияния кривизны Земли в инженерно-геодезических работах

Использование спутниковых методов измерений для передачи высот имеет исключительно важное значение из-за больших трудозатрат и высокой стоимости геометрического нивелирования особенно в труднодоступных регионах со слабо развитой геодезической сетью.

В результате спутниковых измерений в распоряжении геодезиста имеются координаты опорного пункта со средней квадратической ошибкой 2 м (в лучшем случае) и разности координат между опорным пунктом и определяемыми пунктами со средними квадратическими ошибками от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров (в зависимости от метода измерений и расстояния до опорного пункта). [4, 5]

Геодезическая высота может быть вычислена с использованием результатов спутниковых измерений по формуле:

$$H = \sqrt{X^2 + Y^2} \cos B + Z \sin B - a \sqrt{1 - e^2} \sin^2 B. \quad (2)$$

В научной и технической литературе отсутствуют четкие рекомендации по вычислению геодезической высоты. Остается неясным, параметры какого эллипсоида необходимо учитывать в формуле (2). В большинстве случаев геодезическая высота H вычисляется без преобразования координат относительно эллипсоида WGS-84, а затем вычисляется нормальная высота H_γ по формуле:

$$H_\gamma = H - \zeta$$

где ζ - высота квазигеоида, которая определяется с использованием глобальной модели высот геоида EGM-2008 (EarthGravitationalModel2008).

В результате вычисляют нормальную высоту с использованием параметров эллипсоида WGS-84. Однако, в России нормальные высоты и высоты квазигеоида определяли, используя параметры эллипсоида Красовского, так как региональная модель высот квазигеоида определялась относительно эллипсоида Красовского еще в те времена, когда эллипсоида WGS-84 не существовало. Более того, точность модели высот геоида EGM-2008 недостаточна для решения многих геодезических задач.

Влияние ошибок координат и разностей координат на вычисленное значение разностей геодезических высот между пунктами весьма существенно [4, 5, 7]:

$$m_h = \sqrt{\frac{S^2}{R^2} m_{X,Y,Z}^2 + m_{\Delta}^2}$$

где S - расстояние между пунктами;
 R - радиус Земли;
 $m_{X,Y,Z}$ — средние квадратические ошибки координат опорного пункта;
 m_{Δ} - средние квадратические ошибки разностей координат между пунктами.

Реальную помощь в решении данной проблемы могут оказать пункты с известными нормальными высотами. [6] В настоящее время необходима разработка единой научно обоснованной методики спутникового нивелирования при выполнении геодезических измерений.

Опыт выполнения инженерно-геодезических работ в различных областях народного хозяйства убедительно подтвердил целесообразность использования локальных систем координат на территории, обслуживаемого или строящегося объекта. Дело в том, что координаты пунктов государственной геодезической сети определяются на поверхности отсчетного эллипсоида (на геодезической высоте, равной нулю), а объект строится, как правило, на значительно большей высоте. В результате истинные размеры объекта отличаются от размеров, вычисленных по координатам, на величину:

$$\Delta S = \frac{SH}{R},$$

где S - размер объекта (длина линии);
 H - средняя геодезическая высота объекта.

Например, при длине линейного объекта, равной 100 км, на средней высоте 300 м разности в размерах будут составлять почти 5 м.

Таким образом, при преобразовании геоцентрических прямоугольных координат в локальную систему координат необходимо учитывать не только кривизну Земли, так как протяженный линейный объект повторяет форму Земли, но и учитывать геодезическую высоту размещения протяженного объекта.

В настоящее время результаты фазовых измерений спутниковыми приемниками рассматривают, как продукт стандартного фазового дальномера, и исходной формулой является фазовый сдвиг сигнала на пути от спутника до приемника. Однако, эта формула не позволяет математически описать процесс накопления фазовых циклов в памяти приемника. В то же время хорошо известно, что ни один из существующих фазовых дальномеров невозможно эксплуатировать в режиме накопления фазовых циклов, как это осуществлено в спутниковых методах. Более того, если расстояние между излучающей станцией и приемником в процессе измерений не изменяется (например, излучающие станции расположены на поверхности Земли и неподвижны относительно приемника или используются геостационарные спутники), то за равные интервалы времени такой приемник будет регистрировать всегда равное число фазовых циклов, и длительное накопление информации на определяемом пункте теряет всякий смысл, так как накопленная сумма фазовых циклов становится предсказуемой. Это означает, что по результатам фазовых измерений в спутниковых методах желаемый

результат будет достигнут лишь в том случае, если за сеанс измерений спутник переместится на значительную величину, и при этом расстояние между спутником и приемником также существенно изменится. Все это позволяет прийти к выводу, что спутниковые методы в режиме фазовых измерений имеют принципиальные отличия от традиционных методов фазовой дальнометрии, и в исходных формулах должны быть иные соотношения, отражающие перемещение спутников за время измерения, а также процесс накопления фазовых циклов.

Более того, сигнал от спутника до приемника распространяется за интервал равный $\sim 0,08$ сек. Спутник за это время перемещается на значительное расстояние. Следовательно, в цуге волн от спутника до приемника каждая волна излучалась из разных точек траектории движения спутника, и это также должно быть отражено в формулах при строгой обработке результатов измерений.

В существующих алгоритмах обработки результатов фазовых измерений процесс преобразования сигнала методом гетеродинирования либо не отражен, либо записан формально, что привело к необоснованному усложнению алгоритма обработки. Это связано с тем, что вся необходимая информация для учета процесса гетеродинирования используется в оперативной памяти вычислительного блока фазового приемника, но не регистрируется и остается недоступной для пользователя. Все это вместе взятое привело к необходимости разрешения неоднозначности. Само понятие «разрешение неоднозначности» должно относиться к вполне конкретному расстоянию. В научной литературе это расстояние либо не оговаривается, либо ошибочно утверждается, что разрешение неоднозначности относится к расстоянию между спутником и приемником. Но эта задача практически не разрешима, по крайней мере, на современном этапе, так как положение спутника на орбите, вычисленное по эфемеридам, характеризуется ошибкой ~ 5 м, что составляет примерно 25 длин волн. Кроме этого, искажения регистрируемой информации в процессе фазовых измерений, вносимые ионосферой и тропосферой, составляют также сотни длин волн. Вышеприведенные утверждения станут более очевидными, если выполнить анализ «расстояний», для которых разрешилась неоднозначность после процесса вычисления целых длин волн.

Существующие ныне алгоритмы обработки результатов фазовых измерений обладают еще рядом откровенных недостатков.

1. При работе в дифференциальном режиме вычисление разностей координат выполняется последовательно для каждой пары приемников. Это приводит к тому, что сумма приращений координат пунктов сети, вычисленная по замкнутому контуру, образует невязки, что порождает необходимость «доуравнивания» сети. Совместная обработка результатов измерений на всех пунктах сети обладает большей информативностью и приведет к повышению точности уравненных величин, позволит произвести объективную оценку точности и исключит необходимость выполнения дополнительного этапа уравнивания.

2. При обработке результатов измерений каждой пары спутниковых приемников в процессе вычислений участвуют лишь те результаты, которые получены ими одновременно, и лишь те спутники, которые наблюдались совместно. Все остальные результаты измерений исключаются как «вредные», разрушающие процесс обработки, хотя хорошо известно, что любая дополнительная информация, в худшем случае, может быть малоинформативной, но вредной быть не может. Это лишь подтверждает несовершенство существующих алгоритмов.

3. Попарная обработка результатов измерений исключает возможность подключения к обработке результатов измерений близ расположенных постоянно действующих станций слежения за спутниками, хотя такая информация, как правило,

обладает высокой точностью и надежностью.

4. Попарная обработка результатов измерений исключает возможность подключения к обработке на этапе вычисления разностей координат результатов измерений традиционными средствами, например, угла, измеренного тахеометром, между тремя спутниковыми приемниками, длин линий или превышений между ними. В настоящее время совместная обработка результатов спутниковых измерений и результатов измерений наземными средствами осуществляется лишь после вычисления приращений координат. Совместная обработка именно результатов измерений (фазовых циклов, углов, длин линий, превышений) обладает большей объективностью и достоверностью.

5. При оценке точности вычисленных разностей координат по результатам фазовых измерений учитывается лишь, так называемый, геометрический фактор, т.е. расположение спутников относительно приемников в период наблюдений. Однако, на точность вычисляемых приращений координат не в меньшей степени влияет величина и направление смещения спутников относительно приемников за сеанс наблюдений. Следовательно, существующую методику оценки точности необходимо рассматривать, как результат первого приближения.

6. Составив систему исходных уравнений, их решение выполняется по строго оговоренной последовательности путем образования «первых разностей», «вторых разностей», а иногда и «третьих разностей». Такой прием следует рассматривать, как искусственный и отражающий несовершенство алгоритма решения. Если система исходных уравнений составлена корректно, то нет необходимости подсказывать математике последовательность их решения, так как любая система линейных уравнений обычно решается методом последовательного исключения неизвестных. Причем очередность исключения неизвестных не должна отражаться на конечном результате. Если система уравнений не является математически корректной и содержит неразделяемые неизвестные, допустимо использование искусственных приемов, но при этом следует указать, что данное решение является приближенным, и оговорить условия, при соблюдении которых решение обеспечивает приемлемую точность.

7. В некоторых случаях наивно предлагается выполнить абсолютно бесполезные арифметические преобразования. Например, при обработке результатов фазовых измерений двухчастотными приемниками предлагается умножать числа фазовых циклов, измеренных на частотах L1 и L2, на соответствующие коэффициенты и образовывать между ними разность. При этом с гордостью демонстрируют, что в разности исключилась большая часть искажений, вносимых ионосферой. Если подобных «преобразований» не выполнять, а совместно решать единую систему уравнений с результатами измерений на двух частотах, то искажения, вносимые ионосферой, также будут вычислены, причем более точно. Не следует надеяться на то, что можно обнаружить более удачное решение, чем строгое соблюдение правил математики.

Приступая к разработке более совершенного алгоритма обработки результатов фазовых измерений, необходимо выполнить ряд дополнительных теоретических и экспериментальных исследований. В первую очередь необходимо исследовать точность передаваемых в навигационном сообщении параметров уравнений Кеплера и поправочных коэффициентов, вычислить средние квадратические ошибки каждого параметра, а также исследовать корреляционную зависимость между ними. Это позволит выполнять уравнивание результатов измерений с учетом ошибок исходных данных, повысит качество обработки и достоверность конечного результата. Именно такая обработка позволит исключить ряд вышеперечисленных недостатков

существующих алгоритмов обработки.

При обработке результатов спутниковых измерений с учетом ошибок исходных данных возникнет проблема обоснования соотношения весов параметров уравнений Кеплера, результатов фазовых измерений, измерений времени, координат пунктов, а также весов измеренных значений углов, длин линий и превышений, если таковые будут участвовать в совместной обработке. Эта проблема давно назрела и требует окончательного решения.

Дальнейшему повышению точности спутниковых методов измерений будут способствовать более строгие методы вычислений поправок в результаты измерений. Наибольшую трудность вызывает вычисление поправки, учитывающей влияние поворота Земли вокруг оси за время распространения сигнала от спутника до приемника. Эта поправка не могла быть предсказана теоретически, так как теория распространения электромагнитных волн между подвижными объектами окончательно не разработана. Поправка за поворот Земли выявлена экспериментально, и это является несомненной заслугой спутниковых навигационных систем. Эффект влияния вращения Земли на время распространения сигнала, безусловно, следует поставить в один ряд с опытами Майкельсона, Саньяка, Физо и др. Формула для вычисления поправки за поворот Земли опирается лишь на результаты эксперимента, логические рассуждения и геометрические построения. Строгую формулу влияния вращения Земли на время распространения сигнала можно получить лишь в том случае, если она будет опираться на законы физики, позволяющие теоретически обоснованно ответить на следующие вопросы:

- почему при дальномерных измерениях на поверхности Земли экспериментально не обнаруживается влияние вращательного и поступательного движения Земли;

- почему возникла целесообразность учета вращения Земли вокруг оси, но не выявлена необходимость учитывать вращение Земли вокруг Солнца.

Поправка за поворот Земли вокруг оси весьма значительна и может достигать десятков метров, поэтому ее учет заметно повышает точность определения координат, даже если она не является безупречно точной. Учет этой поправки рассмотрен в теории обработки результатов измерений псевдодальностей, а в алгоритме обработки фазовых измерений нет внятного обоснования аналогичным действиям. Возможно, это является одной из причин того, что супердлинные сеансы измерений, занимающие многие часы и даже сутки, вынуждены искусственно разбивать на более короткие сеансы наблюдений, так как опыт подсказывает целесообразность таких действий. Теоретического обоснования этим приемам нет, как нет и теоретического обоснования оптимальной длительности сеанса наблюдений.

Совершенствование спутниковых навигационных систем, спутниковых приемников и методов обработки результатов измерений приведет к необходимости более строгого учета влияния ионосферы и тропосферы. В настоящее время учитывается лишь влияние среды распространения сигнала на скорость распространения электромагнитных волн. Влияние ионосферы и тропосферы на увеличение длины пути сигнала, обусловленной рефракцией, пока не учитывается, несмотря на то, что эта поправка может достигать нескольких метров. Более того, в неоднородных средах, обладающих дисперсией, проявляется не только дисперсия показателя преломления среды, но и дисперсия длины пути сигнала, так как из-за различных углов рефракции сигналы с различными несущими частотами проходят пути от спутника до приемника по различным траекториям. Влияние дисперсии длины пути не может быть компенсировано даже при обработке результатов наблюдений

двухчастотными приемниками. Таким образом, вопрос о предельно достижимой точности дисперсионных методов измерений остается открытым.

К сожалению, во многих научных публикациях, посвященных рефракции электромагнитных волн в неоднородных средах, по сути, используется метод вычисления рефракционных искажений, разработанный Ньютоном, не обращая внимания на то, что неоднократно были опубликованы более строгие уравнения, например, в плоскости Z, X они имеют вид:

$$Z'' = \frac{1 + Z'^2}{n} \left(\frac{\partial n}{\partial Z} - Z' \frac{\partial n}{\partial X} \right),$$

где $\frac{\partial n}{\partial X}$ и $\frac{\partial n}{\partial Z}$ – градиенты показателя преломления в направлениях осей координат.

Рефракционные искажения, записанные в виде интеграла, невозможно вычислить аналитическим методом даже для самых простых частных случаев слоистых сред. В результате либо находят весьма приближенное решение, либо обращаются к численным методам вычисления, используя закон Снеллиуса, не замечая того, что, по сути, выполняют численное решение дифференциального уравнения. Строгое решение возможно лишь при совместном учете как вертикальной, так и боковой рефракции, что приводит к системе двух нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка.

Сложности развития спутниковых технологий в высокоточной геодезии убедительно показывают необходимость и целесообразность создания единого независимого научного центра анализа и сертификации алгоритмов и компьютерных программ обработки результатов спутниковых измерений.

Все спутниковые приемники проходят метрологическую аттестацию, а алгоритмы и программа, которые могут существенно исказить результаты измерений в настоящее время остаются вне метрологического контроля. Ликвидация этого слабого звена будет способствовать совершенствованию качества обработки результатов измерений, соблюдению единой метрологической точности для всех потребителей спутниковых технологий. В противном случае высокая потенциальная точность спутниковых методов измерений не оправдает ожиданий при их практическом применении.

Литература

1. Пеллинен Л.П. Высшая геодезия. М.: Недра, 1978.
2. Красовский Ф.Н. Избранные сочинения. М.: Геодезиздат, 1965.
3. Закатов П.С. Курс высшей геодезии. М.: Недра, 1978.
4. Ключин Е.Б., Кравчук И.М. Оценка точности вычисления разности геодезических высот по результатам спутниковых измерений // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка», № 4, М.: МИИГАиК, 2010.
5. Ключин Е.Б., Кравчук И.М. Спутниковое нивелирование. Сборник статей по итогам Международной научно-технической конференции, посвященной 230-летию основания МИИГАиК. Вып. 2.- **Ч. II**, МИИГАиК, М.: 2009.
6. Кравчук И.М. Особенности вычисления нормальных высот по результатам спутниковых измерений // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка», № 4, М.: МИИГАиК, 2010.
7. Гайрабеков И.Г., Кравчук И.М. Оценка точности результатов спутникового нивелирования // Геодезия и картография. № 10, 2010.

Малинников Василий Александрович – доктор технических наук, профессор,



ректор университета, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК). E-mail: geofak@miigaik.ru

Клюшин Евгений Борисович – доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная геодезия», Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК). E-mail: prgeodesi@mail.ru

Калугин Владимир Васильевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Прикладная геодезия», Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК). E-mail: prgeodesi@mail.ru

Шлапак Василий Викторович – кандидат технических наук, профессор, декан геодезического факультета, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК). E-mail: geofak@miigaik.ru

Malinnikov Vasily A. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of the University, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK).
E-mail: geofak@miigaik.ru

Klyushin Eugene B. – Doctor of Technical Sciences, Professor of Applied Geodesy, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK).
E-mail: prgeodesi@mail.ru

Kalugin Vladimir V. – candidate of Technical Science, Professor of Applied Geodesy, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK).
E-mail: prgeodesi@mail.ru

Shlapak Vasily V. – candidate of Technical Science, Professor, Dean of the Faculty of Geodesy, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK).
E-mail: geofak@miigaik.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

К 621.18.021

МЕТОД ПРОГНОЗА КОЛИЧЕСТВА ПОВРЕЖДЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ ТЭС И АЭС

В.К. Семенов, А.А. Беляков

<i>Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина</i>	<i>Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin</i>
--------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------

Предлагается стохастическая математическая модель, позволяющая с точностью до флуктуаций прогнозировать число повреждений паропроводов на ТЭС и АЭС. Модель основана на уравнении Колмогорова, полуэмпирическом уравнении роста среднего числа повреждений и результатах регрессионного анализа данных обследования состояния паропроводов.

Ключевые слова: стохастическая модель, регрессионный анализ, повреждение, прогнозирование, трубопровод.

The stochastic mathematical model allowing to predict the number of damages of steam lines at thermal station and nuclear power plant to within fluctuations is offered. The model is based on Kolmogorov's equation, the semiempirical equation of increasing an average number of damages, and results of regressive analysis of the data of inspection the condition of steam lines.

Keywords: stochastic model, regressive analysis, damage, prognostication, pipeline.

Большинство ТЭС и АЭС, работающих в России, эксплуатируются уже в течение длительного времени и приближены к исчерпанию своего срока службы. Надежность паропроводов имеет большое значение для надежности энергоблока в целом. На многих установках паропроводы работают без замены с момента начала эксплуатации, поэтому в них имеется значительное накопление повреждений, приводящих к возникновению макроскопических трещин. Часто зародыши таких трещин, вызванные несовершенством технологии производства, содержатся в материале еще до введения его в эксплуатацию. [1] В процессе эксплуатации под действием тепловых и динамических нагрузок происходит развитие трещин до опасных размеров, что может привести к аварийной ситуации. Четверть всех повреждений паропроводов отечественных ТЭС являются опасными. К ним относятся разрывы различных элементов – гибов, сварных соединений, реже прямых участков труб. По данным обследования наиболее повреждаемыми элементами являются сварные угловые швы в местах приварки штуцеров (45% общего количества повреждений), стыковые сварные соединения (36%) и гибы (14%). [2] На атомных и тепловых станциях регулярно проводятся мероприятия по контролю толщин стенок элементов трубопроводов с целью выявления мест износа. Повреждения элементов энергоблоков должны устраняться при проведении плановых ремонтов. Поскольку проведение ремонтных работ связано с большими затратами материальных и трудовых ресурсов, то возникает необходимость прогнозирования объема плановых работ для отдельных элементов конкретной станции.

Коррозионное и механическое растрескивание паропроводов определяются целым комплексом условий: накоплением отложений продуктов коррозии, тепловым и динамическим режимом работы, внешними механическими воздействиями, наличием химически активных частиц, и пр. Поскольку многие причины повреждения паропроводов являются неконтролируемыми, то на процесс накопления дефектов следует смотреть, как на стохастический, и исходить из вероятностных представлений.

Существует весьма сложная методика расчета надежности и прогнозирования остаточного ресурса оборудования по физико-статистической модели “нагрузка-несущая способность”. [3] Эта методика основывается на сборе большого количества экспериментальных данных по толщинометрии трубопроводов и действующих на них нагрузок (давление, температура, механические нагрузки и пр.). Далее производится подбор законов распределения случайных величин нагрузок и толщины трубопроводов, а также вида функции усталости и ее параметров. На основе этих данных проводится прочностной расчет, определяется минимально допустимая толщина трубопроводов, прогнозируется остаточный ресурс и даются рекомендации по техническому обслуживанию. Реализовать такой подход в условиях практики весьма проблематично.

Нами предлагается следующая математическая модель прогноза, основанная на минимальном количестве информации о состоянии паропровода. Состояние паропровода (системы) будем характеризовать числом повреждений N , причем, если интервал времени мал, то и изменение состояния системы тоже мало, т.е. за малое время наиболее вероятны переходы, в результате которых число N изменяется незначительно, а большие изменения числа N – маловероятны. Так как повреждения возникают непрерывно, а время от времени, то процесс по переменной N является дискретным. В таких условиях эволюцию системы можно рассматривать, как непрерывный во времени и дискретный по числу N стохастический процесс марковского типа. [4] Состояние системы будем характеризовать вероятностью $P(N_0, t_0; N, t)$ того, что система, имевшая в момент времени N_0 повреждений, к моменту t будет иметь N повреждений. Также введем в рассмотрение величину $Q(N, t)dt$ – вероятность появления повреждения за время dt . Эта вероятность определяет средний поток повреждений в системе. В самом деле, вероятность появления двух повреждений за время dt равна $[Q(N, t)dt]^2$. Она представляет собой величину второго порядка малости по dt и ею можно пренебречь. Тем более, можно пренебречь вероятностями появления трех и большего числа повреждений за время dt . Таким образом, среднее число повреждений, появляющихся в системе за время dt , будет равно:

$$0[1 - Q(N, t)dt] + 1 \cdot Q(N, t)dt = Q(N, t)dt .$$

Следовательно, средний поток повреждений равен $Q(N, t)$.

Найдем вероятность $P(N_0, t_0; N, t+dt)$. Эта вероятность складывается из вероятности того, что к моменту времени t уже имелось N повреждений и за время dt ни одного повреждения не возникло, и из вероятности того, что к моменту t имелось $N-1$ повреждений, но к моменту $t+dt$ появилось еще одно. Возможность появления за время dt двух и большего количества повреждений исключается, т.к. вероятности этих событий второго и более высокого порядка малости. Следовательно,

$$P(N, t + dt) = P(N, t)[1 - Q(N, t)dt] + P(N - 1, t)Q(N - 1, t)dt$$

Раскладывая левую часть уравнения в ряд Тейлора и ограничиваясь линейными членами разложения, имеем:

$$\frac{\partial}{\partial t} P(N, t) = P(N-1, t)Q(N-1, t) - P(N, t)Q(N, t). \quad (1)$$

Полученное уравнение в теории марковских процессов называется уравнением чистого размножения и представляет собой частный случай уравнения Колмогорова. [4] Для краткости записи аргументы N_0 и t_0 опущены. Заметим, что при $N=N_0$ правая часть уравнения не должна содержать первого слагаемого. Как правило, зависимость $Q(N)$ нелинейная, поэтому решение уравнения (1) можно найти только численными методами при помощи вычислительной техники. Между тем, для практики достаточно знать, как ведут себя средние числа повреждений и их флуктуации. Для знания этих величин не требуется определения явного вида функции распределения.

Вначале найдем уравнение для среднего числа повреждений. С этой целью умножим левую и правую части уравнения (1) на N и просуммируем по всевозможным значениям числа повреждений от 0 до ∞ . После несложных преобразований, получим:

$$\frac{d \langle N \rangle}{dt} = \langle Q(N, t) \rangle. \quad (2)$$

Уравнение (2) имеет очевидный физический смысл: скорость роста повреждений в системе определяется средним потоком повреждений. Однако, для того, чтобы им воспользоваться, нужно перейти от среднего потока к потоку от среднего числа повреждений. Для этого разложим $Q(N)$ в ряд Тейлора вблизи $\langle N \rangle$:

$$Q(N) \approx Q(\langle N \rangle) + \frac{1}{2} \frac{dQ(\langle N \rangle)}{dN} (N - \langle N \rangle) + \frac{1}{2} \frac{d^2 Q(\langle N \rangle)}{dN^2} (N - \langle N \rangle)^2$$

Усредняя по N , получим:

$$Q(N) \approx Q(\langle N \rangle) + \frac{1}{2} \frac{d^2 Q(\langle N \rangle)}{dN^2} \Delta.$$

При малой дисперсии распределения $\Delta = \langle (N - \langle N \rangle)^2 \rangle$ вторым слагаемым можно пренебречь:

$$\frac{d \langle N \rangle}{dt} \approx Q(\langle N \rangle). \quad (3)$$

На детерминированном уровне описания именно это уравнение должно лежать в основе всех теорий накопления числа повреждений в системе. Заметим, что в случае линейной зависимости $Q(N)$ это уравнение становится точным.

Выведем теперь уравнение для дисперсии распределения:

$$\Delta = \langle (N - \langle N \rangle)^2 \rangle = \langle N^2 \rangle - \langle N \rangle^2.$$

После элементарных вычислений, получим:

$$\frac{d\Delta}{dt} = 2 \left(\frac{dQ}{dN} \right)_{N=\langle N \rangle} \cdot \Delta + Q(\langle N \rangle, t). \quad (4)$$

Если в зависимости $Q(N, t)$ переменные разделяются, то вместо времени t можно ввести новую переменную $\langle N \rangle$, разделив уравнение (4) на уравнение (3)

$$\frac{d\Delta}{d\langle N \rangle} = 2\Delta \frac{d}{d\langle N \rangle} [\ln A(\langle N \rangle)] + 1.$$

Полученное уравнение является линейным и интегрируется в квадратурах:

$$\Delta = \frac{Q^2(\langle N \rangle)}{Q^2(\langle N_0 \rangle)} \left[\Delta_0 + Q^2(\langle N_0 \rangle) \int_{\langle N_0 \rangle}^{\langle N \rangle} \frac{dN}{Q^2(N)} \right]. \quad (5)$$

Аналогичным образом можно найти уравнения для третьего момента распределения $\Gamma = \langle (N - \langle N \rangle)^3 \rangle$, характеризующего меру асимметрии распределения вероятностей. Опуская вычисления, приведем лишь окончательный результат

$$\frac{d\Gamma}{dt} = 3Q'\Gamma + 3Q'\Delta + Q.$$

Итак, на основании уравнений (3) и (5) определяется среднее число повреждений и их флуктуация $\sqrt{\Delta}$:

$$N(t) = \langle N(t) \rangle \pm \sqrt{\Delta(t)}.$$

Для практического использования полученных результатов необходимо сформулировать полуэмпирический закон роста числа повреждений паропроводов. Обозначая число потенциально опасных мест на трубопроводе через N_p считая число повреждений пропорциональным числу неповрежденных потенциально опасных мест $N_p - \langle N \rangle$, получим следующее уравнение для числа повреждений в момент времени $t+dt$:

$$\langle N(t + dt) \rangle = \langle N(t) \rangle + \lambda(t)(N_p - \langle N \rangle)dt.$$

Отсюда:

$$\frac{d\langle N^* \rangle}{dt} = \alpha(t)(1 - \langle N^* \rangle). \quad (6)$$

Здесь $N^* = \frac{N}{N_p}$ – нормированное число повреждений.

Подставляя (6) в уравнение для дисперсии распределения (5) при $\Delta_0=0$, получим:

$$\frac{\Delta}{N_p} = \langle N^* \rangle (1 - \langle N^* \rangle).$$

В процессе планово-предупредительных ремонтов имеет место частичное восстановление объекта, поскольку поврежденные участки ремонтируются (завариваются, вырезаются и заменяются). При этом остальные опасные участки остаются прежними, что приводит к старению материала опасных участков и ускоренному росту новых повреждений. Поэтому коэффициент α следует считать зависящим от времени: $\alpha = \alpha_0 + 2\alpha_1 t + 3\alpha_2 t^2$. Определение количества коэффициентов идентификации α_0 , α_1 , α_2 и их значений осуществляется методом регрессионного анализа результатов обследования конкретных паропроводов.

Интегрируя уравнение (6), получим

$$N^* = 1 - \exp\left(-\int_0^t \alpha(t) dt\right),$$

при этом $\int_0^t \alpha(t) dt = g(t) = \alpha_0 t + \alpha_1 t^2 + \alpha_2 t^3$.

Зависимость числа дефектов, возникших за год ΔN от времени носит скачкообразный характер, поэтому следует строить интегральную кривую зависимости суммарного числа повреждений от времени. По полученной зависимости можно будет определить прирост числа повреждений за тот или иной промежуток времени.

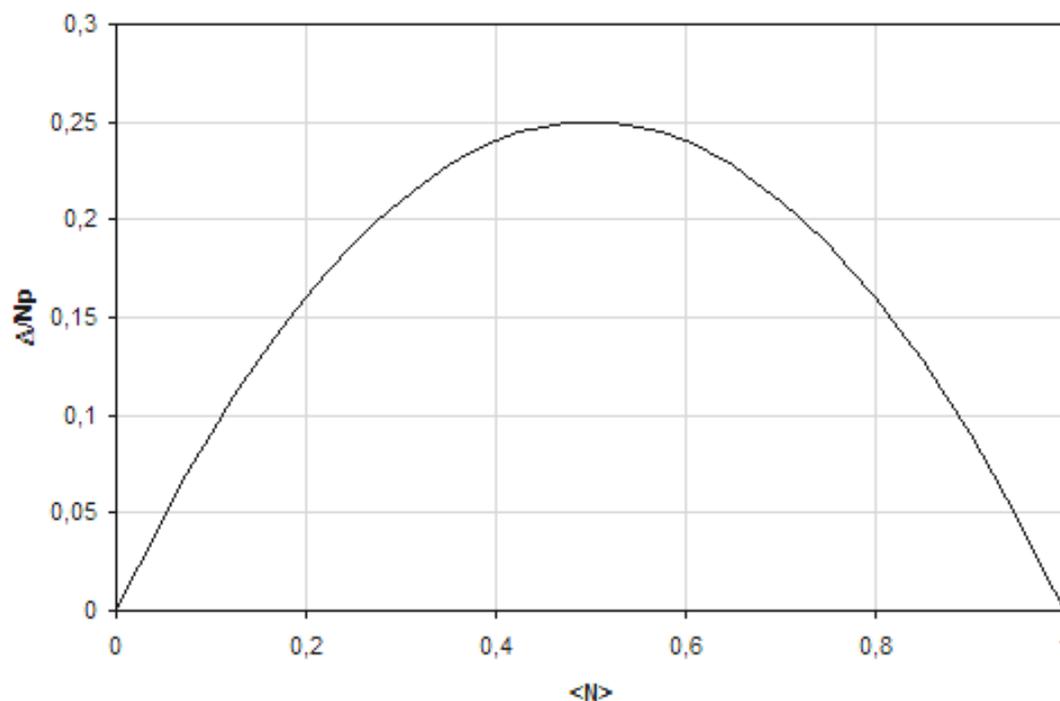


Рисунок 1– График зависимости дисперсии распределения от среднего числа дефектов

На рисунке 1 представлен график зависимости дисперсии распределения от среднего числа дефектов при нулевой начальной дисперсии. Из графика видно, что

дисперсия достигает максимального значения при $\langle N \rangle = \frac{1}{2} N_p$, тогда как в начале процесса и в конце дисперсия равна нулю.

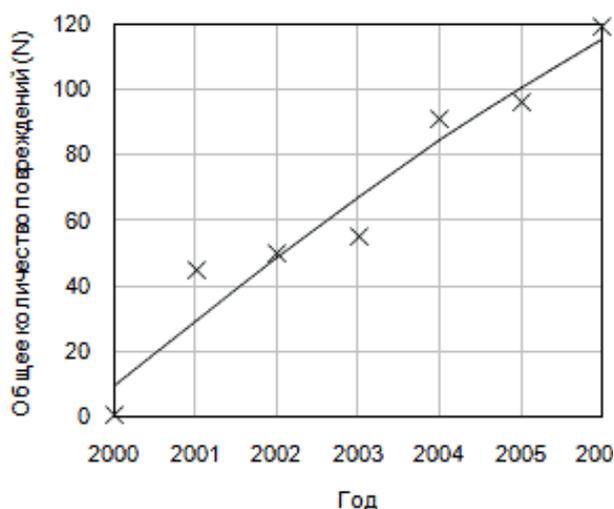


Рисунок 2— Данные расчета повреждений паропроводов 2-го блока Рязанской ГРЭС
 — расчетное число повреждений паропроводов
 × фактическое число повреждений паропроводов

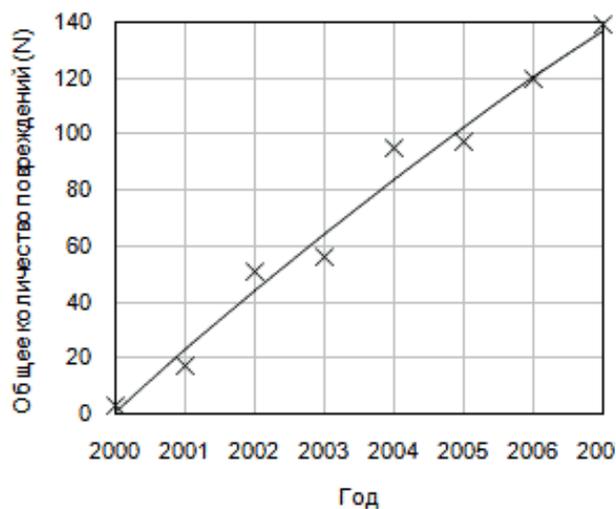


Рисунок 3— Данные расчета повреждений паропроводов 3-го блока Рязанской ГРЭС
 — расчетное число повреждений паропроводов
 × фактическое число повреждений паропроводов

На рисунках 2, 3 в качестве примера представлены результаты прогноза повреждений паропроводов блоков №2 и №3 Рязанской ГРЭС. Как видно из графиков, кривые регрессии оказываются разными для разных паропроводов. Этим подтверждается, что прогноз следует проводить для конкретного паропровода, а не для среднестатистического.

Верификация, полученных в расчете, данных осуществляется путем отбрасывания последней известной точки статистических данных и сравнения её с точкой, полученной расчетным путем по следующей формуле:

$$\delta = \frac{N_{\text{ист}} - N_{\text{прогноз}}}{N_{\text{ист}}},$$

где $N_{\text{ист}}$ — реальное количество повреждений, известное по результатам обследования, а $N_{\text{прогноз}}$ — число прогнозируемых повреждений.

Для верификации прогноза использовались результаты обследования трубопроводов шести блоков Рязанской ГРЭС. Точность прогноза накопления дефектов составляет 86–100%, что говорит о состоятельности предложенной математической модели и возможности применения данного подхода для оценки примерных объемов ремонтных работ.



Литература

1. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984.
2. Живучесть паропроводов стареющих тепловых электростанций. / Под ред. Ю.Л. Израилева, Ф.А. Хромченко. – М.: Изд-во «ТОРУС ПРЕСС», 2002.
3. Острейковский В.А. Старение и прогнозирование ресурса оборудования атомных станций.– М.: Энергоатомиздат, 1994.
4. Баруча-Рид А.Т. Элементы теории марковских процессов и их приложения. – М.: Наука, 1969.

Семенов Владимир Константинович – д.т.н., профессор, Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина.
E-mail: oh_behave@mail.ru

Беляков Андрей Александрович – аспирант, Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина. E-mail: oh_behave@mail.ru

Semenov Vladimir Konstantinovich – Doctor of Technical Science, Professor, Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin.
E-mail: oh_behave@mail.ru

Belyakov Andrey Alexandrovich – postgraduate student, Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin. E-mail: oh_behave@mail.ru

УДК 621.316.925

ПОСТРОЕНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК 6 – 10 КВ С ФУНКЦИЯМИ УПРЕЖДЕНИЯ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ

В.И. Нагай, А.В. Украинцев, А.В. Луконин

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)	South-Russian State Technical University (Novochercassk Politechnical Institute)
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Одной из проблем эксплуатации сетей 6-10 кВ является возникновение аварийных режимов, самыми распространенными из которых являются однофазные замыкания на землю. Зачастую такие замыкания переходят в междуфазные короткие замыкания, сопровождающихся открытой электрической дугой внутри замкнутого объема закрытых электроустановок. Данная проблема обусловлена несовершенством конструкции такого рода электроустановок и недостаточным уровнем совершенства их защиты.

В статье приводятся основные требования к защитам, объединяющим в себе функции защит от однофазных замыканий на землю и дуговых защит. Выполнен анализ вариантов построения таких защит, приведены рекомендации по установке защит с различным числом каналов и датчиками различных типов.

Ключевые слова: электроустановки 6-10 кВ, однофазные замыкания на землю, дуговое замыкание, электрическая дуга, защита от замыканий на землю, дуговая защита.

The appearance of emergency regimes is one of the troubles of operation in the 6-10 kV network. The most extended regime is single-phase earth fault. Often such faults transforms into short-circuit between phases accompanying by the open electric arc inside indoor switchgear. This problem is caused by the imperfection of the constructions and by the insufficient level of defence of the high-voltage switchgear.

The article contains basic requirements for protections which unites in itself functions of protections of single-phase earth faults and arc protections. The analysis of the versions of protections' construction is executed, recommendations regarding the installation of the protections with different number of channels and sensors are given.

Keywords: electrical facility 6-10 kV, single-phase earth fault, open electric arc, earth fault protection, protection against open electric arc.

подавляющее большинство электрических сетей напряжением 6-10 кВ работают в режиме с изолированной нейтралью. Как известно, в сетях с изолированной нейтралью замыкание фазы на землю не является коротким замыканием и не требует немедленного отключения. [1] Это позволяет сохранить сети в работе при длительных замыканиях фазы на землю путем определения, выделения и отключения места повреждения. Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) по месту возникновения можно разделить на две группы: внешние ОЗЗ, возникающие на, отходящих от КРУ, кабельных и воздушных линиях и внутренние ОЗЗ, возникающие на шинах, шинных

мостах комплектных распределительных устройств и в отсеках высоковольтных выключателей ячейек (рис.1).

В настоящее время в большинстве случаев на защиты от ОЗЗ возлагаются функции неселективной сигнализации, или же функции выявления поврежденного присоединения с действием на его отключение. При этом выявлению ОЗЗ в ячейках КРУ и на шинах не уделяется внимание. Большинство современных защит от ОЗЗ выполнены в виде отдельных децентрализованных устройств, устанавливаемых в релейных отсеках ячейек и подключаемых к трансформаторам тока нулевой последовательности TA_N (рис. 2). Такое исполнение не позволяет включить в защищаемую защитой область шины, шинных мостов комплектных распределительных устройств и отсек высоковольтного выключателя ячейки, замыкание в этой области для всех устройств защиты будет внутренним. Например, при ОЗЗ на кабельной разделке, до места установки трансформатора тока нулевой последовательности TA_N (рис. 2). При этом повреждении защита рассматриваемого присоединения от ОЗЗ не срабатывает, т.к. ток нулевой последовательности протекает от сборных шин до места замыкания, не попадая в трансформатор тока TA_N . [2]

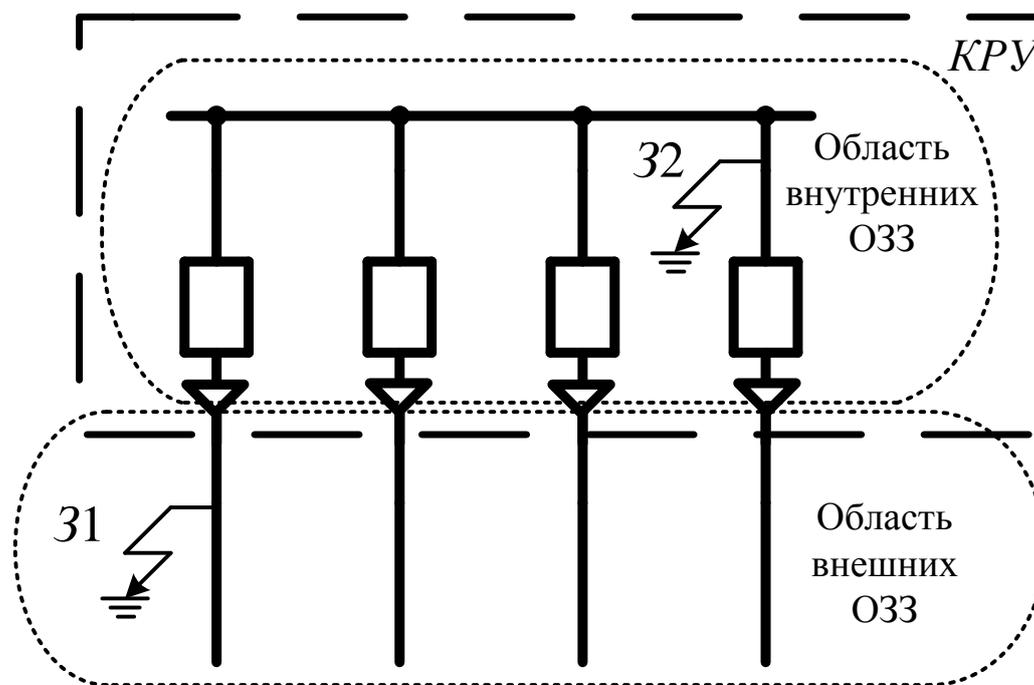


Рисунок 1 - Области возникновения замыканий на землю в электроустановках 6-10 кВ

При ОЗЗ существует возможность возникновения перемежающихся дуговых замыканий на землю, сопровождающихся большой кратностью перенапряжений на элементах сети. Совместное воздействие заземляющей дуги и перенапряжений создаёт весьма тяжёлые условия для работы изоляции. Термическое действие дуги и воздействие перенапряжений зачастую переводят однофазные замыкания на землю в многофазные короткие замыкания или множественные пробоя изоляции на повреждённой фазе. По данным опыта эксплуатации 60-80 % однофазных замыканий в сетях 6-10 кВ развиваются в междуфазные короткие замыкания, в том числе, сопровождаемые электрической дугой (ДКЗ) или множественные пробоя изоляции.

[3] Воздействие электрической дуги характеризуется мощным разрушающим воздействием, определяемым быстрым разогревом воздушной массы в зоне действия дуги до 15000 К и более, что вызывает значительное разрушение оборудования и опасность поражения персонала энергообъекта.

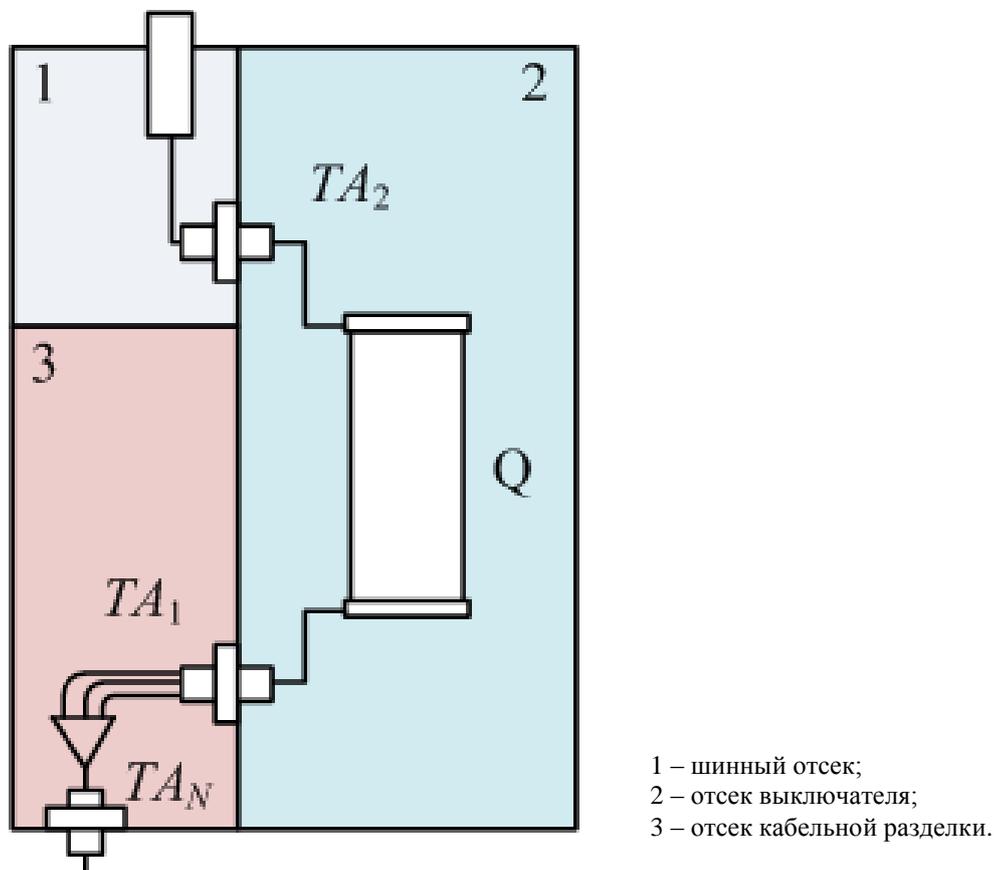


Рисунок 2 - Схема установки измерительных трансформаторов тока внутри отсеков ячейки

Аварийный режим (ДКЗ) возможно предотвратить в ряде случаев, в том числе, при определении развивающего дефекта изоляторов и проводников. При этом необходимым является контроль уровня изоляции токоведущих частей и выявление однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) внутри энергообъекта. Для этих целей необходимо использовать устройства со специальными алгоритмами функционирования, которые обеспечат максимальное быстродействие, селективность выявления поврежденного участка, высокую чувствительность и надежность. Данная задача является актуальной и востребованной на предприятиях энергетической сферы и смежных с ней областей.

В современных условиях, при наличии доступных и надежных микропроцессоров, становится возможным создание устройства релейной защиты, объединяющего функции как быстродействующей защиты от ДКЗ, так и функции контроля уровня изоляции токоведущих частей и выявления ОЗЗ внутри энергообъекта. Указанная защита должна обладать абсолютной селективностью и реагировать на возникший аварийный режим в соответствии со степенью её опасности. При возникновении ОЗЗ должно быть определено место повреждения и приняты меры по его локализации и/или ликвидации. При возникновении междуфазного короткого

замыкания или дальнейшем развитии ОЗЗ поврежденный элемент энергообъекта должен быть быстро отключен.

В настоящее время существует несколько вариантов построения защит, действующих селективно при замыканиях на землю на шинных мостах комплектных распределительных устройств и в отсеках высоковольтного выключателя ячейки (см. таблицу 1).

Самой простой защитой является максимальная токовая защита на основе локальных устройств. Данной защите присущ ряд недостатков: недостаточная чувствительность при замыканиях в сетях на присоединениях, сопоставимых по протяженности с суммарной протяженностью остальных линий, подключенных к шинам, неработоспособность при внутренних замыканиях на землю. Последнее может быть устранено при контроле всех органов тока.

Подобный эффект может быть достигнут при построении защиты с использованием дифференциального принципа, когда при внутренних и внешних повреждениях справедливы соотношения:

$$\sum I_{0i} > I_{уст} - \text{при внутреннем замыкании (K1)}, \sum I_{0i} < I_{уст} - \text{при внешнем (K2)}.$$

Токовые направленные защиты также могут селективно действовать при внутренних замыканиях. Принцип определения внутренних повреждений в таких видах защит представлен следующим образом: $F_{внутр} = U_0 \cdot \prod_{i=1}^n M_{0i}$.

По направлению мощности на каждом присоединении определяется зона повреждения. Направление мощности к шинам по всем присоединениям свидетельствует о внутреннем замыкании. При наличии одного присоединения с направлением мощности от шин в линию замыкание является внешним и отключается защитой на поврежденном присоединении.

Таблица 1 – Алгоритмы функционирования и функциональные возможности защит от ОЗЗ

	Тип защиты	Определение замыканий		Алгоритм функционирования	Примечание
		на шинах	на линиях		
1	2	3	4	5	6
1.	Токовая максимальная	-/+	+	$F_i = 1$ при $I_{0i} > I_{уст}$ $F_{внутр} = U_0 \cdot \prod \bar{I}_{0i}$	Возможно выявление замыканий на шинах при несрабатывании ни одного из органов тока.
2.	Токовая направленная	+	+	$F_i = M_i$ при $I_{0i} > I_{уст}$ $F_{внутр} = U_0 \cdot \prod \bar{M}_{0i}$	
3.	Дифференциальная токовая	+	-	$F_{внутр} = \sum I_{0i} > I_{уст}$	Невозможность определения поврежденного присоединения по принципу действия.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
4.	Токовая относительного замера	-	+	$F_i = 1$ при $I_{0i} > I_{0j \neq i}$	Работоспособна при трех и более присоединениях. Возможно излишнее срабатывание при повреждениях на шинах.
5.	Токовая с наложением сигналов	-/+	+	$F_i = 1$ при $I_{0i} > I_{0j \neq 1}$ $F_{внутр} = U_0 \cdot \prod \bar{I}_{0i}$	Возможно выявление замыканий на шинах при несрабатывании ни одного из органов тока.

Другим принципом построения защит с селекцией внутренних повреждений является принцип относительного замера токов отходящих от секции шин присоединений. При внутреннем замыкании на землю по всем присоединениям протекает только ток, обусловленный собственной емкостью присоединения, в отличие от внешнего замыкания, когда по поврежденному присоединению протекает ток, обусловленный емкостью всей сети, кроме собственной емкости присоединения. Таким образом, возможно излишнее срабатывание защиты присоединения с наибольшим током при внутренних повреждениях. Выделение виртуального присоединения позволяет избежать излишнего срабатывания и выявлять внутренние замыкания на землю.

Использование принципа наложения сигналов на защищаемую сеть позволяет обеспечить выявление внешних повреждений независимо от режима нейтрали сети, но, также как и другие принципы построения, несвободен от отказа при внутренних повреждениях. Контроль несрабатывания всех измерительных органов тока позволяет обеспечить селективное выявление внутренних повреждений.

Своевременное выявление внутреннего ОЗЗ и отключение поврежденного элемента позволяет предотвратить развитие замыкания в междуфазное, сопровождаемое электрической дугой. В то же время, оно не исключает возможности возникновения в КРУ междуфазных ДКЗ, селективное выявление и отключение которых должно выполняться защитой, обладающей функциями быстродействующей защиты от ДКЗ.

Степень и размеры повреждения от ДКЗ оборудования, находящегося внутри распределительных устройств, зависят от двух факторов: величины тока короткого замыкания на сборных шинах РУ и времени отключения повреждения. Повреждения отдельных элементов шкафа КРУ (изолятор, втычной контакт, кабельный наконечник и др.), как правило, сопровождаются открытой электрической дугой. Практика и многочисленные испытания [4], показывают, что если время отключения такого повреждения не превышает 0,25 с даже при токах КЗ 10-15 кА, то разрушается только дефектный элемент и повреждений других элементов и соседних шкафов не происходит. При больших значениях времени отключения и тех же токах, возникающая открытая электрическая дуга перемещается внутри шкафа и вызывает повреждение оборудования, в том числе в соседних ячейках и на сборных шинах.

Селективное выявление поврежденного присоединения является сложной задачей. Основные информационные признаки ДКЗ представлены в таблице 2. Функции защиты от ДКЗ могут быть реализованы на разных принципах. Так максимальные токовые защиты (МТЗ) обладают относительной селективностью и

являются наиболее простым способом защиты от ДКЗ – контролируют модули токов фаз, однако, существует необходимость ее согласования с защитами смежных элементов энергосистемы, что ограничивает ее применение.

Логическая защита шин (ЛЗШ) секций с разрешающей МТЗ вводной ячейки и блокирующей МТЗ ячеек отходящих присоединений, позволяет осуществить быстродействующую защиту, в зону действия которой входят сборные шины и выключатели. К недостаткам защиты можно отнести наличие «мертвой зоны», охватывающей отсеки измерительных трансформаторов и кабельной разделки, и необходимость контролировать направление мощности на присоединениях с мощными электродвигателями для обеспечения ее селективной работы в начальный момент КЗ.

Дифференциальные токовые защиты обладают абсолютной селективностью и принцип действия защиты базируется на том, что геометрическая сумма токов со всех сторон защищаемого объекта при отсутствии КЗ в нем равна нулю, а при наличии КЗ - равна току в месте повреждения. Такие защиты не нашли широкого распространения из-за необходимости установки дополнительных датчиков тока (трансформаторов тока) внутри электроустановки (TA_2), как показано на рисунке 2. Что позволяет выявлять повреждения в отсеках выключателя.

Таблица 2 – Информационные признаки ДКЗ и необходимые условия срабатывания защит от ДКЗ

№ п/п	Информационные признаки	Условие срабатывания	Абсолютная селективность	Быстродействие	Чувствительность	Отсутствие «мертвой» зоны
1	2	3	4	5	6	7
1.	Модуль тока	$I_{\phi} > I_{уст}$	-	+/-	+/-	+
2.	Модуль напряжения	$U_{\phi\phi} < U_{уст}$	-	+/-	+	+
3.	Наличие токов	$F = I_{\Pi} \cdot \prod_{i=1}^n \bar{I}_i$	+	+/-	+/-	-
4.	Сумма токов присоединений	$\sum_{i=1}^n I_i > I_{уст}$	+	+	+	-
5.	Аргументы токов	$\varphi_{уст} < \arg(\dot{I}_1 \dots \dot{I}_n) < \varphi_{2уст}$	+	+	+	-
6.	Симметричные составляющие токов	$I_{j\phi} > I_{уст}$	-	+	+/-	+
7.	Симметричные составляющие напряжений	$U_{j\phi} > U_{уст}$	-	+	+/-	+
8.	Модули гармонических составляющих напряжений	$ \dot{U}_{k\phi\phi} > U_{куст}$	-	+	+	+
9.	Мощность	$S_d > S_{уст}, U_{\phi\phi} < U_{уст}$	-	+	+	+
10.	Аварийные составляющие токов, напряжений	$I_{ав} > I_{уст}, U_{ав} > U_{уст}$	-	+	+	+

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
11.	Ортогональные составляющие токов и напряжений	$I_a > I_{уст}, I_p < I_{уст}$	-	+	-	+
12.	Скорость изменения напряжения / 11	$kdu/dt > U_{уст}$	-	+	+	+
13.	Сопротивление	$ z_{кз} < z_{уст}$	-	+	+	+
14.	Тепловое (световое) излучение	$W_m > W_{уст}, E_\delta > E_{уст}$	+	+	+	+
15.	Оптическая проницаемость среды	$E_{окр} > E_{уст}$	+	+/-	+/-	+/-
16.	Давление газовой среды	$p_z > p_{уст}$	+	+	+/-	+/-
17.	Фазовое соотношение сигналов светового потока и тока	$\varphi_{уст1} < (\dot{U}_2(E) \wedge \dot{I}_2) < \varphi_{уст2}$	+	+	+	+
18.	Электропроводимость окружающей среды	$Y_{ij} < Y_{уст}$	+	+	+/-	+/-
19.	Электромагнитное излучение	$E_\gamma > E_{уст}, H_m > H_{уст}$	+	+	+	+/-
20.	Температура окружающей среды	$T_{окр} > T_{уст}$	+/-	-/+	-/+	+/-
21.	Спектральный состав излучений	$E_\lambda > E_{\lambdaуст}$	+	+	+	-

Применение оптико-электрического принципа позволяет создать защиту электроустановки, которая в качестве основного информационного признака использует наличие токов через основной (TA_1) и дополнительный (TA_2) трансформаторы тока, что позволяет выявить ДКЗ в отсеках 2 и 3 соответственно. Пуск осуществляется от устройства, контролирующего параметр освещенности группы ячеек в исследуемом отсеке (рис.3)

Анализ технических решений защиты от повреждений, сопровождающихся электрической дугой, на российском рынке электротехнического оборудования показал, что ведущие разработчики используют появление электромагнитного излучения, в том числе, в видимом спектре частот, в качестве основного информационного признака такого повреждения. При этом нашли применение два типа оптических датчиков: сосредоточенные и распределенные. В качестве сосредоточенных оптических датчиков (СОД) применяются полупроводниковые фотоприборы (фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры) или волоконно-оптическая линия с поперечной воспринимающей частью (с линзой или без нее). Построение системы защиты при использовании СОД подразумевает анализ информации о повреждении в определенной точке объема защищаемого объекта. При этом защита имеет ограниченный угол обзора, и необходимо определять зоны с максимальной чувствительностью в защищаемом объекте для установки датчиков.

Применение радиальных линий связи возможно как с фото-, так и волоконно-оптическими датчиками с поперечной воспринимающей частью. Для фотодатчиков возможно использование общей шины, что позволяет оптимизировать подключение к устройству защиты. Для защит указанного типа свойственно одно- и многоканальный принцип построения устройств.

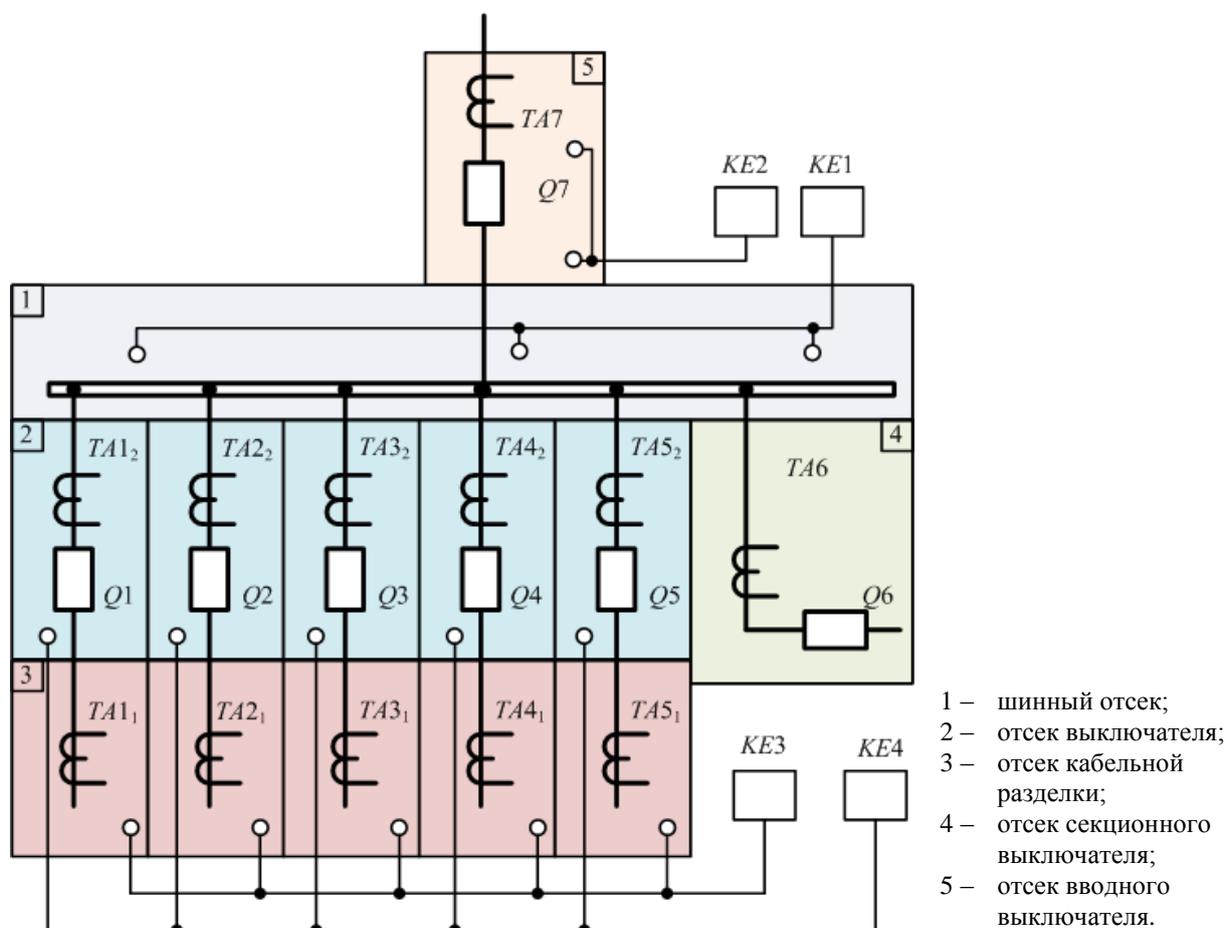


Рисунок 3 - Схема установки оптических датчиков в отсеках ячеек закрытого распределительного устройства

Применение распределенных оптических датчиков позволяет расширить зону, защищаемую устройством. В качестве распределенного датчика возможно использование продольной поверхности волоконно-оптической линии связи в качестве воспринимающего элемента. Такой датчик выполняется в виде «петли», охватывающей весь защищаемый объем, например, секция КРУ. К недостаткам такого входного каскада можно отнести сложность монтажа внутри ЗРУ, которая обусловлена необходимостью прокладки оптоволоконного кабеля вдоль всего защищаемого объекта. Аналогичным свойством обладает система сосредоточенных оптических датчиков с оптическими датчиками, включенными в параллель.

Построение релейной защиты электроустановок 6-10 кВ, обладающей функциями быстродействующей защиты от ДКЗ с возможностью упреждения развивающихся повреждений за счет выявления ОЗЗ внутри энергообъекта, позволяет повысить надежность работы электроэнергетических объектов, уменьшить негативные последствия ДКЗ. Построение такой защиты возможно осуществить путем объединения в систему разработанных в ЮРГТУ (НПИ) устройств защиты от замыканий на землю типа РНМ-03КИ, РЕНОМ-04(Л, Т) и устройств защиты от ДКЗ серии РДЗ.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. - М., Энергоатомиздат, 1986г.
2. Шалин А.И. Замыкания на землю в сетях 6-35 КВ. Случаи неправильных действий защит // Новости Электротехники №2(32) 2005.
3. Лихачев Ф.А. Заземление на землю в сетях с изолированной нейтралью и компенсацией емкостных токов. М., Энергия, 1971г.
4. Комплектные электротехнические устройства. Справочник: в 3 ч. Ч. 1. Комплектные распределительные устройства. – М.: Информаэлектро, 1999.– 168 с.

Нагай Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, декан Энергетического факультета, профессор каф. «Электрические станции», зам. директора НИИЭ ЮРГТУ(НПИ), Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). E-mail: nvi53@mail.ru, nagay@novoch.ru

Луконин Алексей Валерьевич - кандидат технических наук, Инженер НИИЭ ЮРГТУ(НПИ), Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). E-mail: npi08@mail.ru

Украинцев Александр Валерьевич – аспирант каф. «Электрические станции», Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). E-mail: xelandr@mail.ru

Nagay Vladimir Ivanovich - Doctor of Science, Professor, The dean of the energetic department, Professor of « Electrical Station », Deputy. Deputy Director NIIЕ SRSTU (NPI), South-Russian State Technical University (Novochercassk Politechnical Institute). E-mail: nvi53@mail.ru, nagay@novoch.ru

Lukonin Aleksei Valerevich –, Engineer NIIЕ SRSTU(NPI), South-Russian State Technical University (Novochercassk Politechnical Institute). E-mail: npi08@mail.ru

Ukrainev Alexander Valerevich – Postgraduate student of the department «Electric Station», South-Russian State Technical University (Novochercassk Politechnical Institute). E-mail: xelandr@mail.ru

УДК 621.039

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОМЫВОК НА ПАРОГЕНЕРАТОРАХ ПГВ-1000М

И.А. Якубенко, М.П. Павленко

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

Volgodonsk Engineering Technical Institute
the branch of National Research Nuclear
University «MPhI»

Рассмотрена модернизация системы химических промывок в сравнении со старой схемой и приведены примеры и результаты внедрения данной реконструкции на блоках АЭС России.

Ключевые слова: парогенератор; ППР; химическая промывка; коллектор; трубопровод; АЭС.

Modernization the system of chemical washings in comparison with the old one is considered in this article. The examples and the results of applying this reconstruction at nuclear power plants in Russia are also described.

Keywords: steam generator, preventative maintenance, chemical washing, collector, pipeline, nuclear power plant.

Для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации парогенераторов (ПГ) АЭС с ВВЭР-1000 необходимо своевременно удалять отложения с теплообменной поверхности труб и из объема ПГ. В отложениях происходит концентрирование коррозионно-активных примесей котловой воды, которое зависит от толщины и пористости отложений, а также от величины теплового потока. [1] При этом даже при относительно небольших концентрациях коррозионно-агрессивных примесей в котловой воде концентрация этих примесей в зоне максимальных отложений может достигать величин, приводящих к развитию коррозионного растрескивания теплообменных труб ПГ.

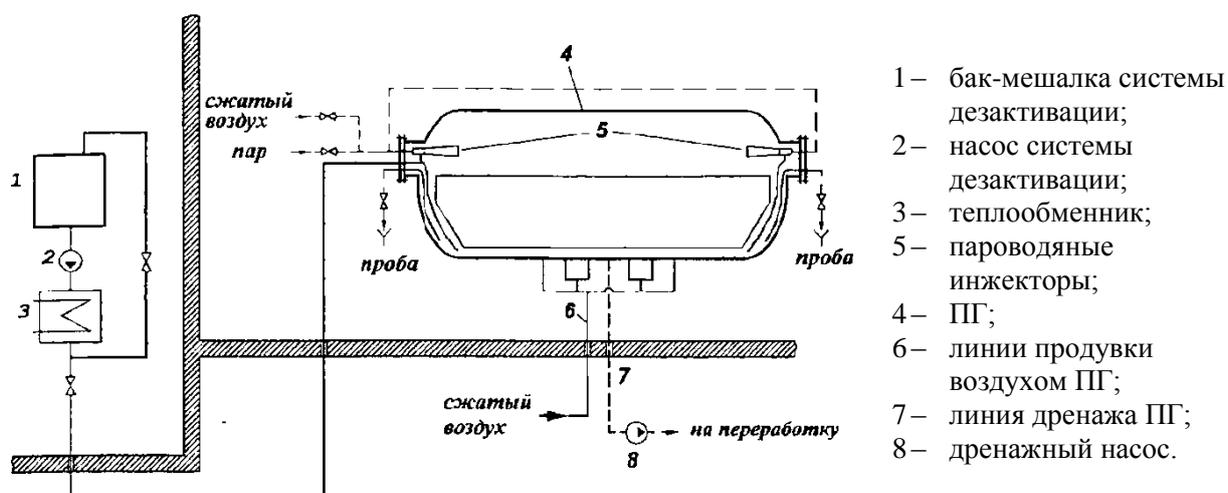


Рисунок 1 – Схема химической промывки ПГ в период ППР

Для химической промывки парогенераторов применяется установка, используемая в период планово-предупредительных ремонтов (ППР), [1] принципиальная схема которой приведена на рисунке 1. Для приготовления промывочных растворов и подачи их в ПГ используется оборудование системы дезактивации и временные инжекторы для лучшего растворения реагентов и подогрева раствора. Насос узла дезактивации перемешивает раствор через теплообменник, а затем подает по специально смонтированным трубопроводам в ПГ, который предварительно заполняется обессоленной водой.

Анализ проведенных химических промывок парогенераторов АЭС с ВВЭР-1000 в период ППР выявил определенные недостатки данной технологии:

- большие объемы аммиачных отмывочных растворов, подлежащих переработке;
- необходимость монтажа временных трубопроводов и пароводяных инжекторов для ввода и перемешивания растворов внутри ПГ;
- увеличение длительности простоя оборудования и, вследствие этого, рост продолжительности ППР.

Кардинальным решением проблемы является применение более технологичного способа промывки ПГ – при расхолаживании блока, так как в этом режиме промывочный раствор перемешивается без применения дополнительных устройств только за счет остаточного тепла и кипения. Температурные и временные особенности режима расхолаживания РУ предъявляют жесткие требования к технологии процесса промывки. Начало подачи раствора ограничивается температурой в ПГ не более 180°С по условию термической устойчивости химических реагентов ЭДТК и допустимому температурному перепаду между металлом корпуса ПГ и температурой дозируемого промывочного раствора. Окончание процесса промывки определяется температурой в ПГ, равной 100°С, при которой заканчивается кипение и прекращается перемешивание раствора. Таким образом, при расхолаживании со скоростью 15–30°С/ч ввод промывочного раствора и промывка ПГ как от отложений соединений железа, так и от отложений соединений меди проводятся примерно за 3–6 ч в один этап без промежуточного дренирования промывочных растворов.

Промывочный раствор в ПГ подается через резервный патрубок Ду 80, а раздача раствора внутри ПГ осуществляется с помощью специально смонтированного раздающего коллектора (рисунок 2). Конструкция раздаточного коллектора позволяет распределить промывочный раствор равномерно по длине ПГ.

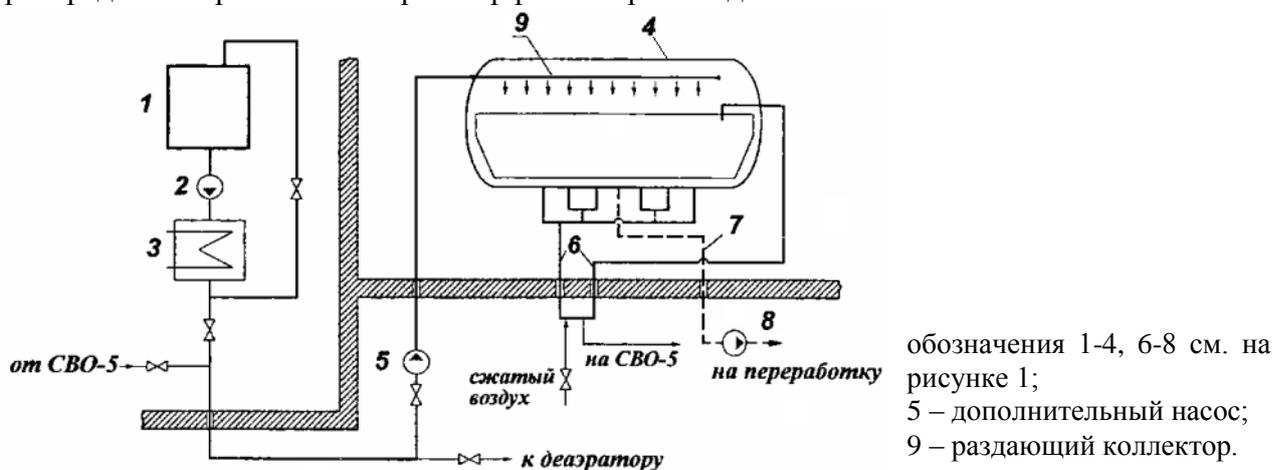


Рисунок 2 – Схема химической промывки ПГ при расхолаживании блока

Опытнo-промышленное опробование химической промывки ПГ при расхолаживании блока было проведено в июне 1992 г. на 1-м блоке Хмельницкой АЭС. С 1992 по 2002 г. на 1-м блоке Хмельницкой АЭС было проведено одиннадцать химических промывок. Снижение удельной загрязненности теплообменных труб ПГ в результате проведения однократной промывки составляет 40–80 г/м². Результаты осмотров и отбора отложений с теплообменных труб ПГ 1-го блока Хмельницкой АЭС свидетельствуют, что такой эффективности достаточно для поддержания удельной загрязненности теплообменной поверхности ПГ в пределах нормы (менее 150 г/м²) при периодичности промывки каждого ПГ один раз в 4 года. [1] Следует отметить, что за весь период эксплуатации 1-го блока Хмельницкой АЭС было заглушено всего 13 теплообменных труб ПГ, что составляет 0,03% их общего количества. При этом ни в одном случае причиной глушения не является коррозионное повреждение металла труб.

Промышленное применение способа промывки ПГ при расхолаживании блока подтвердило его основное преимущество – высокую технологичность:

1) нет необходимости монтировать в ПГ перемешивающие устройства (инжекторы) и прокладывать временные трубопроводы подачи промывочного раствора;

2) промывка не требует длительного времени, проводится параллельно с расхолаживанием блока и не задерживает ППР;

3) объемы отработанных растворов, подлежащих переработке, сравнительно невелики и содержат аммиак в небольшом количестве.

Недостатки и ограничения технологии промывки ПГ при расхолаживании блока являются следствием компромиссов, заложенных в ее основу с целью достижения высокой технологичности, но они не являются проблемой при условии тщательной подготовки персонала к проведению промывки.

После проведения промывок в некоторых случаях наблюдалось локальное осаждение меди на корпусе ПГ. Несмотря на то, что повышенное содержание меди в отложениях на корпусе ПГ не представляет опасности, в 1997 г. в технологию промывки были внесены изменения, направленные на исключение этого явления.

Как показали результаты проведенных химических промывок, [2] ее общая эффективность после доработки технологии значительно возросла, а эффективность отмытки от соединений меди оказалась на приемлемом уровне. При дренировании ПГ после промывки соотношение содержания меди и железа в сливаемом растворе примерно соответствует их соотношению в отложениях. При осмотре ПГ после промывки вторичного осаждения меди не обнаружено, что подтверждено анализом химического состава отложений.

Литература

1. Лукасевич Б.И., Трунов Н.Б., Драгунов Ю.Г., Давиденко СЕ. Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных электростанций. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 391 с: ил.

2. Результаты химических промывок парогенераторов на Волгодонской АЭС перед ППР-2005 и ППР-2006 / Архипов О.П., Брыков С.И., и др. ФГУП ОКБ «Гидропресс» 2007.

Якубенко Игорь Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрические и атомные станции», Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Павленко Максим Петрович – студент V курса, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» г. Волгодонск. E-mail: kro511@rambler.ru

Yakubenko Igor Alekseevich – candidate of Technical Science, associate professor, the head of Nuclear and power plants department, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI».

Pavlenko Maxim Petrovich – student of the 5 course, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk. E-mail: kro511@rambler.ru

УДК 621.3.049.77:621.31

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДАТЧИКИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ДЛЯ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ НА ОСНОВЕ ПОВЕРХНОСТНО ОБЛУЧАЕМЫХ ФОТОДИОДОВ НА ОСНОВЕ INASSB

Б.А. Матвеев, В.И. Ратушный, А.Ю. Рыбальченко, Г.Ю. Сотникова

<p><i>Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской Академии Наук; Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»</i></p>	<p><i>Physico-Technical Institute named after A.F. Ioffe, Russian Academy of Sciences; Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»</i></p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Проведен расчет основных характеристик оптических сенсоров углекислого газа на основе иммерсионных флип-чип светодиодов и высокочувствительных поверхностно облучаемых фотодиодов в среднем и инфракрасном диапазоне спектра на основе InAsSb. Показана перспективность применения таких сенсоров в системах безопасности атомных электростанций с графитовыми реакторами.

Ключевые слова: оптические сенсоры CO₂, поверхностно облучаемые фотодиоды.

The main characteristics of optical carbon dioxide sensors based on InAsSb flip-chip light-emitting diodes and highly sensitive surface illuminated photodiodes of mid-wavelength infrared range of the spectrum are estimated. Utility of these sensors application for the security arrangements at nuclear power plants with CO₂-cooled graphite moderated reactor is described.

Keywords: optical CO₂ sensors, surface illuminated photodiodes.

Важнейшей задачей безопасности ядерной энергетики является обеспечение безаварийной эксплуатации атомных электростанций (АЭС) и предотвращение радиоактивных выбросов в окружающую среду. Одним из решений данной задачи является использование графитовых реакторов (ГТР), характеризующихся существенно более высоким уровнем безопасности по сравнению с реакторами, использующими жидкий теплоноситель.

[1] В качестве теплоносителя в ГТР широко применяется CO₂, реакторы такого типа эксплуатируются в настоящее время, например, наряду с АЭС Великобритании.

[2] Перспективным способом дополнительного повышения безопасности таких АЭС является непрерывное наблюдение концентрации CO₂ в предреакторных зонах, позволяющее оперативно обнаружить нарушение герметичности активной зоны реактора и принять меры для предотвращения нештатной ситуации.

Для измерения концентрации CO₂ широко применяются оптические газоанализаторы, измеряющие пропускание среды на длине волны поглощения углекислоты $\lambda = 4.2 \mu\text{м}$. Достоинствами таких анализаторов являются высокое быстродействие, селективность, продолжительный срок службы, а также низкое рабочее напряжение и, соответственно, высокий уровень

езопасности.

Чувствительным элементом газоанализатора является газовый сенсор, содержащий кювету с анализируемым газом, источник и приемник излучения. Анализируемый газ модулирует интенсивность излучения источника в процессе прохождения по оптическому каналу кюветы. Сигнал, формируемый на выходе сенсора, зависит не только от концентрации анализируемого газа, но и от интенсивности зондирующего излучения, которая может изменяться, например, вследствие загрязнения оптических элементов. Поэтому в устройство сенсора обычно вводят опорный канал – дополнительную систему источник + приемник излучения, работающую в области спектра, в которой поглощение излучения анализируемым газом несущественно (см., например, [3]).

В работе [4] было показано, что изменением конструкции омических контактов в поверхностно облучаемых фотодиодах (ФД) на основе InAsSb можно добиться существенного увеличения фоточувствительности на длине волны поглощения углекислого газа (4.2 мкм), в том числе и при повышенных температурах (до 80° С), характерных для реакторной зоны АЭС.

В данной работе на основании модели, предложенной в [5], проводится анализ потенциальных возможностей сенсоров углекислого газа на основе иммерсионных светодиодов широкогополосных поверхностно облучаемых фотодиодов среднего волнового ИК диапазона, предложенных в [4].

Моделирование характеристик газового сенсора. Оптические газоанализаторы являются спектральными измерительными приборами, в основе работы которых лежит известный закон поглощения, связывающий интенсивность прошедшего через газ монохроматического излучения $I(\lambda)$ с концентрацией исследуемого газа C , длиной пути поглощения l и спектральным коэффициентом поглощения газа $\alpha(\lambda)$:

$$I(C, \lambda) = I_0(\lambda) \exp[-\alpha(\lambda)lC] \quad (1)$$

Преобразование входной величины C в измеряемую величину $I(C, \lambda)$ осуществляется измерительным преобразователем – газовым сенсором.



Рисунок 1 - Устройство газового сенсора

Пример устройства газового сенсора представлен на рисунке 1. Сенсор содержит источник зондирующего излучения I_0 –

СД типа LED42Su, работающий в области спектра $\lambda = 4.2$ мкм, к нему с анализированным газом приемники излучения. Опорный канал представлен дополнительным источником – СД типа LED36Su, излучающим в спектральной области $\lambda = 3.6$ мкм, в которой поглощение излучения атмосферой невелико; излучение СД фокусируется отражателем на широкополосный ФД типа PD42fsi, выполняющий функцию приемника.

Для практического применения газовых сенсоров крайне важными являются такие характеристики сенсоров, как чувствительность и точность измерений, а также диапазон температур, в котором ошибка измерений не превышает заданного значения. Данные характеристики могут быть рассчитаны на основании аналитических выражений для спектров поглощения газа, излучения источника и чувствительности приемника, а также температурных зависимостей этих спектров.

Излучательная (поглощательная) способность молекул газа в ИК области спектра обусловлена вибрационно-вращательным механизмом колебаний молекул. Спектр поглощения газа состоит из практически равномерно отстоящих друг от друга узких линий. Описание модели поглощения углекислого газа приведено в [5]; спектр коэффициента поглощения газа описывается выражением:

$$\alpha(\lambda) = \sum_i \frac{S(\lambda_i)}{\pi} \frac{\sigma}{\sigma^2 + (\lambda - \lambda_i)^2}, \quad (2)$$

где λ_i и $S(\lambda_i)$ – длина волны максимума и интегральная интенсивность i -той линии соответственно,
 σ – ширина линии на полувысоте, одинаковая для всех линий.

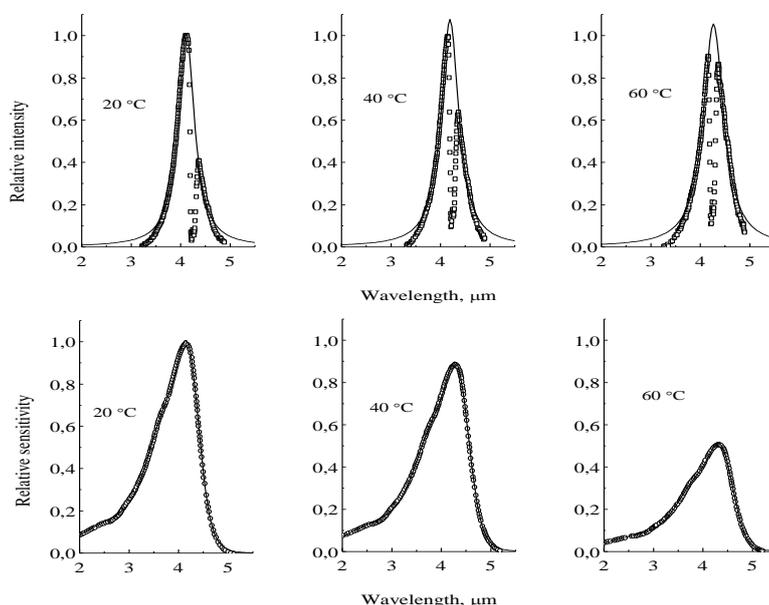


Рисунок 2 -

Экспериментальные (точки) спектральные характеристики светодиодов типа LED42Su (вверху) и фотодиодов типа PD42fsi (внизу) при различных рабочих температурах их математическое приближение с помощью стандартных функций (сплошные кривые)

На рисунке 2 представлены спектральные характеристики стандартных СД типа LED42

Sc(вверху)иФДтипаPD42FSI(внизу)совместноаппроксимирующимифункциямивидараспределенияЛоренца $L(\lambda_{max}, \Delta\lambda)$ дляСДисуммыраспределенийГаусса $G(\lambda_{max}, \Delta\lambda)$ дляФД:

$$I_{LED}(\lambda, T) = L(\lambda_{max}(T), \Delta\lambda) = \frac{I_0}{\pi} \frac{\Delta\lambda(T)}{\Delta\lambda(T)^2 + (\lambda - \lambda_{max}(T))^2}, \quad (3)$$

$$S_{PD}(\lambda, T) = S_0 [k_1 G_1(\lambda_{max}(T), \Delta\lambda(T)) + k_2 G_2(\lambda_{max}(T) - 0.41, 0.81) + k_3 G_3(\lambda_{max}(T) - 1.25, 1.72)] \quad (4)$$

ИзспектральныххарактеристикСД,ФДипоглощенияCO₂определяласьпередаточная функциясенсорапоформуле:

$$\tau(C, T) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{PD}(\lambda, T) I_{LED}(\lambda, T) \exp[-\alpha(\lambda)lC] d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{PD}(\lambda, T) I_{LED}(\lambda, T) d\lambda} \quad (5)$$

Нарисунке3представленыпередаточныефункции $\tau(C)$,рассчитанныедлятрехзначенийтемпературы.Каквидноизрисунка 3,передаточнаяхарактеристикаимеетширокуюполосунеопределенностивследствиесмещенияспектральныххарактеристикСДиФДприизменениитемпературы.

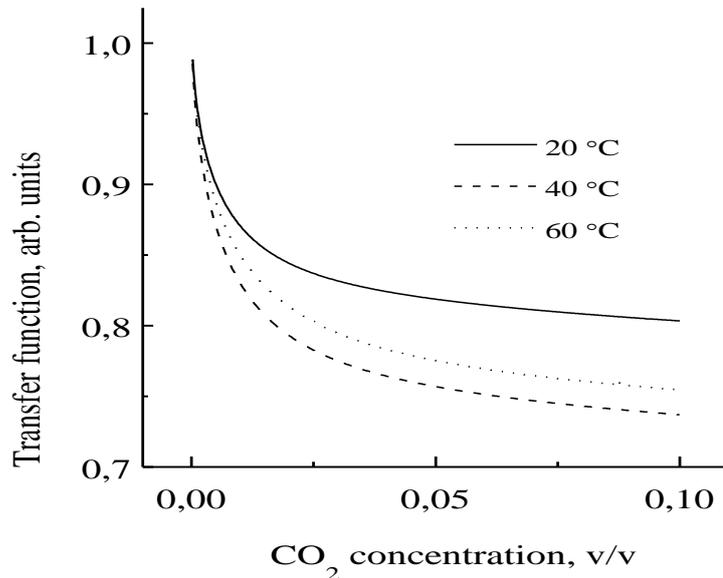


Рисунок3 -

Семействоаппаратныхфункций(а)ипередаточныххарактеристик(б)оптическогосенсорауглекислогогаздаляоптическойдлиныпоглощения10смвдиапазонекоцентраций0-10%пообъемупри температурах20,40,60°С

Другой важной характеристикой оптического сенсора, влияющей на точность измерений, является соотношение сигнал-шум, определяемое как $\Psi = aI_0/NEP$, где NEP – эквивалентная мощность шума фотоприемника, a – эффективность оптической системы, при расчетах принималось значение $a = 10\%$. Рассматриваемый ФД имеет низкое динамическое сопротивление при нулевом смещении ($R_0 < 50 \text{ Ом}$ при $t \geq 20^\circ\text{C}$). Согласно оценкам, сделанным в [6], для ФД с $R_0 < 50 \text{ Ом}$ современная элементная база не позволяет реализовать фотоприемное устройство (ФД + усилитель) с предельными характеристиками. Величина NEP определялась с учетом тепловых шумов ФД, а также шумов усилителя по формуле:

$$NEP = \frac{\sqrt{(4kT/R_0^2) + i_{n\text{ amp}}^2 + e_{n\text{ amp}}^2/R_0^2}}{S_I}, \quad (6)$$

где индекс m обозначены шумы, относящиеся к усилителю.

Величина токовой чувствительности S_I определялась с учетом спектральных характеристик источника и приемника излучения аналогично [7] для диапазона длин волн 3-5 мкм по формуле:

$$S_I = S_{PD}(\lambda_{max}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{PD}(\lambda) I_{LED}(\lambda) d\lambda / \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{LED}(\lambda) d\lambda \quad (7)$$

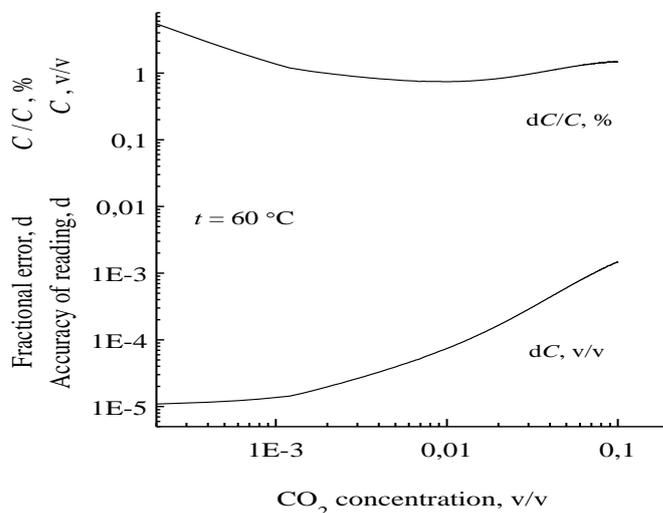
Шумовые характеристики сенсора, рассчитанные для быстрого действия 1 отсчет в секунду, представлены в таблице 1. При этом величина NEP определялась в соответствии с выражениями (6), (7) для СД типа LED42Su, ФД типа PD42fsi и усилителя типа AD797 с использованием данных, приведенных в [8] и [9] для диодов и усилителя соответственно. При расчете Ψ использовались данные мощности излучения и ее температурной зависимости с учетом допустимого отклонения мощности $\pm 25\%$ от номинала для СД типа LED42Sub в квазинепрерывном режиме работы. [8] Из таблицы 1 видно, что при повышении температуры от 20 до 60 °C соотношение сигнал-шум снижается на порядок вследствие снижения мощности излучения СД и повышения мощности шума фотоприемного устройства, вызванного уменьшением R_0 .

Таблица 1 - Характеристики сенсора

t, °C	R ₀ , Ом	NEP, Вт/Гц ^{1/2}	Мощность излучения СД, Вт	Соотношение сигнал-шума, Ψ
20	43	5.7E-11	1.9E-5	3.4E+4
40	20	1.2E-10	1.3E-5	1.1E+4
60	11	4.0E-10	9.0E-6	2.3E+3

Чувствительность сенсора $S(C)$ определяется наклоном передаточной характеристики ($S(C) = d\tau/dC$) и существенно различается для разных диапазонов измерения концентрации вследствие нелинейности функции $\tau(C)$. Если принять, что минимально регистрируемое изменение $d\tau$ равно $1/\Psi$, то абсолютная погрешность измерения может быть определена, как $dC = 1/(\Psi S(C))$; при этом относительная погрешность $\delta = dC/C$. Зависимости абсолютной и относительной

ьной погрешности измерений сенсора CO_2 $l=10$ см от концентрации CO_2 , рассчитанные при быстрой реакции и отсчете секунду и температуре $60^\circ C$, представлены на рисунке 4. Из рисунка 4 видно, что относительная погрешность не превышает 10% в диапазоне концентраций CO_2 .



02-10%, а предел обнаружения составляет ~10ppm.

Рисунок 4 - Зависимости абсолютной и относительной погрешности измерений сенсора CO_2 $l=10$ см от концентрации CO_2

Таким образом, для оптических сенсоров CO_2 на основе иммерсионных флип-чип светодиодов высокочувствительных широкополосных поверхностно облучаемых фотодиодов в средневолнового ИК-диапазона расчетным путем определены относительная погрешность измерения не более 10% и предел обнаружения ~10ppm в диапазоне температур 20-60 $^\circ C$, что обеспечивает перспективность применения таких сенсоров для контроля целостности активной зоны графито-газовых ядерных реакторов, использующих CO_2 в качестве теплоносителя.

Литература

1. Левин В.Е. Ядерная физика и ядерные реакторы. Учебник для техникумов. Изд. 4-е, перераб. и доп. М., Атомиздат, 1979, с. 200
2. База данных PRIS, <http://pris.iaea.org/public/>
3. Датчик диоксида углерода оптический ИГМ-0171. Руководство по эксплуатации.
4. Ильинская Н.Д., Закгейм А.Л., Карандашев С.А., Матвеев Б.А., Ратушный В.И., Ременный М.А., Рыбальченко А.Ю., Стусь Н.М., Черняков А.Е. ФТП, **46** (5), 708 (2012).
5. Александров С.Е., Гаврилов Г.А., Капралов А.А., Матвеев Б.А., Сотникова Г.Ю., Ременный М.А. ЖТФ, **79**(6), 112 (2009).
6. Гаврилов Г.А., Матвеев Б.А., Сотникова Г.Ю. Письма ЖТФ, **37**(18), 50 (2011).
7. Л.З. Криксунов. Справочник по основам инфракрасной техники. М., Сов. радио, 1978, гл. 6, с. 235.
8. Каталог фирмы Июффе ЛЕД, www.ioffeled.com
9. Каталог фирмы Analog Devices, www.analog.com



Матвеев Борис Анатольевич - доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Центра физики наногетероструктур, Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской Академии Наук, Санкт-Петербург.

Ратушный Виктор Иванович - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики и микроэлектроники ВИТИ НИЯУ МИФИ.

E-mail: VIRatushnyj@mephi.ru

Рыбальченко Андрей Юрьевич - соискатель кафедры физики и микроэлектроники ВИТИ НИЯУ МИФИ. E-mail: payalnik07@rambler.ru

Сотникова Галина Юрьевна - доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник отделения твердотельной электроники, Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской Академии Наук, Санкт-Петербург.

Matveev Boris A. - doctor of physics and mathematics, senior researcher Centre of Center for Physics nanoheterostructures, Physico-Technical Institute named after A.F. Ioffe, Russian Academy of Sciences, St.Petersburg

Ratushnyi Victor I. - doctor of physics and mathematics, professor, the head of the Physics and microelectronics department, Volgodonsk Engineering Technical Institute, NRNU «MEPhI». E-mail: VIRatushnyj@mephi.ru

Rybalchenko Andrey Y. - post graduated student of the Physics and microelectronics department, Volgodonsk Engineering Technical Institute, NRNU «MEPhI»

E-mail: payalnik07@rambler.ru

Sotnikova Galina Y. - doctor of physics and mathematics, senior researcher at the Department of Solid State Electronics, Physico-Technical Institute named after A.F. Ioffe, Russian Academy of Sciences, St.Petersburg.

**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 316.776.23

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: СОЦИАЛЬНАЯ ПРИЕМЛЕМОСТЬ ИЛИ ПРОТИВОСТОЯНИЕ

И.А. Куксин

*Донской государственный технический
университет**Don State Technical University*

В данной статье рассмотрены некоторые аспекты устойчивого развития и общественной приемлемости атомной энергетики в современных социально-экономических условиях. В этой работе актуализирован комплексный подход в обеспечении информационной открытости при реализации программы развития Ростовской АЭС.

Ключевые слова: информационная открытость; социальная приемлемость; общественное мнение; развитие атомной энергетики.

This article discusses some aspects of sustainable development and social acceptability of nuclear energy in the contemporary socio-economic conditions. In this work, the complex approach to provision of information transparency in the implementation of the programme of development of the Rostov NPP is considered.

Keywords: the informational openness; social acceptability; public opinion; the development of atomic energy.

В настоящее время в реализации инвестиционных проектов и инициатив важное место занимают вопросы информационного сопровождения. Способность соответствующих служб и подразделений предприятий и организаций качественно работать с органами власти, общественными организациями, СМИ и населением является составной частью эффективного достижения общих экономических, политических и социальных целей. Мировая практика показывает, что по такому показателю, как информационная открытость региона, отрасли, организации или предприятия, можно говорить об общей инвестиционной привлекательности, что является в определенной степени экономическим показателем. Еще одной составляющей, способной влиять на вопрос стабильности привлечения инвестиций, остается качество общественного мнения, лояльности или, напротив, неприятие основной массой населения выдвигаемых инициатив. Все эти вопросы требуют постоянного внимания и системного изучения.

Масштабное развитие ядерной энергетики в России сегодня напрямую зависит от того, как себя позиционирует атомная отрасль в открытом информационном пространстве, социальной среде. Об отношении представителей официальных институтов власти к развитию ядерного энергетического потенциала мы можем судить по официальным заявлениям и принимаемым решениям. Одним из критериев оценки отношения населения считаются социологические замеры в городах присутствия предприятий отрасли.

Проведенные в январе 2010 г. по заказу ГК «Росатом» группой ЦИРКОН исследования в Ростовской области показали, что «население области относится к станции весьма настороженно. Больше половины жителей (63%) видят в наличии АЭС в

их регионе больше плохого, лишь 20% опрошенных респондентов настроены по отношению к АЭС положительно. Мнение жителей Волгодонска (города присутствия АЭС) отличается от позиции, как населения области в целом, так и жителей областного центра, в лучшую сторону; тем не менее, и здесь ответам отрицательной модальности принадлежит абсолютное большинство (53%)». [1]

Наиболее распространенными негативными стереотипами в отношении АЭС являются представления о ее неблагоприятном воздействии на экологию, повышенном радиационном фоне в регионе присутствия (такое мнение разделяет больше трети опрошенных в области – 38%), а также об отсутствии материальных преимуществ у населения области от присутствия АЭС («АЭС есть, а электричество дорогое, станция в большей степени работает на другие регионы, чем на свой»), такие ответы были получены в 18% случаев. [1]

Это исследование проводилось в нескольких регионах европейской части РФ. Самая сложная ситуация по уровню общественной приемлемости объектов ядерной энергетики остается в Ростовской области. Вероятно, что столь негативному рейтингу способствовали два неплановых отключения на энергоблоке №1 Ростовской АЭС, случившиеся в декабре 2009 г. и январе 2010 г. К негативным факторам специалисты относят отмену льгот, высокие тарифы в регионе на электроэнергию, а также устойчиво высокий уровень протестных настроений, сформировавшийся после трагических событий на Чернобыльской АЭС в 1986 г., и за время консервации АЭС с 1990 по 98 гг. Специалисты считают, что этот фактор связан и с относительно непродолжительным временем эксплуатации Ростовской АЭС. (Ростовская АЭС самая молодая из 10 действующих в РФ атомных станций. Первый блок сдан в эксплуатацию в 2001, второй – в 2010 г.)

На государственном уровне отрасль выделена в один из пяти федеральных стратегических проектов, способных принести дивиденды, как в развитии отечественной экономики, так и на международной арене. Госкорпорация «Росатом» декларирует, что «свою деятельность, как социально ответственная компания, устойчивое развитие которой способствует благополучию регионов и территорий расположения ее предприятий. Большое внимание уделяется выстраиванию коммуникаций с представителями гражданского общества, общественными и экологическими организациями в регионах присутствия». [2]

Соответственно и руководство ОАО «Концерн Росэнергоатом», в чьем ведении находятся все российские АЭС, заявляет, что «приложит все усилия для создания атмосферы открытости, доверия и поддержания духа сотрудничества в целях повышения безопасности, и надежности и экономической эффективности действующих АЭС». [3] Аналогичный документ «Об информационной открытости» действует и на Ростовской АЭС. В 2008 г. в г. Волгодонске для работы с населением был открыт информационный центр. К настоящему времени лекции о развитии атомной энергетики в мире и России, экологической безопасности и экономической эффективности АЭС прослушало более 20 тыс. чел. В 2010 г. в Ростове-на-Дону одним из первых в стране был открыт информационный центр по атомной энергии, через который прошло около 10 тыс. школьников и педагогов области. Проводимые на выходе, опросы говорят о том, что, как правило, учащиеся старших классов, а также студенты техникумов и технических вузов начинают формировать положительное отношение к атомной отрасли после получения необходимых знаний. Этому процессу способствует демонстрация открытости, информационная прозрачность и способность специалистов АЭС создать комфортные условия во время лекций.

Это первый опыт системной работы с населением по основам ядерной энергии в Ростовской области. Подобная модель принята во многих странах, развивающих атомную энергетику. Однако, даже в странах с развитой и стабильно функционирующей экономикой отношение населения к атомной энергетике способно серьезно меняться в зависимости от внутренних и внешних факторов.

В качестве примера того, что отношение к атомной энергетике населения одной страны зависит от событий на АЭС в другой, свидетельствуют последствия землетрясений в Японии в марте 2011 г. По данным ВЦИОМ, проводивших социологическое исследование после событий на АЭС «Фукусима-1», идею, полностью отказаться от использования АЭС в России – по примеру Германии, Италии и других стран, поддержало бы большинство россиян (57%). Против высказалось только 20% опрошенных. В числе сторонников такой идеи – прежде всего сельские жители (62%) и малообразованные респонденты (59–62%), россияне со средними и низкими доходами (58–59%).[4]

Очевидно, что по мере укрепления позиций ГК «Росатом» на федеральном уровне будет нарастать внимание к деятельности предприятий, входящих в структуру корпорации на региональном и местном уровнях. Мы полагаем, что в такой ситуации возможна дифференциация на сторонников, активных противников продвижения ядерных технологий, а также людей, не определившихся в своем отношении. Сопутствующими условиями формирования интереса к отрасли в настоящее время являются: развитие демократических процессов в обществе, появление новых технологий распространения информации (наиболее характерный пример – блогосфера, социальные сети, живые журналы и т.д.), повышение качественного уровня жизни и образования.

Отношение общественности к развитию атомной отрасли в настоящее время напрямую связано с ходом экономических реформ в стране, неустойчивой социальной обстановкой в обществе, отсутствием у основной массы населения базовых знаний, что является почвой для существования негативных стереотипов, а также способностью противников ядерной энергетики использовать нарастающую информационную открытость некогда закрытой отрасли в собственных политических и экономических целях. Все эти вопросы требуют постоянного внимания специалистов, комплексного подхода в работе по формированию положительного общественного мнения в отношении развития ядерной энергетики всех уровней власти, а также предприятий и организаций, заинтересованных в создании привлекательного инвестиционного климата в регионе.

Литература

1. <http://www.zircon.ru>
2. <http://www.rosatom.ru/wps/wcm/connect/rosatom/rosatomsite/partnership/interactionwithregions/>
3. <http://www.rosenergoatom.ru/wps/wcm/connect/rosenergoatom/site/about/politics/>
4. <http://dp.ru/100nv9/>

Куксин Игорь Александрович – к. филол. н., и.о. начальника Центра общественной информации Ростовской АЭС, ст. преподаватель ДГТУ г. Волгодонск.
E-mail: igor_kuksin@mail.ru

Kuksin Igor A. – candidate of Filological Science, acting head of the Center of public information Rostov NPP, senior lecturer of DSTU, Volgodonsk. E-mail: igor_kuksin@mail.ru

УДК 004.358 004.9

ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ОПЕРАТОРОВ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ (РДС)

Б.П. Грузинцев, А.В. Сас

<i>ИЦ ПАРК «Профессионал», г. Москва, Россия</i>	<i>RC P@AWP «Professional», Moscow, Russia</i>
------------------------------------------------------	----------------------------------------------------

В данной статье приведены некоторые материалы теоретических и экспериментальных исследований характеристик операторов ручной дуговой сварки и предложен новый, базирующийся на элементах эргономики, подход существенного повышения эффективности подготовки высококвалифицированных операторов.

Ключевые слова: эргономические основы обучения; подготовка электросварщиков; технические средства обучения; профессиональный отбор; индивидуальный педагогический подход; идеомоторика.

Some results of theoretical and experimental research the characteristic of operators of manual arc welding are reviewed in this article. The new effective method aimed at increasing the efficiency of qualified operators training and also based on ergonomics elements is proposed.

Keywords: ergonomic principles of training; training of electrical welders; technical equipment of training; professional selection; individual pedagogical view; ideomotion.

В значительной мере конкурентоспособность, качество, надежность и безопасность продукции машиностроения зависит от эффективности одного из основных процессов изготовления металлоконструкций различного назначения – от эффективности сварочного производства. Особо важную роль качество сварных соединений имеет для конструкций узлов и агрегатов атомных станций, работающих в условиях радиоактивных, агрессивных сред, при высоких температурах и значительных статических и динамических нагрузках.

Одним из основных факторов, определяющих качество сварных соединений, является квалификация сварщиков. В современных экономических условиях заказчиками, особенно в атомной энергетике, востребованы в основном сварщики высокой квалификации. Однако, как показала практика, сварщики достигают высокой квалификации после 6–9-ти лет практической деятельности. [1] Причем, из числа получивших начальную профессиональную подготовку в ПТУ, высокой квалификации достигают лишь 7–10%.

Такое положение сложилось потому, что системы подготовки высококвалифицированных сварщиков, основанной на законах эргономики, не существует, а повышение квалификации происходит в результате практической деятельности случайным образом. При подготовке операторов РДС также не учитывается то, что не все операторы по своим психофизиологическим характеристикам способны достигнуть высокой квалификации. Однако, несмотря на то, что подходы к профессиональному отбору операторов РДС разработаны, [1] широкого распространения они не получили. Профессиональный отбор, как до начала обучения, так и при начальной подготовке сварщиков, не проводится.

Для высококачественной сварки ответственных изделий от оператора требуется с высокой точностью поддерживать ряд технологических параметров: длину дуги, скорость сварки, скорость подачи проволоки (электрода) и другие; а также корректировать их, в том числе траекторию перемещения конца электрода в зависимости от изменяющихся условий: изменения пространственного положения свариваемого стыка, его разделки, толщины и марки свариваемого металла, диаметра и марки электрода и других.

Большой объем перечисленной информации является одной из основных причин длительного срока формирования профессиональных навыков у сварщиков, а также того, что не всем операторам удается достичь высокой квалификации.

Анализ литературных данных [2, 3] и др. показал, что при профессиональном отборе и подготовке операторов ручного управления летательными, надводными, подводными и другими техническими устройствами, используются методические разработки психологов, физиологов и эргономистов. Их рекомендации, учитывая оптимальное использование зрительного, слухового и проприорецептивного (мышечного чувства) анализаторов, включают подбор специальных упражнений, выполняемых на тренажерах и на реальном объекте управления, их дозировку, обоснование временных промежутков между упражнениями. Это позволило на научной основе производить профессиональный отбор кандидатов, способных освоить данную специальность, и быстро и эффективно обучать их до высокой квалификации.

Учитывая, что деятельность операторов РДС и деятельность летчиков, водителей и т.д. принципиально отличаются работой зрения, слуха и моторного выхода, авторами [4, 5, 6] были проведены исследования взаимодействия оператора-сварщика с процессом дуговой сварки и разработана математическая модель трудовой деятельности оператора РДС.

Было установлено, что качество его работы существенным образом зависит от изменения порога чувствительности зрения. [4] При этом учитывалось, что до 90% информации о состоянии объекта управления [3] поступает к оператору от зрительного анализатора (ЗА), а 10% – от слухового анализатора (СА). Причем, работоспособность ЗА существенным образом зависит от динамических характеристик нагрузки. Наиболее утомительным для зрения является статический режим. [7] Этот факт был подтвержден экспериментально. [8] Поэтому, установка наблюдения только за длиной дуги, которая используется при начальном обучении, является сомнительной.

В то же время опрос операторов РДС разной квалификации [8] показал, что при слежении за качеством процесса они используют до восьми единиц информации в различных сочетаниях, и чем выше квалификация, тем чаще операторы использовали информацию от слухового анализатора. Следует отметить, [4] что утомляемость СА существенно меньше, чем ЗА. Были проведены эксперименты по определению утомляемости зрения в условиях реальной работы и установлено, что модель «зрительный анализатор – моторный выход» адекватно описывает взаимодействие оператора дуговой сварки с процессом в течение ограниченного промежутка времени.

Учитывая, что сварщики высокой квалификации обеспечивают качественное ведение процесса в течение всей смены, нами было сделано предположение, что оператор, получая зрительную информацию дискретно, в промежутках между получением этой информации поддерживает состояние технологического процесса в автоматическом режиме профессиональных движений.

Для проверки существования у сварщиков автоматических профессиональных движений, а также их связи с квалификацией, была проведена серия экспериментов. Сварщики выполняли наплавку электродом $\varnothing_3=5$ мм, используя стандартный щиток со

светонепроницаемым экраном и наушниками, то есть не получая от процесса сварки зрительной и слуховой информации. В первой серии экспериментов предварительно на поверхность металла мелом наносилась прямая линия. Затем сварщик устанавливал электрод над началом линии, опускал щиток и производил наплавку. Когда отклонение валика от заданной траектории превышало 2 мм, фиксировалось место отклонения и измерялась длина (L) без ошибки воспроизведенной траектории. Изменение скорости сварки и скорости подачи электрода приводило к изменению ширины (Δb) наплавленного валика. Поэтому величину Δb использовали для оценки сформированности навыка сохранения постоянной скорости сварки и скорости подачи проволоки.

Сравнительный анализ показал, что чем выше квалификация (разряд) сварщика, тем лучше у него сформированы навыки автоматических профессиональных движений. Так, у 9-ти (из 10-ти) сварщиков 6-го разряда L превышала 150 мм, а $\Delta b = 0,5 - 1,5$ мм. В группе из 10 человек 4-5 разряда только у одного L превысило 150 мм, а разброс Δb увеличился до 2,5 мм. В группе сварщиков 3-го разряда (21 человек) L колебалась в основном от 40 до 80 мм, а Δb достигало 5 мм.

Учитывая, что в реальных условиях сварщикам, особенно высокой квалификации, приходится сваривать стыки в различных пространственных положениях и траекториях, во второй серии экспериментов сварщики 4-6 разрядов осуществляли наплавку без использования зрения и слуха по окружности $\varnothing_s = 65$ мм. Из результатов эксперимента видно, что и в этом случае с ростом квалификации возрастает длина безошибочно воспроизводимой траектории.

Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили наше предположение о том, что чем выше квалификация, тем лучше сформированы навыки профессиональных рабочих движений. Следовательно, формирование автоматизма рабочих движений должно быть основой подготовки сварщиков, а численные характеристики автоматических рабочих движений необходимо использовать при оценке их текущей квалификации. Наличие автоматических рабочих движений обеспечивает стабильность технологических параметров и, как результат, стабильность зрительной и слуховой информации о состоянии процесса, что облегчает запоминание зрительных и слуховых эталонов. В свою очередь, наличие эталонов информации о качестве сварки позволяет быстрее обрабатывать информацию о состоянии объекта. Обобщая вышеизложенное, отметим, что автоматизм профессиональных рабочих движений является системообразующим фактором становления и роста квалификации операторов РДС.

Одной из основных задач при подготовке высококвалифицированных сварщиков является запоминание ими эталонов информации, соответствующих различным технологическим ситуациям. Способы и приемы формирования эталонов зависят, как от общих свойств памяти, так и от индивидуальных способностей обучаемого.

Запоминание эталона происходит в несколько этапов. Вначале вся информация поступает в оперативную память (ОП). Непосредственное запоминание – это как бы моментальная фотография объектов, воздействующих на органы чувств. Длительность хранения оперативной информации, в зависимости от условий и характера запоминаемой информации, лежит в пределах от нескольких секунд до нескольких минут. Оператор иногда допускает ошибки не потому, что не запомнил необходимую, а потому что не забыл использованную информацию. Такие ошибки особенно характерны для начинающих операторов с неустойчивыми профессиональными навыками, с плохо сформированными эталонами зрительной и другой информации о

состоянии объекта (техпроцесса сварки) и с плохо сформированными навыками профессиональных рабочих движений.

Когда со времени поступления информации в оперативную память проходит более 30 минут, часть этой информации переводится в долговременную память. Важным условием такого перехода, а также условием сохранения информации в долговременной памяти является периодическое повторение операций, сопровождающихся теми зрительными и слуховыми эталонами и профессиональными рабочими движениями, которые желательно запомнить. Поэтому существенное влияние на скорость и качество формирования у сварщиков профессиональных навыков оказывает количество и тип повторяемых упражнений, их длительность, промежутки времени между упражнениями и занятиями и т.п. Причем, выбор конкретных значений этих параметров зависит в значительной мере от индивидуальных характеристик обучаемого.

Проведенные исследования информационных характеристик дуговой сварки, контура регулирования длины дуги и другие исследования, учет свойств анализаторных систем и памяти легли в основу модельного представления о дуговой сварке, как о единой системе: «объект управления (дуговая сварка) – анализаторы – программный блок – моторный выход». [5]

Развитие скрытых адаптационных возможностей операторов РДС представляется одной из сложнейших задач современной прикладной педагогики. Имеющийся опыт, как отмечалось выше, является в основном эмпирическим и не базируется на результатах комплексных научных исследований. При подготовке операторов РДС также фактически не применяются технические средства обучения (тренажеры). В то же время, уже сегодня появилась необходимость создания единой теоретической основы подготовки операторов РДС с использованием современных технических средств.

Проведенные исследования позволили нам разработать методику поэтапной подготовки сварщиков с использованием технических средств обучения (Рисунок 1).

I	Формирование профессионального навыка сварки горизонтальных швов. 1. Зажигание дуги. 2. Перемещение неплавящегося электрода (НЭ) вдоль стыка. 3. Перемещение НЭ вдоль прямолинейного стыка с поддержанием заданной длины дуги. 4. Перемещение НЭ вдоль траекторий различной кривизны с поддержанием заданной длины дуги. 5. Перемещение НЭ с заданной скоростью вдоль различных траекторий. 6. Повторение п.п. 1–5, но с плавящимся электродом. 7. Повторение п. 6 с ужесточением требований по точности с учетом индивидуальных особенностей оператора.
II	Формирование профессиональных навыков сварки наклонных швов (повторение п.п. 1–7).
III	Формирование профессиональных навыков сварки вертикальных швов (повторение п.п. 1–7).
IV	Формирование профессиональных навыков сварки потолочных швов (повторение п.п. 1–7).
V	Формирование профессиональных навыков сварки швов со сменой пространственного положения, в том числе кольцевых швов (повторение п.п. 1–7).

Рисунок 1 – Методика поэтапной подготовки операторов РДС

На основе этой методики составлялись индивидуальные планы для каждого обучающегося. Вначале, при формировании профессионального навыка, выполнялись имитационные упражнения на тренажере. А затем, с учетом индивидуального уровня

освоения конкретного навыка при имитации, на реальном процессе выполнялись упражнения, закрепляющие этот навык. В зависимости от прогресса в обучении планы корректировались. По данной методике была проведена профессиональная подготовка 30 операторов РДС. Их аттестация показала, что квалификация 12 операторов заметно превышала уровень 3-го разряда. Проведенный опрос этой группы выявил то, что все 12 операторов занимались тем или иным видом спорта.

Известно, [10] что в зависимости от уровня участия сознания, результаты труда операторов при внешней их схожести, будут существенно отличаться. Дело в том, что оптимальные варианты выполнения трудовых операций отрабатываются с помощью самых различных методов. Это дает возможность повышать квалификацию не стихийно, а сознательно.

К одной из разновидностей этих форм подготовки относится аутогенная психомышечная [11] и идеомоторная [12] тренировки автоматических профессиональных движений спортсменов. Аутогенная психомышечная тренировка преследует цель научить оператора сознательно корректировать автоматические профессиональные движения. Идеомоторная тренировка заключается в том, что обучающийся, прежде чем выполнить трудовую операцию, несколько раз повторяет ее мысленно, учитывая, ранее допущенные при выполнении такой операции, ошибки. По всей видимости навыки аутогенной психомышечной и идеомоторной тренировки были использованы 12-тью учениками при их обучении профессии оператора РДС.

В настоящее время, с учетом вышеизложенного, ведется корректировка методики поэтапной подготовки операторов РДС.

Литература

1. Черноусов В.А. Управление качеством сварочных работ в строительномонтажном тресте. – Краснодар: Совет НТО, 1983. 52 с.
2. Меньшов А.И. Человек в системе управления летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 1976. 192 с.
3. Ломов Б.Ф. Человек и техника. – М.: Сов. радио, 1966. 464 с.
4. Стеклов О.И. Оценка качества регулирования дуговой сварки по модели контура «зрительный анализатор - моторный выход» / О.И. Стеклов, А.В. Сас, Б.П. Грузинцев. – М. : МИНГ им. И.М. Губкина, 1989. С. 14–20.
5. Сас А.В. Модельное представление деятельности оператора при ручной дуговой сварке / А.В. Сас, Б.П. Грузинцев, В.А. Парахин // Труды МВТУ. 1985. № 234. С. 41–51.
6. Сас А.В. Повышение эффективности управления при механической и ручной сварке. // Сварочное производство. 1996. № 9. С.27–29.
7. Парахин В.А. Эргономические требования к системе «электросварщик – ручная дуговая сварка» / В.А. Парахин, Б.П. Грузинцев // Труды МВТУ. 1980. № 337. С.38–42.
8. Сас А.В. Информационно-измерительные системы в управлении сварочным производством / Сас А.В., Чернов А.В. – Новочеркасск: Известия ВУЗов. Машиностроение, 2008. С.147.
9. Василец В.М. Анализ адаптивных свойств оператора в ручной системе управления при выполнении операции слежения // Научные чтения по авиации и космонавтике. – М. : Машиностроение, 1981. С.323–324.
10. Нойман Й. Организация труда. Психофизиологические проблемы контроля и управления / Нойман Й., Тимпе К-П. – М.: Экономика, 1975. С.104.

11. Белкин А.А. Идеомоторная подготовка в спорте. – М.: Физкультура и спорт, 1983. С.128.
12. Дубровский В.И. Реабилитация в спорте. М.: Физкультура и спорт, 1991. С. 203.

Грузинцев Борис Петрович – начальник отдела ИЦ ПАРК «Профессионал» г. Москва. E-mail: kog-as@bk.ru

Сас Анатолий Васильевич – д.т.н., профессор, руководитель ИЦ ПАРК «Профессионал» г. Москва. E-mail: anatolii_sas@mail.ru

Gruzintsev Boris P. – the head of department of the RC P@AWP «Professional», Moscow. E-mail: kog-as@bk.ru

Sas Anatolii B. – Doctor of Technical Science, Professor, the head of the RC P@AWP «Professional», Moscow. E-mail: anatolii_sas@mail.ru

УДК 378

КАЧЕСТВО ПОДГОТОВКИ ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ В ОЦЕНКЕ РАБОТОДАТЕЛЕЙ

В.А. Руденко, Н.П. Василенко

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

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

В статье представлены материалы исследований по оценке качества подготовки выпускников вузов работодателями, качеств выпускников, необходимых для успешной профессиональной деятельности, приведены формы эффективного взаимодействия вузов и работодателей по подготовке выпускников и молодых специалистов к работе на предприятии.

Ключевые слова: требования работодателей, качества выпускника.

The article submits some materials of research the employers' quality rating of training the graduating students at the institutes of higher education, own qualities of graduating students which are necessary for successful professional activity. There are also the forms of effective interaction between the institutions of higher education and employers in the sphere of qualifying the graduating students and future specialists.

Keywords: employers' demands, own qualities of graduating student.

В условиях реформирования высшей школы и перехода в 2010 году на государственные образовательные стандарты третьего поколения, предполагающие активное вовлечение работодателей в подготовку специалистов, чрезвычайно актуальным стал вопрос формирования профессиональных компетенций специалиста на основе отраслевых стандартов, запросов работодателей и потребностей рынка труда.

Анализ социологических исследований, которые активно проводились в 2000-2010 годах, показал, что запросы, требования работодателей к молодым специалистам не всегда определяются однозначно. А это важно, так как от того, насколько соответствует выпускник вуза ожиданиям и запросам работодателя, зависит успешность его трудоустройства.

В результате проведенного в МГУ (2002) исследования среди крупнейших компаний-работодателей г. Москвы, с одной стороны, и методом анкетирования среди студентов 3–4 курсов МГУ, с другой, было выявлено, что производители, которым требуются выпускники в основном технических (профильных) вузов, к типичным недостаткам молодых специалистов относят: максимализм, желание получать большую заработную плату без вклада в общее дело, завышенные требования, завышенную самооценку, низкую работоспособность, лень, отсутствие дисциплины и ответственности. «Идеальный специалист» для таких предприятий должен иметь высшее образование, желательное профильное, быть заинтересованным в работе, обладать хорошо развитым творческим мышлением, целеустремленностью, ответственностью, инициативностью, работоспособностью, оптимизмом. [1]

По результатам исследования, проведенного специалистами агентства «РейтОП» в 23 крупных городах России (2007 г.), работодатели считают, что основными недостатками молодых специалистов являются: неспособность руководить людьми и

неумение создавать рабочие группы под решение конкретных задач. [2]

Социологи Института социологии РАН провели исследование, целью которого было определить «жизненные траектории» выпускников и понять, в каких коррективах нуждается система российского высшего образования. Опросы проводили в Чувашской Республике, Краснодарском крае, Свердловской, Воронежской и Томской областях среди старшекурсников и выпускников разных лет, среди руководителей институтов и структур послевузовского образования (более 40 вузов), а также среди глав предприятий и компаний, куда выпускники трудоустраивались. Проводились подробные интервью по заранее подготовленным вопросам и дополнялись результатами дискуссий. Работодателям, представителям малого и среднего бизнеса, не нравится в выпускниках вузов то, что образование у них «неприкладное и чересчур академическое», а представителям крупного бизнеса – наоборот, именно это их и устраивает. По их мнению, очень важно чтобы претендент на «хорошее место» был амбициозным в хорошем смысле, умел себя подать, обладал разнообразными навыками, помимо основной специальности, в том числе: знал иностранный язык, умел водить машину и т.п., и, главное, «имел потенциал», то есть был обучаем. Кроме того, по мнению всех респондентов-работодателей, молодые специалисты никогда не сумеют сделать карьеру, если не обладают тремя самыми важными навыками: работа в команде, коммуникационные навыки (умение общаться и получать информацию), самостоятельность. [3]

Центр тестирования и развития «Гуманитарные технологии» (2009 г.) проводил тематические исследования по вопросам изучения специфики работы и трудоустройства выпускников вузов и молодых специалистов, в которых приняло участие более 200 компаний из различных регионов России. [4]

Результаты исследований показали наличие недоверия работодателя вузу, желание получать от него на выходе «личность, управленца и специалиста», а не только «специалиста». Обобщением данного исследования стало определение значимых и нежелательных качеств в оценке работодателей и вузов:

Таблица 1 – Значимые личностные качества и компетенции выпускников

Работодатель	Вуз
Ответственность, инициативность, активность, целеустремленность, работоспособность, трудолюбие, желание развиваться, клиенториентированность, обучаемость, лояльность и т.п.	Активность, готовность к обучению, инициативность, коммуникабельность, мобильность, ответственность, работоспособность, трудолюбие, профессионализм, целеустремленность и т.п.

Таблица 2 – Нежелательные качества

Работодатель	Вуз
Лень, повышенная агрессивность и конфликтность, пассивность, вредные привычки, чрезмерная амбициозность, безынициативность и т.п.	Лень, безответственность, пассивность, отсутствие лояльности, завышенная самооценка, амбициозность, низкий уровень культуры и т.п.

По мнению руководителей кадровых агентств (в обобщении А. Мезенцевой (2009г.)), основные недостатки (ошибки), которые проявляет выпускник при приеме на работу – это надменность, неумение демонстрировать свои навыки и знания, многословие, неумение выстроить самопрезентацию, излишняя откровенность. В процессе трудовой деятельности, как отмечает автор, выпускник не может применить на практике свои теоретические знания, а порой обнаруживает абсолютную беспомощность в реальной жизненной ситуации, требующей профессионального вмешательства. Кроме того, молодой специалист часто демонстрирует неумение и неспособность работать в команде, доказывать свою точку зрения, противостоять стрессу, у него отсутствует желание обучаться. И как вывод – уровень подготовки молодого специалиста не соответствует требованиям рынка. [5]

По результатам собеседований корреспондентов Newcation (2009), которые под видом студентов различных ВУЗов посетили сто компаний в попытке устроиться на работу, было выявлено, что ориентация работодателя все больше идет на людей, способных учиться. По мнению нанимателя, специалист должен всегда быть в курсе новых технологий и тенденций в своей отрасли. [6]

Большой интерес представляют обобщения Т. Разумовой, которая отмечает, что за минувшее десятилетие произошли существенные изменения в требованиях работодателей к выпускникам вузов. В середине 90-х годов в качестве обязательного требования работодатели выдвигали наличие опыта работы. Выпускники жаловались, что запросы компаний носят практически взаимоисключающий характер (возраст претендента на работу должен быть до 25 лет, образование высшее, стаж работы не менее пяти лет). Без опыта работы во время учебы найти работу было практически невозможно. Сейчас ситуация меняется: отсутствие опыта работы несколько снижает стартовую зарплату, но не закрывает доступа к вакансиям. Многие успешные работодатели предпочитают набирать работников прямо со студенческой скамьи, мотивируя свой выбор желанием иметь работников, «не испорченных чужой корпоративной культурой». При этом работодатели обращают серьезное внимание не только на бренд вуза, но и на оценки студента, тематику научных исследований, активность в изучении дополнительных программ, участие в научных проектах и конкурсах. Автор сделала вывод, что современный рынок труда предъявляет особые, порой противоречивые, требования к работнику. Ему необходимы не только высокий базовый уровень профессиональной подготовки, но и углубленные специализированные знания. Помимо теоретических представлений нужны навыки и опыт практической деятельности, умение работать в команде должно сочетаться с проявлением лидерских качеств. Работнику нужно быть дисциплинированным, исполнительным, надежным, но одновременно еще и инициативным, смелым, готовым принимать ответственные решения, идти на риск. [7]

Обобщая рассмотренные выше исследования можно сделать вывод, что качество подготовки специалистов в вузе не устраивает работодателей. К основным недостаткам молодых специалистов они относят: максимализм; завышенную самооценку; низкую работоспособность; лень; безответственность; излишние амбиции; иждивенческие настроения; пассивность; безынициативность; желание получать большую заработную плату без вклада в общее дело; завышенные требования к работодателю; отсутствие дисциплины; неумение четко формулировать цели; неспособность адекватно оценить свои знания; неспособность понять собственные цели; неумение работать в команде; неумение доказывать свою точку зрения; неспособность противостоять стрессу; отсутствие желания обучаться; неумение применять на практике свои знания; отсутствие опыта и практических навыков; отсутствие навыков самостоятельного

поиска работы; неумение представить себя работодателю; повышенная агрессивность и конфликтность; наличие вредных привычек; незнание бизнес-процессов; отсутствие навыков делового общения; не хватает знаний по управлению своим временем; отсутствие самостоятельности; отсутствие коммуникативных навыков.

В данных претензиях работодателей наблюдаются требования к личностным качествам выпускника, требования к общей подготовке, частные требования компаний.

Особые требования предъявляются к выпускникам, ориентированным на предприятия атомной отрасли. В «Программе создания и развития федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» на 2009 – 2017 годы» отмечается, что «кадровое обеспечение атомной отрасли является одной из наиболее сложных проблем современного этапа ее развития. Прогнозируемые темпы и масштабы развития атомной энергетики требуют опережающего роста кадрового наполнения всех структур атомного энергопромышленного комплекса. Сложившаяся к настоящему времени система формирования и сохранения кадрового потенциала в атомной отрасли явно недостаточна для ее крупномасштабного развития. Необходима реализация условий, которые способны изменить ситуацию на рынке трудовых ресурсов и обеспечить наполнение отрасли квалифицированными кадрами. Подготовка кадров должна опережать реализацию программ разработки и развития технологий, строительства ядерных объектов и ввода их в эксплуатацию. Масштабный ввод атомных электростанций и других ядерных объектов опасен без тщательной проработки и реализации кадровой политики». [8]

Требования к выпускникам, ориентированным на работу в атомной отрасли очень высокие. «Они определяются тем предприятием, на котором будет работать выпускник. В Росатоме несколько основных секторов. Во-первых, это – энергетический сектор, второй – оружейный сектор, третий – научно-технологический, далее – сектор ядерной и радиационной безопасности и т.д. В каждом секторе требуются люди, хорошо знающие науки: физику, математику, химию. Требования высокие, потому что любая ошибка в высокотехнологичном секторе может привести к печальным долговременным последствиям. Поэтому студентам с первого курса мы пытаемся дать хорошее базовое физико-математическое и, вообще, естественнонаучное образование. Кроме этого, очень важна инженерная и общетехническая подготовка, подготовка в области информационных технологий, проектное мышление и т.д.». [9]

Существующая модель компетенций Росатома содержит следующие требования к специалисту: системное / стратегическое мышление, ориентация на результат, управление изменениями / инновационность, планирование и организация деятельности, эффективная коммуникация, лидерство, работа в команде. Представители отрасли отмечают, что «...сегодня вузы сами формулируют, кого и чему они хотят научить. А должны мы, как заказчики, формировать заказ. Необходима соответствующая профессиональная карта – с перечислением требований и знаний, которыми должен обладать, нужный нам, выпускник: мотивированный, квалифицированный, компетентный... Если мы не зададим такой тон учебным заведениям, возмущаться потом будет поздно». [10]

Поэтому совместно с работодателями определены требования к выпускникам НИЯУ МИФИ, которые «должны быть восприимчивы к инновациям, иметь современную профессиональную подготовку, обладать компетенциями в сферах информационных технологий, экономики и менеджмента. Именно такие выпускники университета будут способствовать существенному повышению эффективности

развития высокотехнологичных отраслей и создавать тот ресурсный потенциал, который необходим для актуальных структурных преобразований атомной отрасли».

В настоящее время представители предприятий отрасли согласовывают «Компетентностную модель выпускника» по всем образовательным программам, дополняя данную модель компетенциями, необходимыми для работы на конкретном предприятии отрасли. Таким образом, работодатель выступает в роли заказчика на подготовку выпускников в вузе, включается в формирование дополнительного содержания обучения с целью развития необходимых выпускнику компетенций, востребованных на предприятиях отрасли. В роли экспертов представители отрасли выступают при согласовании основных образовательных программ, реализуемых вузом, в качестве экспертов они выступают в процессе сертификации выпускников вуза. В процессе прохождения практики студентов на предприятиях отрасли студенты и вуз также получают экспертное заключение работодателей о качестве подготовки студентов.

Именно такое взаимодействие работодателей и вузов в определении необходимых требований к выпускникам, в отборе содержания для формирования дополнительных компетенций у выпускников, ориентированных на решение актуальных задач отрасли, предприятия позволит повысить качество подготовки будущих специалистов.

Литература

1. Юрасова М.В. Работодатель – выпускник вуза: в зеркале мнений// Учебно-методическое отделение ДВГТУ. URL: <http://rabota.wl.dvgu.ru/>
2. Оценка готовности молодых специалистов к профессиональной деятельности. URL: <http://www.start-capital.ru/>.
3. Добрынина Е. Научи ученого // Российская газета – Федеральный выпуск №4521 от 17 ноября 2007 г. URL: <http://www.rg.ru/2007/11/17/>
4. Алтухов В., Серебряков А. Исследование проблем и перспектив трудоустройства выпускников вузов на современном рынке труда: вузы и работодатели 2009. URL: http://www.profcareer.ru/lib/art_research_young.
5. Мезенева А. Кадр не в фокусе // JobFair.ru: [web-сайт].URL: <http://www.jobfair.ru/articles/96/>.
6. Традиционное образование перестало удовлетворять потребностям студентов и работодателей // Единый мир – интернет-газета URL: http://kabmir.com/semja_i_vospitanie/tradicionnoe_obrazovanie.html.
7. Разумова Т. Как обеспечить выпускнику хорошую работу?// Учительская газета. URL: <http://www.ug.ru/issues07>.
8. Программа создания и развития федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» на 2009 – 2017 годы. М. 2009.
9. Интервью ректора НИЯУ МИФИ М.Н. Стриханова радиостанции «Эхо Москвы». URL:<http://strategy.hse.ru/news/45180300.html>.
10. Статья работодателем мечты // Вестник Атомпрома. URL:<http://vestnikatomproma.ru>

Руденко Валентина Анатольевна – доктор социологических наук, профессор, руководитель, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

E-mail:VARudenko@mephi.ru

Василенко Надежда Петровна – кандидат педагогических наук, начальник учебно-методического управления, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

E-mail:learning77@mail.ru

Rudenko Valentina 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

Vasilenko Nadezhda P. – candidate of Pedagogy, the head of *academic* board, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI». E-mail:learning77@mail.ru

**ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ****№ 1(1) 2011 ДЕКАБРЬ**Главный редактор – **М.Н. Стриханов, доктор физико-математических наук, профессор**

Сдано в набор 24.11.2011 г.

Компьютерная вёрстка Вишнёва М.М.

Корректор Вишнёва М.М. ИПО ВИТИ НИЯУ МИФИ

Подписано к печати 12.12.2011 г.

Бумага «SvetoCору» 80 г/м². Объем 16.08 усл.печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Адрес редакции: 115409, Россия, г. Москва, Каширское шоссе, 31;
347360, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94,Отпечатано в типографии ИПО ВИТИ НИЯУ МИФИ
347360, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/9

