

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

GLOBAL NUCLEAR SAFETY

2022, 2(43)

Founded in November, 2011

The subscription index is 10647 in the catalogue «Press of Russia»

Quarterly

ISSN 2305-414X, reg. № FS77-47155, November, 3 2011

Web-site: <http://gns.mephi.ru>

Editor-in-Chief:

M.N. Strikhanov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Russia*)

Editorial Staff:

M.N. Strikhanov, Editor-in-Chief, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Russia*)

V.A. Rudenko, Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Sociology, Professor (*Russia*)

V.P. Povarov, Doctor of Technical sciences (*Russia*)

M.K. Skakov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Kazakhstan*)

V.E. Shukshunov, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

A.V. Chernov, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

A.P. Elokhnin, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

Y.I. Pimshin, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

V.V. Krivin, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

V.I. Ratushny, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Russia*)

A.A. Salnikov, PhD Technical sciences (*Russia*)

S.E. Gook, PhD Technical Science (*Germany*)

M.V. Golovko, Doctor of Economic sciences (*Russia*)

N.M. Fomenko, Doctor of Economic sciences (*Russia*)

A.N. Shilin, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

Founder:

National Research Nuclear University MEPhI

Editorial address:

Kashirskoe shosse 31, Moscow, 115409, Russia

Lenin Street, 73/94, Rostov region, Volgodonsk, 347360, Russia

telephone: (8639)222717, e-mail: oni-viti@mephi.ru

Press address:

Lenin Street, 73/94, Rostov region, Volgodonsk, 347360, Russia.

Moscow

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2022, 2(43)

Журнал основан в ноябре 2011 г.
Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 10647
Выходит 4 раза в год, ISSN 2305-414X
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47155 от 3.11.2011 г.
Журнал включен в перечень ВАК РФ (№888)
Группы научных специальностей:
05.14.00 – Энергетика;
05.26.00 – Безопасность деятельности человека;
05.13.00 – Информатика, вычислительная техника и управление.
Web-site: <http://gns.mephi.ru>

Главный редактор:

М.Н. Стриханов, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Редакционная коллегия:

М.Н. Стриханов, главный редактор, д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)
В.А. Руденко, заместитель главного редактора, д-р соц. наук, проф. (Россия)
В.П. Поваров, д-р техн. наук, проф. (Россия)
М.К. Скаков, д-р физ.-мат. наук, проф. (Казахстан)
В.Е. Шукинунов, д-р техн. наук, проф. (Россия)
А.В. Чернов, д-р техн. наук, проф. (Россия)
А.П. Елохин, д-р техн. наук, проф. (Россия)
Ю.И. Пимишин, д-р техн. наук, проф. (Россия)
В.В. Кривин, д-р техн. наук, проф. (Россия)
В.И. Ратушный, д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)
А.А. Сальников, к-т техн. наук (Россия)
С.Э. Гоок, к-т техн. наук (Германия)
М.В. Головкин, д-р экон. наук, проф. (Россия)
Н.М. Фоменко, д-р экон. наук, проф. (Россия)
А.Н. Шилин, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Учредитель:

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Адрес редакции: 115409, Россия, г. Москва, Каширское шоссе, 31;
347360, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94,
тел. (8639) 222717, e-mail: oni-viti@mephi.ru
Адрес типографии: 347360, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94.

Москва

CONTENTS

2022, 2(43)

NUCLEAR, RADIATION AND ENVIRONMENTAL SAFETY

Ways of Energy Supply in the Republic of Armenia <i>M.T. Hakobyan, A.I. Ksenofontov</i>	5
Creation of Very Low-Level Waste Disposal Facility at Rostov NPP <i>O.I. Gorskaya, Yu.A. Fetisova</i>	15

DESIGN, MANUFACTURING AND COMMISSIONING OF NUCLEAR INDUSTRY EQUIPMENT

Investigation of the Possibility of Using Secondary Concrete Ouae in the Framework of Additive Technologies <i>A.R. Davtyan, A.V. Nakhabov</i>	24
Analysis of NPP Pressure Compensation Systems Operation <i>A.V. Razuvaev</i>	34

OPERATION OF NUCLEAR INDUSTRY FACILITIES

The Use of Burnable Poisons in WWER-type Reactors to Reduce the Fraction of the Reactivity Margin Compensated by the Liquid System During Extended Runs <i>A.R. Muzafarov, V.I. Savander</i>	42
Prerequisites for the Implementation of a Risk-oriented MRO Strategy for NPP Valves <i>A.A. Lapkis, V.N. Nikiforov, P.V. Prokhorov, M.V. Kalashnikov, E.S. Arsentieva</i>	55

SAFETY CULTURE AND SOCIAL AND ECONOMIC ASPECTS OF NUCLEAR INFRASTRUCTURE AREA DEVELOPMENT

Wind Energy Development in the Context of Sustainable Development Goals <i>M.V. Golovko, A.N. Setrakov, S.A. Tomilin</i>	68
Management Decision Implementation Monitoring in the Process of Managing Culture of Industrial Enterprise Production Safety <i>I.E. Lyskova</i>	79
Culture and Ethics of Communication in the Distance Educational Process when Training Nuclear Specialists <i>L.V. Zakharova, I.V. Zarochintseva, Yu.A. Lupinogina, O.A. Kikinchuk</i>	93

Author Index of vol. 2, 2022	102
------------------------------------	-----

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 2(43), 2022

ЯДЕРНАЯ, РАДИАЦИОННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Пути энергообеспечения в республике Армении <i>Акобян М.Т., Ксенофонов А.И.</i>	5
Создание пункта захоронения очень низкоактивных отходов на Ростовской АЭС <i>Горская О.И., Фетисова Ю.А.</i>	15

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ВВОД В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Исследование возможности применения вторичного бетона ОИАЭ в рамках аддитивных технологий <i>Давтян А.Р., Нахабов А.В.</i>	24
Анализ работы систем компенсации давления АЭС <i>Разуваев А.В.</i>	34

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Использование выгорающих поглотителей в реакторах типа ВВЭР для снижения доли запаса реактивности, компенсируемого жидкостной системой при удлинённых кампаниях <i>Музафаров А.Р., Савандер И.В.</i>	42
Предпосылки для внедрения риск-ориентированной стратегии ТОиР арматуры АЭС <i>Лапкис А.А., Никифоров В.Н., Поваров П.В., Калашников М.В., Арсентьева Е.С.</i>	55

КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Развитие ветроэнергетики в контексте целей устойчивого развития <i>Головки М.В., Сетраков А.Н., Томилин С.А.</i>	68
Контроль реализации управленческих решений в процессе управления культурой производственной безопасности промышленных предприятий <i>Лыскова И.Е.</i>	79
Формирование культуры и этики общения в дистанционном образовательном процессе при подготовке специалистов-атомщиков <i>Захарова Л.В., Зарочинцева И.В., Лупиногина Ю.А., Кикинчук О.А.</i>	93
Авторский указатель номера 2(43), 2022.....	102

**ЯДЕРНАЯ, РАДИАЦИОННАЯ И
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**
NUCLEAR, RADIATION AND
ENVIRONMENTAL SAFETY

УДК: 614.876. (83)
doi: 10.26583/gns-2022-02-01

ПУТИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ АРМЕНИИ

© 2022 Акобян Марине Тадевосовна¹, Ксенофонтов Александр Иванович²

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

¹ЗАО «ААЭК», Мецамор, Армения

¹marine_h@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8710-5734>

²AIKsenofontov@mephi.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6864-9805>

Аннотация. В данной статье рассматривается работа единственной на Закавказье Армянской атомной электростанции, потребность в энергии населения Республики Армения, восстановление и вторичный запуск АЭС, оценка воздействия на объекты окружающей среды, перспективы развития ядерной энергетики в стране. Приводятся данные по дозовым нагрузкам персонала, по выбросам и сбросам АЭС, загрязнение почвы и водных объектов в зоне наблюдения за 2020 год.

Ключевые слова: АЭС, оценка воздействия ядерной энергетики на окружающую среду, эффективные дозы излучения, радиационный мониторинг, радиационная безопасность.

Для цитирования: Акобян М.Т., Ксенофонтов А.И. Пути энергообеспечения в республике Армении // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 2(43). – С. 5-14. – <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-01>

Поступила в редакцию 06.05.2022

После доработки 11.05. 2022

Принята к публикации 19.05.2022

Введение

Не так давно Республика Армения отметила полувековой юбилей атомной энергетики – 17-го сентября 1966 г. Правительством СССР было принято решение о строительстве Атомной электростанции в Армении (первой и все еще единственной в регионе). Энергетические потребности Армении в тот период времени обеспечивались производством электричества на тепловых и гидроэлектростанциях, каких-либо работ в области атомной энергетики в республике не имелось. При том, что армянские ученые внесли существенный вклад в развитие атомной отрасли СССР (как в военном, так и в мирном направлениях), в самой республике практически не было ни специалистов, ни соответствующей научно-технической инфраструктуры. В сентябре 1966 г. Советом Министров СССР принято решение о строительстве АЭС в Армении.

Непосредственно строительство Армянской АЭС (ААЭС) было начато в 1970 г., а уже в декабре 1976 г. первый блок ААЭС был введен в эксплуатацию (рис. 1). К строительным работам были привлечены, как местные специалисты (армянские строители славятся исторически), так и специалисты России (консультации и помощь в сооружении строительных конструкций реакторного отделения, спецкорпуса, хранилищ радиоактивных отходов).

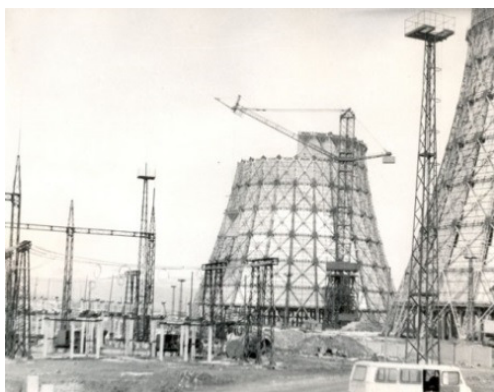


Рисунок 1 – Строительство 1-го блока ААЭС, 1970 г. [Construction of ANPP Unit 1, 1970]

Армянская АЭС расположена в Араратской долине Республики, 28 км западнее города Ереван. ААЭС имеет 2 энергоблока. За основу проекта ААЭС были взяты российские проекты АЭС первого поколения с реакторами ВВЭР-440 (модификаций В-213 и В-230), доработанные с учетом особенностей площадки ААЭС, в связи с чем, реактор получил новое обозначение модификации – В-270.

Для энергоблока №2 ААЭС конструкция реактора была усовершенствована [1]:

- корпус реактора изнутри покрыт защитной антикоррозийной наплавкой общей толщиной 9 мм;
- в шахте реактора установлены каналы для гирлянд с образцами-свидетелями корпусной стали.

Сама промплощадка ААЭС характеризуется двумя основными особенностями:

1. Высокой сейсмичностью:
 - проектное землетрясение – 7 баллов;
 - максимальное расчетное землетрясение – 8 баллов;
2. Удаленностью источника водоснабжения:
 - расстояние до ближайшей реки Севджур – 25 км;
 - расстояние до пруда-отстойника – 20 км.

Первый энергоблок ААЭС был введен в эксплуатацию 22 декабря 1976 г., а второй – 5 января 1980 г. Электрическая мощность каждого энергоблока ААЭС составляла 407,5 МВт (рис. 2).



Рисунок 2 – Общий вид ААЭС, 1980 г. [General view of the ANPP, 1980]

На начальном этапе эксплуатации совместно с российскими специалистами, На начальном этапе эксплуатации совместно с российскими специалистами, осуществлялась обкатка систем новой АЭС, выявление и устранение дефектов, несоответствий и, самое главное, становление постоянного местного персонала

станции. Затем, после обучения персонала, прохождения им стажировки на российских АЭС и дублирования оперативных должностей оказалось возможным в полной мере обеспечить эксплуатацию ААЭС собственными силами. На сегодняшний день Армянская АЭС полностью укомплектована собственным персоналом соответствующей квалификации и достаточного опыта. На этом этапе были выполнены более сотни крупных мероприятий, направленных на устранение известных дефицитов безопасности, присущих энергоблокам ВВЭР-440 первого поколения [2].

Исторические аспекты эксплуатации ААЭС

7 декабря 1988 г. в северных районах Армении произошло землетрясение с силой в отдельных районах более 10 баллов по шкале MSK-64. При этом на промплощадке ААЭС, находящейся на расстоянии 70 км от эпицентра, сейсмическое воздействие составило 5,5 баллов. Энергоблоки оставались в работе (т.к. автоматическое глушение реакторов предусмотрено при сейсмическом воздействии 6 баллов). Межведомственная комиссия, обследовавшая ААЭС после землетрясения, сделала вывод, что ААЭС выдержала прошедшее землетрясение без повреждений оборудования и строительных конструкций. Однако предметом озабоченности была достаточно высокая вероятность потенциальных землетрясений аналогичной или большей интенсивности, которые могут возникнуть ближе к ААЭС. К тому же пост-Чернобыльский синдром сформировал в общественном сознании стойкое неприятие атомной энергетики, вылившееся в серию требований останова ААЭС и отказа от атомной энергетики в будущем.

На основании предложений тогдашнего руководства Армении Совет Министров СССР принял решение об останове обоих энергоблоков ААЭС. 25 февраля 1989 г. в 14 ч. 20 мин. был остановлен энергоблок № 1, а 18 марта 1989 г. в 14 ч. 22 мин. был остановлен энергоблок № 2. Это привело к практическому отказу в дальнейшем от атомной энергетики. Последовавший после останова ААЭС жесточайший энергетический кризис, приведший к коллапсу экономике Армении и создавший чрезвычайную социальную ситуацию, предоставил общественности наглядное доказательство того, что ядерная энергетика является единственным гарантом энергетической независимости и безопасности страны. В этой ситуации Правительством республики в апреле 1993 г. было принято решение о возобновлении работы энергоблока № 2 ААЭС. В связи с этим представители Министерства энергетики и топлива Армении и Министерства России по атомной энергии подписали двусторонний протокол о совместных работах в данном направлении (07.07.93 г.).

В тяжелейших социально-экономических условиях в кратчайшие сроки был выполнен беспрецедентный объем работ по восстановлению функциональности энергоблока № 2 и, одновременно, повышению его безопасности. После успешного выполнения всех намеченных мероприятий, 5 ноября 1995 г. энергоблок № 2 ААЭС был повторно включен в армянскую энергосистему.

Реанимация «атомной энергетики» явилась событием уникальным – до тех пор нигде ранее не «приводили в чувство» реактор и все остальное оборудование после столь длительного простоя в условиях, далеких от нормативных требований. Приоритет безопасности был признан обязательным условием возвращения ААЭС в энергосистему Армении, что в тогдашней ситуации (блокада, отсутствие научно-технической инфраструктуры, скудность финансовых возможностей, тяжелейшие социальные условия) было бы невозможно обеспечить силами одной Армении. Только благодаря финансовой, научно-технической, технологической, методологической помощи международных организаций (МАГАТЭ, Еврокомиссия) и отдельных стран-лидеров атомной энергетики (США, Франция, Россия, Великобритания и др.) уровень безопасности восстановленного энергоблока № 2 ААЭС был доведен до приемлемого, что подтвердила специальная миссия МАГАТЭ в 1995 г., перед вводом энергоблока в эксплуатацию соответственно, изменилось и отношение общественности Армении к

атомной энергетике. Пришло понимание, что для республики, с учетом ее анклавного географического положения и отсутствия собственных природных энергоносителей, единственным гарантом энергетической и общей независимости является атомная энергетика.

Современное состояние ААЭС

Последовавший после перезапуска энергоблока период безинцидентной его эксплуатации обосновывает общественную оценку ААЭС, как надежного, стабильного и безопасного источника чистой электроэнергии. Кроме того, Армянская АЭС, как производитель наиболее дешевой электроэнергии в республике, выполняет и важнейшую социальную функцию – регулирование и удержание в приемлемых пределах потребительской стоимости электроэнергии. Поэтому, хотя установленная мощность энергоблока № 2 ААЭС составляет всего 18% от общей мощности энергогенерирующих предприятий Армении, в производстве электроэнергии доля ААЭС доведена до 40% (рис. 3).



Рисунок 3 – Энергетический баланс страны [Energy balance of the country]

В программе ремонтно-восстановительных работ (РВР) для повторного запуска энергоблока главенствующими были мероприятия по повышению безопасности, устранению в максимально возможной степени известных несоответствий. Такой подход обеспечил не только понимание и принятие мировым сообществом самой идеи реанимации энергоблока после многолетнего останова, но и существенную техническую и финансовую поддержку действий по повышению безопасности. В общей сложности в ходе РВР были разработаны и реализованы более сотни крупных и около тысячи мелких мероприятий по повышению безопасности и надежности, благодаря чему уровень безопасности эксплуатируемого сегодня энергоблока № 2 существенно повышен по сравнению с состоянием ААЭС перед ее останом в 1989 году.

На этапе обследования (в рамках РВР) выяснилось, что реактор первого энергоблока восстановлению не подлежит из-за сплошного коррозионного повреждения внутренней поверхности корпуса реактора [5]. Устранение этих дефектов (язв, трещин) невозможно ввиду отсутствия подобных технологий, мирового опыта подобных операций и высокого радиационного фона во внутреннем объеме реактора. Это обстоятельство исключает возможность восстановления энергоблока № 1 АЭС.

На корпусе реактора энергоблока № 2 никаких повреждений не было выявлено. Это объясняется конструктивными различиями реакторов 1-го и 2-го энергоблоков ААЭС: второй энергоблок имеет двухслойную защитную наплавку из коррозионностойкой стали, что обеспечило его сохранность даже в столь продолжительное время содержания в стрессовых условиях. После неразрушающего контроля металла реактор энергоблока № 2 ААЭС был подготовлен к дальнейшей

эксплуатации. В период после повторного ввода станции в эксплуатацию основной задачей оставалось повышение безопасности и надежности энергоблока, устранение известных дефицитов безопасности АЭС с ВВЭР первого поколения на основании накопленного собственного опыта, а также с учетом рекомендаций МАГАТЭ.

Радиационные и экологические аспекты работы ААЭС

В программе повышения безопасности ААЭС важное место занимают экологические вопросы – безопасное обращение с радиоактивными отходами (РАО) и с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ).

Армянская АЭС, являясь одним из стратегических объектов, обеспечивающих энергетическую и общую безопасность и независимость Армении, выполняет и немаловажные социальные функции, в частности:

- удержание потребительской стоимости электроэнергии в приемлемых пределах, благодаря минимальной стоимости электроэнергии, производимой на ААЭС;
- создание и сохранение рабочих мест, что положительно сказывается на общем уровне занятости населения республики;
- создание и развитие отдельных предприятий научно-технической инфраструктуры.

В производстве электроэнергии на Армянской АЭС используются технологии, практически исключаящие негативное воздействие производственных процессов на окружающую среду и население. Многолетним, непрерывным контролем соблюдения экологических требований подтверждается, что концентрация вредных веществ в технологических выбросах (воздух, вода, загрязнение почвы) в 10-15 раз ниже допустимых значений [6].

В настоящее время система радиационного контроля Армянской АЭС обеспечивает получение и обработку информации, которая характеризует:

- источники излучения, выбросы в атмосферу, величину жидких и твердых радиоактивных отходов;
- радиационные факторы, создаваемые технологическим процессом на рабочих местах и в окружающей среде;
- уровни облучения персонала.

Объем контроля, допустимые и контрольные уровни измеряемых параметров, технические средства и периодичность контроля определены в «Регламенте системы радиационного мониторинга ААЭС».

Усредненная мощность дозы излучения в различных контрольных точках зоны наблюдения АЭС за период 2020 г. не превышала 0,09-0,12 мкЗв/час. Средняя за год объемная β -активность атмосферного воздуха в зоне наблюдения составила $(0,92-1,65) \times 10^{-4}$ Бк/м³, а средняя концентрация радионуклидов в атмосферном воздухе за этот же период: по ¹³⁷Cs – 0,07, по ⁹⁰Sr – 0,002, по ⁷Be – 6,0 ($\times 10^{-4}$ Бк/м³).

За период 2020 г. были выполнены расчеты доз облучения критической группы населения ближайшего г. Мецамор, расположенного на расстоянии 15 км от ААЭС с подветренной стороны. Анализ расчетных данных показал, что доза облучения населения, обусловленная воздействием ААЭС, значительно меньше, нормативных значений. На рисунке 4 показаны вклады радионуклидов в эффективную дозу, а рисунок 5 отображает пути воздействия дозы излучения для той же группы населения. Следует отметить, что величина выбросов и сбросов с ААЭС намного (в несколько десятков раз) ниже контрольных уровней и допустимых величин [7]. Кроме того, в выбросах зафиксировано появление изотопов коррозионного происхождения ⁵⁴Mn и ⁵⁸Co, обусловленное проведенными ремонтными работами на оборудовании первого контура станции.

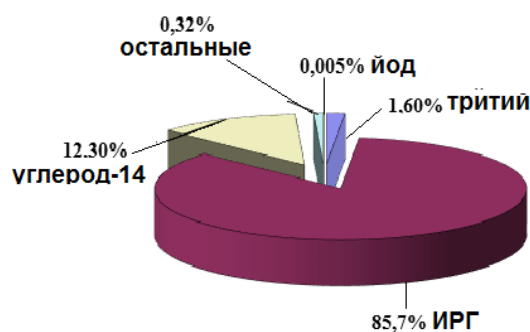


Рисунок 4 – Вклад основных радионуклидов в индивидуальную эффективную дозу для критической группы взрослого населения г. Мецамор за 2020 г. [Contribution of major radionuclides to the individual effective dose to the critical adult population of Metsamor for the year 2020]

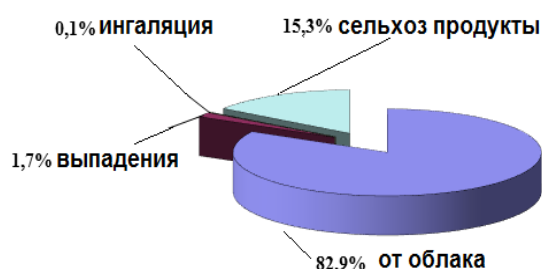


Рисунок 5 – Распределение (по путям воздействия) индивидуальной дозы для критической группы взрослого населения г. Мецамор за период 2020 г. [Distribution (by routes of exposure) of individual dose to the critical group of adults of Metsamor for the period 2020]

Содержание техногенных радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr) в окружающей среде обусловлено глобальными выпадениями, такой вывод сделан на основе анализа пространственного распределения этих радионуклидов в объектах окружающей среды. Измерения концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде открытых водоемов в основном показали значения ниже чувствительности установки, такое же положение с содержанием радионуклидов в сельскохозяйственных продуктах, выращиваемых в зоне наблюдения.

На Армянской АЭС мониторинг окружающей среды с самого начала эксплуатации осуществляется силами Отдела Радиационной Безопасности. Для этого в отделе существует Лаборатория Охраны Окружающей Среды в обязанности, которой входит осуществление радиационного и экологического мониторинга окружающей среды, осуществляющая проведение спектрометрических и радиометрических измерений. Лаборатория оснащена современным высокочувствительным приборным парком («CANBERRA», «ORTEC» и другие), позволяющим получать достоверную информацию о радиационных параметрах окружающей среды. Отбор проб проводился на стационарных пунктах наблюдения.

В плане осуществления радиационного мониторинга ААЭС сотрудничает с международными и национальными организациями: МАГАТЭ, Международный Научно-технический Центр, Лос-Аламосская Национальная Лаборатория (США), Центр Эколога-Ноосферных Исследований АН Армении и другими. Мониторинг осуществляется за следующими объектами окружающей среды (везде проводились работы по отбору и подготовки проб, измерения):

- Атмосферный воздух – 4 стационарных аспирационных установки на различных расстояниях 500 м до 35 км от ААЭС.
- Атмосферные выпадения – 14 стационарных кювет (от 100 м до 35 км от станции).
- Почва – 14 стационарных точек отбора проб в местах расположения кювет (от 100 м до 35 км от станции).
- Растительность – 14 стационарных точек отбора проб в местах расположения кювет (от 100 м до 35 км от ААЭС).

- Вода рек и водоемов – всего 9 водных объектов.
- Донные отложения и водоросли – всего 9 водных объектов, отбор проб.
- Подземные воды – контролируются с помощью глубоководных скважин, расположенных вдоль потока подземных вод.
- Мощность дозы гамма излучения – всего 16 стационарных точек, измеряется с помощью переносных приборов.
- Сельскохозяйственные продукты, выращиваемые в зоне радиусом 1-12 км.
- Точки наблюдения расположены с учетом, ландшафта и метеоусловий, характерных для зоны мониторинга. Объем мониторинга, частота отбора проб и другие параметры мониторинга определены в «Регламенте системы радиационного мониторинга ААЭС».

Помимо лабораторных исследований на ААЭС разработана специальная компьютерная программа в рамках совместного проекта Армянская АЭС-МАГАТЭ, которая позволяет рассчитать дозовые нагрузки на население за счет выбросов и сбросов с АЭС. В качестве исходных данных в программу закладываются реальные величины выбросов с АЭС, а также реальные метеоусловия и ландшафтные характеристики [8].

Зона радиационного мониторинга охватывает территорию радиусом 12 км от ААЭС. На станции создана и поддерживается в актуальном режиме база данных по радиационным параметрам окружающей среды. Данные охватывает период от момента пуска ААЭС до настоящего времени. Необходимо отметить, что радиационная обстановка в районе размещения ААЭС изменялась всего один раз, в 1986 г., что было связано с последствиями аварии на Чернобыльской АЭС. Кроме того, имеются данные по географическому положению ААЭС, геологические характеристики района размещения станции, а также постоянно пополняющаяся метеорологическая база данных. По результатам мониторинга ААЭС ежегодно разрабатывается «Экологический паспорт ЗАО ААЭС», в котором отражена производственная деятельность за истекший год.

С целью минимизации воздействия воздушных выбросов и водных сбросов с ААЭС на окружающую среду на станции используются два подхода: административный и технический. Административный подход заключается в установлении двух уровней ограничения величины радиоактивных выбросов и сбросов со станции: допустимый и административный. Допустимый уровень – это уровень, устанавливаемый Государственным Надзорным органом, административный – устанавливается руководством ААЭС, и он ниже, чем допустимый уровень и его превышение недопустимо. Таким образом, закладывается так называемый «запас прочности» по не превышению федеральных норм, аналогично, принятым МАГАТЭ.

Воздушные выбросы с контролируемой зоны ААЭС, перед тем как попасть в атмосферу, проходят очистку сначала на механических фильтрах, а затем на специальных высокоэффективных воздушных фильтрах. Осуществляется постоянный мониторинг активности выбрасываемого в атмосферу воздуха, как по суммарной активности, так и по радионуклидному составу [9].

Сбросные воды со станции перед сбросом поступают в специальные контрольные баки. Перед сбросом воды из этих баков она измеряется по суммарной активности. Если активность не превышает административный уровень, то выписывается специальный паспорт, в котором указана удельная активность воды, ее объем и другие параметры и производится сброс. Сброс осуществляется по специальному трубопроводу в очистные сооружения, а оттуда по каналу в реку Сев-Джур. Активность сбросной воды контролируется в точке выхода трубопровода с АЭС, а также на выходе с очистных сооружений и в месте сброса в реку Сев-Джур.

Следует отметить, что за все время эксплуатации ААЭС не наблюдались случаи превышения административных уровней на выбросы и сбросы с АЭС. Средняя

удельная активность сбросов и выбросов с ААЭС приблизительно на два порядка ниже установленных нормативных величин [10].

Как уже указывалось ранее, в объем мониторинга входит контроль содержания радионуклидов в почве и сельскохозяйственных продуктов, выращиваемых в радиусе 12 км от ААЭС [11].

Дальнейшие перспективы

С целью дальнейшей реализации принципа ALARA на ААЭС была разработана «Программа обеспечения радиационной защиты ААЭС на 2020 г.», которая устанавливала цели и задачи по минимизации радиационного воздействия и обеспечения эффективной радиационной защиты персонала ААЭС и населения [12]. К таким задачам относятся – непревышение коллективной годовой дозы персонала 996,4 чел.-мЗв, – непревышение коллективных доз подразделений ААЭС, – поддержание величины газоаэрозольных выбросов радиоактивных веществ ниже административных уровней:

- инертные радиоактивные газы – 20×10^{12} Бк/год;
- долгоживущие радионуклиды – 60×10^6 Бк/год;
- изотопы йода – 10×10^6 Бк/год;
- сбросов радиоактивных веществ ниже административных уровней – $\Sigma \beta_{\text{акт}} = 3,7$ Бк/л.

В связи с блокадой железнодорожных путей хранящееся в бассейнах ААЭС отработавшее ядерное топливо со станции нет возможности вывоза. При финансовой поддержке Framatom, Франции (7,0 млн. USD) на промышленной площадке ААЭС было сооружено Сухое Хранилище Отработавшего Ядерного Топлива (СХОЯТ) – первая очередь из 11-ти горизонтальных бетонных модулей, в которые были установлены 616 топливных сборок (~74 т), хранящиеся после останова ААЭС. Проектный срок хранения ОЯТ в этих модулях – 50 лет. СХОЯТ постоянно расширяется для размещения ОЯТ, накапливаемого в ходе текущей эксплуатации [12].

Тяжелейшие уроки прошлого привели к признанию особой значимости АЭС для Армении, не только и не столько, как объекта производства электроэнергии, но и как гаранта независимости и безопасности Республики. Использование Арменией ядерных технологий придает дополнительный политический вес Государству, исключает восприятие его, как «банановой» республики и позволяет ей на равных вести диалог с мировым научно-техническим сообществом.

В условиях отсутствия в Армении природных энергоносителей и коммуникационной обособленности республики отказ от атомной энергетики чреват серьезнейшими энергетическими, производственными, экономическими и социальными проблемами. С учетом геополитической ситуации в регионе, фактической транспортной изоляции, отсутствия природных (ископаемых) энергоносителей, Армянская АЭС остается единственным гарантом энергетической и общей безопасности и независимости Армении.

Основные выводы

Мировой опыт стран, в которых нет природных энергоносителей (даже при отсутствии других негативных факторов), убеждает в том, что для стабильности экономики и для ее развития доля атомной энергии в общем производстве должна быть не менее 60% (примеры, Франция, Бельгия, Словакия и др.). Для Армении, с учетом ее финансовых возможностей и ряда других ограничений, доля атомной энергетики в планируемом общем производстве электроэнергии в реально может быть повышена в ближайшие годы до ~50%.

Армянская АЭС, благодаря наименьшей себестоимости производимой электроэнергии, выполняет и важнейшую социальную функцию – регулирование и

удержание в приемлемых пределах потребительской стоимости электроэнергии (компенсируя высокую стоимость электроэнергии, производимой на других энергогенерирующих предприятиях).

В производстве электроэнергии на Армянской АЭС используются минимизирующие технологии, практически исключаящие негативное воздействие производственных процессов на окружающую среду и население. Многолетним, непрерывным контролем соблюдения экологических требований подтверждается, что концентрация вредных веществ в технологических выбросах на Армянской АЭС в 10-15 раз ниже допустимых значений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Дорошук, В.Е.* Ядерные реакторы на электростанциях / В.Е. Дорошук. – Москва : Атомиздат, 1977. – 208 с.
2. *Самойлов, О.Б.* Безопасность ядерных энергетических установок / О.Б. Самойлов, Г.Б. Усынин, А.М. Бахметьев. – Москва : Энергоиздат, 1989. – 280 с.
3. *Дементьев, Б.А.* Ядерные энергетические реакторы / Б.А. Дементьев. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
4. *Стерман, Л.С.* Тепловые и атомные электрические станции / Л.С. Стерман, А.Т. Шарков, С.А. Тевлин. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 456 с.
5. *Гусев, Н.Г.* Радиоактивные выбросы в биосферу / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 223 с.
6. *Маргулова, Т.Х.* Атомные электрические станции / Т.Х. Маргулова. – Москва : ИздАТ, 1986. – 264 с.
7. *СанПиН 2.6.1.24-03* Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). – URL : <https://meganorm.ru/Index2/1/4294814/4294814649.htm> (дата обращения: 29.04.2022).
8. *СП 2.6.1.28-2000* Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций (ПРБ АС-99). – URL : <http://www.remgost.ru/> (дата обращения: 29.04.2022).
9. *Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15).* – URL : <https://meganorm.ru/Index2/1/4293756/4293756900.htm> (дата обращения: 29.04.2022).
10. *Геворкян, А.А.* Физика и основы эксплуатации реакторной установки ААЭС / А.А. Геворкян, Л.С. Оганесян, А.С. Худавердян. – Мецамор, 2002. – 256 с.
11. *Геворкян, А.А.*, Основы физики и эксплуатации реакторной установки Армянской АЭС / А.А. Геворкян, Л.С. Оганесян, А.Г. Худавердян. – Мецамор, 2000. – 385 с.
12. *Саакян, А.П.* Оборудование и режимы работы энергоблока с реакторами ВВЭР-440/ А.П. Саакян, О.З. Марухян, В.Г. Петросян. – Ереван, 2017. – 324 с.

REFERENCES

- [1] Doroshuk, V.E. Yaderniy reaktori na elektrostanciyah [Nuclear reactors in power plants]. Moscow: Atomizdat, 1977. 208 p. (in Russian).
- [2] Samoylov O.B., Usynin G.B., Bakhmetiev A.M. Bezopasnot yadernih energetixheskih ustanovok [Safety of nuclear power installations]. Moscow: Energoizdat, 1989. 280 p. (in Russian).
- [3] Dementev B.A. Yadernie Energeticheskie ustanovki [Nuclear power reactors]. Moscow: Energoatomizdat, 1990. 352 p. (in Russian).
- [4] Sterman L.C., Sharkov A.T., Tevlin S.A. Teplovie i elektricheskie stancii [Thermal and nuclear power plants]. Moscow: Energoizdat, 1982. 456 p. (in Russian).
- [5] Gusev N.G., Belyaev B.A. Radioaktivnie vibrosi v biosferu [Radioactive releases into the biosphere]. Moscow: Energoatomizdat, 1986. 223 p. (in Russian).
- [6] Margulova T.H. Atomie elektricheskie stancii [Nuclear power plants]. Moscow: IzdAT, 1986. 264 p. (in Russian).
- [7] SP 2.6.1.24-03 Sanitarnie pravila proektirovaniya i ekspluatatsii atomnih stancii (SP AS-03) [SP 2.6.1.24-03 Sanitary rules for the design and operation of nuclear power plants (SP AC-03)]. URL: <http://www.remgost.ru/> (reference date: 29.04.2022) (in Russian).
- [8] SP 2.6.1.28-2000 Pravila radiacionoy bezopasnosti pri ekspluatatsii atomnih stancii (PRB AC-99) [SP 2.6.1.28-2000 Radiation safety rules for the operation of nuclear power plants (SRB AC-99)]. URL: <http://www.remgost.ru/> (reference date: 29.04.2022) (in Russian).

- [9] Federal'nyye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii «Obshie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomij stanci» (NP-001-15) [Federal norms and rules in the field of the use of atomic energy «General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants» (NP-001-15)]. URL: [http:// https://meganorm.ru/Index2/1/4293756/4293756900.htm](http://https://meganorm.ru/Index2/1/4293756/4293756900.htm) (reference date: 29.04.2022) (in Russian).
- [10] Gevorgyan A.A., Oganessian L.S., Khudaverdyan A.S. Fizika i osnovi ekspluatatsii reaktornoj ustanovki Armyanskoy AES [Physics and fundamentals of Armenian NPP reactor plant operation]. Metsamor, 2002. 256 p. (in Russian).
- [11] Gevorgyan A.A., Oganessian L.S., Khudaverdyan A.S. Osnovi fiziki i ekspluatatsii reaktornoj ustanovki Armyanskoy AES [Fundamentals of physics and operation of the Armenian NPP reactor plant operation]. Metsamor, 2000. 385 p. (in Russian).
- [12] Saakyan A.P., Marukhyan O.Z., Petrosyan V.G. Oborudovanie i rejim raboti energobloka s reaktorami VVER-440 [Equipment and operating modes of a power unit with WWER-440 Reactors]. Yerevan, 2017. 324 p. (in Russian).

Ways of Energy Supply in the Republic of Armenia

Marine T. Hakobyan¹, Alexander I. Ksenofontov²

^{1,2}National Research Nuclear University «MEPhI», 31, Kashirskoye shosse, Moscow, Russia 15409

¹AAEC CJSC, Metsamor, Armenia

¹marine_h@mail.ru, ORCID iD: 0000-0001-8710-5734, WoS Researcher ID: H-9997-2022

²AIKsenofontov@mephi.ru, ORCID iD: 0000-0002-6864-9805, WoS Researcher ID: H-1833-2017

Received by the editorial office 06/05/2022

After completion on 11/05/2022

Accepted for publication on 19/05/2022

Abstract. This article discusses the only Armenian nuclear power plant operation in Transcaucasia, the energy demand of the population of the Republic of Armenia, the restoration and secondary launch of nuclear power plants, environmental impact assessment, and prospects for the development of nuclear energy in the country. Data on personnel dose loads, emissions and discharges of nuclear power plants, soil and water pollution in the monitoring area for 2020 are presented.

Keywords: NPP, assessment of the impact of nuclear energy on the environment, effective radiation doses, radiation monitoring, radiation safety.

For citation: Akobyan M.T., Ksenofontov A.I. Ways of Energy Supply in the Republic of Armenia // Global nuclear security. 2022. Vol. 2(43). P. 5-14. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-01>

**ЯДЕРНАЯ, РАДИАЦИОННАЯ И
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**
NUCLEAR, RADIATION AND
ENVIRONMENTAL SAFETY

УДК [628.54 : 628.477] : 621.311.25
doi: 10.26583/gns-2022-02-02

**СОЗДАНИЕ ПУНКТА ЗАХОРОНЕНИЯ ОЧЕНЬ НИЗКОАКТИВНЫХ
ОТХОДОВ НА РОСТОВСКОЙ АЭС**

© 2021 Горская Ольга Ивановна¹, Фетисова Юлия Андреевна²

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», Волгодонск,
Ростовская обл., Россия

¹gorskaya-oi@vdpnp.rosenergoatom.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3377-4654>

²fetisova-ya@vdpnp.rosenergoatom.ru

Аннотация. В работе рассматривается строительство пункта захоронения очень низкоактивных отходов (ОНАО) на Ростовской АЭС объемом 11 000 м³. Приведены сведения об образовании и обращении с ОНАО на Ростовской АЭС. Представлена характеристика пункта захоронения ОНАО объемом 11 000 м³. Проектной документацией предусматривается строительство пункта захоронения ОНАО, предназначенного для захоронения очень низкоактивных отходов IV и V классов опасности, образующихся в результате производственной деятельности Ростовской АЭС и соответствующих критериям приемлемости для захоронения.

Ключевые слова: Ростовская АЭС, очень низкоактивные отходы (ОНАО), пункт захоронения, гамма-излучающие отходы, активность, радиационный контроль, промышленные отходы, сооружения.

Для цитирования: Горская О.И., Фетисова Ю.А. Создание пункта захоронения очень низкоактивных отходов на Ростовской АЭС // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 2(43). – С. 15-23. – <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-02>

Поступила в редакцию 20.05.2022

После доработки 24.05.2022

Принята к печати 27.05.2022

Обращение с отходами в Российской Федерации регулируется двумя федеральными законами: ФЗ-89 «Об отходах производства и потребления» [1] и ФЗ-190 «Об обращении с радиоактивными отходами». В результате хозяйственной деятельности объектов атомной энергии образуются как отходы производства и потребления, так и радиоактивные отходы и промышленные отходы с повышенным содержанием радионуклидов (далее – ОНАО). Обращение с ОНАО определяют санитарные правила «Обеспечение радиационной безопасности при обращении с промышленными отходами атомных станций, содержащими техногенные радионуклиды» СП 2.6.6.2572-2010 [2]. Правила устанавливают требования к обеспечению радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды при обращении с твёрдыми промышленными отходами атомных станций, загрязнённые или содержащие радионуклиды техногенного происхождения, но не являющиеся радиоактивными отходами (ОНАО).

К ОНАО относят не предназначенные для дальнейшего использования материалы, изделия, оборудование, грунт, удельная активность которых не допускает освобождение их радиационного контроля, но меньше активности твёрдых

радиоактивных отходов. Отходы производства и потребления, загрязнённые техногенными и природными радионуклидами могут образовываться в результате деятельности многих хозяйствующих субъектов: как при эксплуатации и выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии, так и в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, металлургии и т.п.

Выбор площадки для строительства пункта захоронения ОНАО

Согласно СП 2.6.6.2572-2010 пункт захоронения ОНАО (далее – ПЗ ОНАО) может располагаться на территории промплощадки АЭС. Расположение ПЗ ОНАО обосновано обеспечением физической защиты объекта и контролем радиационной обстановки. Объем ПЗ ОНАО позволит размещать ОНАО в течение всего срока эксплуатации Ростовской АЭС. Отнесение отходов к той или иной категории осуществляется строго после измерения активности отходов. Все измерения и перемещения радиоактивных отходов и ОНАО фиксируются в специальных учетных журналах. Совместное хранение радиоактивных отходов и ОНАО запрещено федеральными нормами и правилами НП-058-14 [3], которые неукоснительно выполняется Ростовской АЭС.

Система учета образования и хранения радиоактивных отходов и ОНАО строго регламентирована и прозрачна. Выполнение требований федеральных норм и правил, санитарных правил в области обращения с радиоактивными отходами и ОНАО [1-7] ежегодно контролируется Ростехнадзором и главным государственным врачом по объектам, обслуживаемым ФМБА России в Ростовской области и г. Новороссийск Краснодарского края. Ростовская АЭС является одним из крупнейших предприятий энергетики на юге России, расположена в Ростовской области, на берегу Цимлянского водохранилища, в 13,5 км от г. Волгодонска (рис. 1).



Рисунок 1 – Вид на Ростовскую АЭС [View of the Rostov NPP]

Основным видом деятельности Ростовской АЭС является производство электрической энергии при соблюдении нормативных требований безопасности, надёжности, природоохранного законодательства РФ. Проектная мощность Ростовской АЭС составляет 4000 МВт (4 энергоблока). Проект Ростовской АЭС относится к серии унифицированных, с реакторами ВВЭР-1000 с двухконтурной системой выработки электроэнергии и установленной мощностью 1000 МВт каждый. Энергоблок №1 введён в промышленную эксплуатацию в 2001 г., энергоблок № 2 – в 2010 г., энергоблок № 3 – в 2015 г., энергоблок № 4 – в 2018 году. Атомная станция обеспечивает более 50% производства электроэнергии в Ростовской области. Суточная выработка составляет свыше 100 млн. кВт/ч.

Земельный участок под проектируемый объект расположен в Ростовской области, Дубовском районе, Жуковском сельском поселении, на расстоянии более 1,3 км от Цимлянского водохранилища. Площадь земельного участка составляет 85,698 га.

Площадка находится в 3,7 км от х. Харсеев и в 4,3 км от ст. Подгоренская. Земельный участок располагается в границах существующей санитарно-защитной зоны Ростовской АЭС. Иные зоны с особыми условиями использования территории не затрагиваются, ограничения по расположению объекта отсутствуют. На проектируемом участке деревья, кустарниковые насаждения отсутствуют. При разработке проекта использовался международный опыт по обращению с отходами этого класса [8-10].

Проектной документацией предусматривается строительство пункта захоронения (ПЗ) ОНАО, предназначенного для захоронения ОНАО IV и V классов опасности, соответствующих критериям приемлемости для захоронения и образующихся в результате производственной деятельности Ростовской АЭС.

В состав проектируемого объекта входят:

- технологический корпус с площадкой разгрузки;
- сооружение для захоронения ОНАО объемом 6000 м³, этап 1 (срок заполнения 27 лет);
- сооружение для захоронения ОНАО объемом 5000 м³, этап 2 (срок заполнения 23 года).

ПЗ ОНАО должен обеспечивать радиационную безопасность работников, населения и окружающей среды в течение периода потенциальной опасности ОНАО.

Измерение удельной активности отходов и определение радионуклидного состава ОНАО на установке паспортизации типа УП-1 производства НПП «RADICO».

ПЗ ОНАО должен обеспечивать радиационную безопасность работников, населения и окружающей среды в течение периода потенциальной опасности ОНАО.

Для обеспечения безопасного захоронения ОНАО в ПЗ ОНАО планируются следующие виды работ:

- переработка ОНАО на установке прессования с целью минимизации объёмов отходов и минимизации выхода радионуклидов из ОНАО (рис. 2);
- паспортизация ОНАО на установке паспортизации типа УП-1 производства НПП «RADICO» (рис. 3).



Рисунок 2 – Установка прессования ОНАО [VLLW pressing unit]



Рисунок 3 – Установка паспортизации типа УП-1 [Passporting unit type UP-1]

Образование и обращение с ОНАО на Ростовской АЭС

В соответствии с п. 1.2 Санитарных правил СП 2.6.6.2572-2010 «Обеспечение радиационной безопасности при обращении с промышленными отходами атомных

станций, содержащими техногенные радионуклиды» [2] ОНАО называются твердые промышленные отходы атомных станций, загрязненные или содержащие радионуклиды техногенного происхождения, но не являющиеся радиоактивными отходами. К ОНАО относят не предназначенные для дальнейшего использования материалы, изделия, оборудование и грунт, удельная активность которых не допускает освобождение их от радиационного контроля, но меньше активности твердых радиоактивных отходов.

Для предварительной сортировки отходов используются мощности дозы гамма-излучения над фоном на расстоянии 0,1 м от поверхности.

Гамма-излучающие отходы АЭС считаются ОНАО при мощности дозы от 0,1 мкЗв/ч до 1 мкЗв/ч. Если мощность дозы больше 1 мкЗв/ч, то окончательное решение об отнесении отходов к ОНАО принимается на основе данных об активности и радионуклидном составе отходов:

- промышленные отходы с удельной бета-активностью от 0,3 до 100 кБк/кг или с удельной альфа-активностью от 0,3 до 1,0 кБк/кг, или с содержанием трансурановых радионуклидов от 0,3 до 1,0 кБк/кг относятся к ОНАО при неизвестном радионуклидном составе;

- при известном радионуклидном составе отходы относятся к ОНАО, если их суммарная удельная активность больше или равна 0,3 кБк/кг, а верхняя граница активности определяется суммой отношений удельной активности радионуклидов к их минимально значимой удельной активности, сумма не должна превышать 1.

Основной вклад (свыше 95 %) в активность ОНАО вносят: Mn-54, Co-60, Sr-90, Cs-134, Cs-137. Освобождаются от радиационного контроля отходы, у которых суммарная удельная активность менее 0,3 кБк/кг.

Освобожденные от контроля отходы могут захораниваться на полигонах промышленных отходов.

Таким образом, ОНАО относятся к отходам производства и потребления с дополнительными требованиями в части радиационного контроля.

ОНАО образуются на Ростовской АЭС при эксплуатации и ремонте оборудования, трубопроводов, аппаратуры, помещений АЭС и при сортировке РАО.

Ожидаемый общий объем ОНАО, размещаемый в сооружениях проектируемого объекта, составляет 5945 м³, в том числе:

- этап 1 – 3243 м³ ОНАО;
- этап 2 – 2702 м³ ОНАО.

Сбор ОНАО производится в местах их образования отдельно от радиоактивных отходов, при этом предусматривается исключение смешивания отходов различных уровней активности.

Характеристика пункта захоронения ОНАО

В соответствии с технологией захоронения ОНАО, согласно графику поступления ОНАО, траншея 1 этапа объемом 6000 м³ и траншея 2 этапа объемом 5000 м³ будут заполняться в течение 27 лет каждая.

Здание Технологического корпуса представляет собой прямоугольное, одноэтажное здание (рис. 4) с несущим металлическим каркасом и наружными ограждающими конструкциями из профилированного настила с размерами в плане 12,54 м х 13,03 м. Высота здания от отметки уровня земли до верха покрытия переменная от 3,50 м до 6,21 м. Здание неотапливаемое. Конструктивная схема здания – рамно-связевый металлический каркас. Рамы однопролетные, расположены вдоль буквенных осей. Шаг рам 6,0 м, пролет 12,0 м. Вертикальные связи по колоннам расположены по осям 1, 2 в осях А-Б. Фундаменты здания приняты монолитные столбчатые.

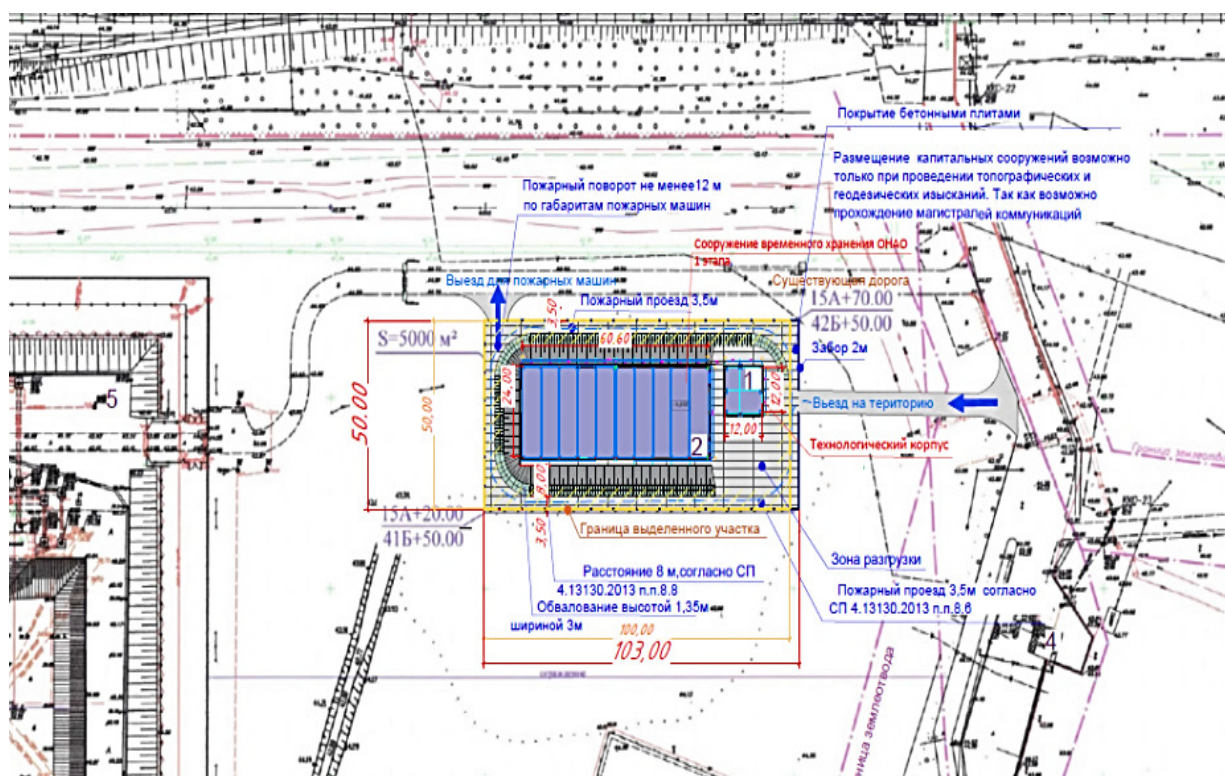


Рисунок 4 – План размещения ПЗ ОНАО [Disposal site plan for very low level waste]

1 этап. Сооружение предназначено для захоронения горючих и негорючих ОНАО III, IV и V классов опасности. Сооружение состоит из надземной и заглубленной частей.

Надземная часть сооружения временного хранения ОНАО представляет собой одноэтажное прямоугольное неотапливаемое сооружение с размерами в плане 24,6 м х 61,9 м и наружными ограждающими конструкциями из профилированного настила.

Сооружение имеет два температурных блока.

Температурный-деформационный шов расположен в осях 6-7, делит здания на два температурных блока длиной 31,0 метр.

Высота сооружения от отметки уровня земли до отметки конька 8,09 метра. Высота сооружения от отметки технологической площадки 0,000 до низа несущих конструкций (фермы) 3,93 метра.

Надземная часть сооружения предназначена для защиты от атмосферных осадков на период полного заполнения сооружения контейнерами с ОНАО.

Проектом предусмотрено заполнения сооружения в течении 27 лет.

Конструктивная схема надземной части металлический каркас. Шаг рам 6,0 м, пролет 24,0 метра.

Колонны рамы приняты сплошного сечения из прокатных двутавров по ГОСТ Р57837-2017, фермы разработаны на основе серии 1.460.3-23.98 с уклоном кровли 20% из замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения по ГОСТ 30245-2003.

Сооружение имеет крановое оборудование. Кран трехопорный электрический (грузоподъемность 1,0 т).

Заглубленная часть сооружения имеет бескаркасную поперечно-стенную монолитную конструктивную схему с шагом поперечных стен 6,0 метров. Глубина подземной части сооружения 4,65 метра.

После заполнения сооружения контейнерами с ОНАО, конструкции надземной части демонтируются, а заглубленная часть заполняется буферным материалом (песком) до отметки верха железобетонных стен сооружения.

По верху подсыпки выполняется железобетонная монолитная плита толщиной 150 мм и обваловка высотой 1,35 метра.

Пространственная жесткость и неизменяемость подземной части сооружения обеспечивается жесткостью внешних и внутренних железобетонных стен, жестко соединенных с фундаментной плитой и между собой.

Монолитные железобетонные конструкции воспринимают все действующие на подземную часть вертикальные и горизонтальные нагрузки и обеспечивают прочность, общую устойчивость и пространственную неизменяемость подземной части сооружения.

2 этап. Сооружение от предыдущего этапа отличается только размерами и предназначено для захоронения горючих и негорючих ОНАО III, IV и V классов опасности, состоит из надземной и заглубленной частей. Надземная часть сооружения временного хранения ОНАО представляет собой одноэтажное прямоугольное неотапливаемое сооружение с размерами в плане 24,6 м х 55,9 м и наружными ограждающими конструкциями из профилированного настила.

К ОНАО относят не предназначенные для дальнейшего использования материалы, изделия, оборудование и грунт, удельная активность которых не допускает освобождение их от радиационного контроля, но меньше активности твердых радиоактивных отходов. Для предварительной сортировки отходов используются мощности дозы гамма-излучения над фоном на расстоянии 0,1 м от поверхности.

В соответствии с требованиями Раздела V СП 2.6.6.2572-2010 в составе ПЗ ОНАО предусматривается узел переработки. Переработка должна обеспечивать минимизацию объема отходов, минимизацию выхода радионуклидов из ОНАО, а также стабильное состояние отходов.

Поступление упаковок с ОНАО на территорию проектируемого объекта производится посредством автотранспорта. На переработку поступает партия из 8 упаковок (200 л бочек) с ОНАО. Предварительно, содержимое упаковок собирается и сортируется, в зависимости от способа обращения, в местах образования ОНАО.

В зависимости от способа обращения отходы делятся на:

- перерабатываемые (измельчение и/или прессование);
- неперерабатываемые.

На участке переработки ОНАО предусмотрено следующее технологическое оборудование для обращения с перерабатываемыми отходами: установка измельчения; установка прессования (компактирования).

Партия упаковок с отходами, подлежащих предварительному измельчению, после прохождения паспортизации, направляются на установку измельчения типа ЩД 430.

Измельченные отходы передаются на установку прессования или на паспортизацию, а затем в зону размещения ОНАО, подготовленных к захоронению.

Партия упаковок с прессуемыми ОНАО направляются на установку прессования с целью уменьшения первоначального объема отходов. В качестве установки прессования используется гидравлический пресс типа ORWAK 5030 NHD, компактирование отходов осуществляется в исходной упаковке. Оператор установки снимает крышку с 200 л бочки, бочка устанавливается в камеру пресса. После компактирования отходов в первой бочке осуществляется ручная дозагрузка отходов из следующей упаковки. Прессование производится в несколько циклов до полного наполнения бочки. Упаковка с прессованными отходами направляется в зону на паспортизацию, а затем в зону размещения ОНАО, подготовленных к захоронению (рис. 5).



Рисунок 5 – Общий вид ПЗ ОНАО [General view of the very low level waste disposal facility]

Оценка воздействия на окружающую среду

По результатам оценки воздействия, проектируемые объекты в период строительства и эксплуатации не оказывают химического, физического и (или) биологического воздействия, превышающего требования СанПиН 1.2.3685-21 [11] и СанПиН 2.1.3684-21 [12].

Проектируемые объекты не окажут негативное влияние санитарно-эпидемиологическую обстановку и здоровье населения по фактору воздействия на атмосферный воздух, водные ресурсы, почвы. Влияния факторов, связанных со строительством проектируемых объектов по захоронению ОНАО на заболеваемость и демографические показатели не прогнозируется.

Экономическая целесообразность строительства проектируемых объектов по захоронению ОНАО определяется отсутствием альтернативных вариантов обращения с данным типом отходов ввиду удаленности предприятия от возможных предприятий-приемщиков ОНАО, сложными транспортными схемами, а также отсутствием специализированных полигонов в Ростовской области, соответствующих требованиям природоохранного и санитарного законодательства. Значительное расстояние транспортирование отходов АЭС приведет к удорожанию операций по обращению с отходами в сравнении с захоронением на собственном полигоне. Влияния негативных факторов, связанных со строительством проектируемых объектов по захоронению ОНАО на социально-экономические показатели не прогнозируется.

На основании проведенной оценки воздействия можно сделать вывод, что обеспечивается соблюдение санитарно-гигиенических норм и нормативов качества окружающей среды. Для дополнительного снижения негативного воздействия на окружающую среду предусматривается реализация комплекса природоохранных мероприятий. Поэтому воздействие от рассматриваемого объекта оценивается как допустимое на период строительных работ и при эксплуатации Объекта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Федеральный закон №89-ФЗ от 24.06.1998 «Об отходах производства и потребления»*. – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/.
2. *СП 2.6.6.2572-2010 «Обеспечение радиационной безопасности при обращении с промышленными отходами атомных станций, содержащими техногенные радионуклиды»*. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/902199394>.
3. *НП 058-14 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения»*. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/420215595>.
4. *Федеральный закон № 52-ФЗ от 03.03.1999 г. «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»*. – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/

5. Градостроительный кодекс Российской Федерации № 190-ФЗ от 29 декабря 2004 года. – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/.
6. СП 2.6.1.2612-10. «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ-99/2010). – URL : <https://docs.cntd.ru/document/902214068>.
7. Постановление Правительства РФ от 19.10.2012 N 1069 (ред. от 04.02.2015) «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов». – URL : <https://docs.cntd.ru/document/902376375>.
8. Очень низкоактивные радиоактивные отходы в системе безопасного обращения с радиоактивными отходами / Научный портал «Атомная энергия 2.0». – URL : <https://www.atomic-energy.ru/SMI/2014/11/22/53160>.
9. Рыбальченко, И.Л. Обращение с отходами очень низкого уровня активности. Шведский опыт. – Санкт-Петербург, 2009. – 36 с.
10. United States Nuclear Regulatory Commission : официальный сайт. – URL : <https://www.nrc.gov/waste/llw-disposal/licensing/statistics>.
11. СанПиН 1.2.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». – URL : <https://docs.cntd.ru/document/573536177>.
12. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – URL : <https://docs.cntd.ru/document/573500115>.

REFERENCES

- [1] Federal'nyj zakon №89-FZ ot 24.06.1998 «Ob othodah proizvodstva i potrebleniya» [Federal law No. 89-FZ of 24.06.1998 «Production and consumption waste»]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (in Russian).
- [2] SP 2.6.6.2572-2010 «Obespechenie radiacionnoj bezopasnosti pri obrashchenii s promyshlennymi othodami atomnyh stancij, soderzhashchimi tekhnogennye radionuklidy» [SP 2.6.6.2572-2010 «Ensuring radiation safety when handling industrial waste from nuclear power plants containing man-made radionuclides»]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902199394> (in Russian).
- [3] NP 058-14 Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii «Bezopasnost' pri obrashchenii s radioaktivnymi othodami. Obshchie polozheniya» [NP 058-14 Federal norms and rules in the field of atomic energy use «Safety in handling of radioactive waste. General provisions»]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420215595> (in Russian).
- [4] Federal'nyj zakon № 52-FZ ot 03.03.1999 g. «O sanitarno-epidemiologicheskom blagopoluchii naseleniya» [Federal Law No. 52-FZ of 03.03.1999 «Sanitary and epidemiological well-being of the population»]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/ (in Russian).
- [5] Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii № 190-FZ ot 29 dekabrya 2004 goda [City planning code of the Russian Federation No. 190-FZ of 29 december 2004]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (in Russian).
- [6] SP 2.6.1.2612-10. «Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniya radiacionnoj bezopasnosti» (OSPORB-99/2010) [SP 2.6.1.2612-10. «Basic sanitary rules for ensuring radiation safety» (OSPORB-99/2010)]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902214068> (in Russian).
- [7] Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 19.10.2012 N 1069 (red. ot 04.02.2015) «O kriteriyah otneseniya tverdyh, zhidkih i gazoobraznyh othodov k radioaktivnym othodam, kriteriyah otneseniya radioaktivnyh othodov k osobym radioaktivnym othodam i k udalyaemym radioaktivnym othodam i kriteriyah klassifikacii udalyaemyh radioaktivnyh othodov» [Decree of the Government of the Russian Federation of 19.10.2012 N 1069 (revised on 04.02.2015) «Criteria for classifying solid, liquid and gaseous waste as radioactive waste, criteria for classifying radioactive waste as special radioactive waste and disposed radioactive waste and criteria for classification of disposed radioactive waste»]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902376375> (in Russian).
- [8] Ochen' nizkoaktivnye radioaktivnye othody v sisteme bezopasnogo obrashcheniya s radioaktivnymi othodami [Very low level radioactive waste in the safe management of radioactive waste]. Nauchnyj portal «Atomnaya energiya 2.0» [The Atomic Energy 2.0 Science Portal]. URL: <https://www.atomic-energy.ru/SMI/2014/11/22/53160> (in Russian).

- [9] Rybal'chenko I.L. Obrashchenie s othodami ochen' nizkogo urovnya aktivnosti. Shvedskij opyt [Management of very low-level waste. Swedish experience]. St Petersburg, 2009. 36 p. (in Russian).
- [10] United States Nuclear Regulatory Commission. URL: <https://www.nrc.gov/waste/llw-disposal/licensing/statistics> (in English).
- [11] SanPiN 2.1.3684-21 «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k sodержaniyu territorij gorodskih i sel'skih poselenij, k vodnym ob'ektam, pit'evoj vode i pit'evomu vodosnabzheniyu, atmosfernomu vozduhu, pochvam, zhilym pomeshcheniyam, ekspluatacii proizvodstvennyh, obshchestvennyh pomeshchenij, organizacii i provedeniyu sanitarno-protivoepidemicheskikh (profilakticheskikh) meropriyatij» [SanPiN 2.1.3684-21 «Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of urban and rural areas, water bodies, drinking water and potable water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial and public buildings, organization and implementation of sanitary and antiepidemic (preventive) measures»]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (in Russian).
- [12] SanPiN 1.2.3685-21 «Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya» [SanPiN 1.2.3685-21 «Hygienic standards and requirements to ensure safety and (or) harmlessness for humans of environmental factors»]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (in Russian).

Creation of Very Low-Level Waste Disposal Facility at Rostov NPP

Olga I. Gorskaya¹, Yulia A. Fetisova²

«Rostov nuclear power plant» branch of Rosenergoatom Concern JSC, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

¹*gorskaya-oi@vdpnp.rosenergoatom.ru, ORCID iD: 0000-0003-3377-4654*

²*fetisova-ya@vdpnp.rosenergoatom.ru*

Received by the editorial office on 20/05/2022

After completion on 24/05/2022

Accepted for publication on 27/05/2022

Abstract. The paper considers the construction of a very low-level waste disposal facility (VLLW) at the Rostov NPP with a volume of 11,000 m³. Information about formation and management of VLLW at Rostov NPP is given. Characteristics of 11,000 m³ VLLW disposal facility is presented. The design documentation provides for construction of the VLLW disposal facility intended for disposal of very low-level waste of hazard classes IV and V formed as a result of Rostov NPP production activities and meeting the criteria of disposal acceptability.

Keywords: Rostov NPP, very low-level waste (VLLW), disposal site, gamma-emitting waste, activity, radiation control, industrial waste, facilities.

For citation: Gorskaya O.I., Fetisova Yu.A. Creation of a very Low-level Waste Disposal Facility at the Rostov NPP // Global nuclear safety. 2022. Vol. 2(43). P. 15-23. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-02>

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ВВОД
В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

DESIGN, MANUFACTURE AND COMMISSIONING
COMMISSIONING OF EQUIPMENT
NUCLEAR INDUSTRY FACILITIES

УДК 691-405.8
doi: 10.26583/gns-2022-02-03

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ВТОРИЧНОГО БЕТОНА ОИАЭ В РАМКАХ АДДИТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

© 2022 Давтян Арсен Рубенович¹, Нахабов Александр Владимирович²

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

¹arsen.davtian2011@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8455-075X>

²AVNakhabov@mephi.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2323-8850>

Аннотация. Объектом исследований данной работы является обоснование методики вторичного использования бетонного боя, получаемого в результате демонтажа зданий и сооружений объектов использования атомной энергии (ОИАЭ). В данном исследовании вторичное применение рассматривается в рамках аддитивных технологий. Строительство с применением аддитивных технологий является одним из перспективных направлений. Данное направление исследования является частью обоснования метода вторичного применения бетона, полученного в результате демонтажа зданий и сооружений ОИАЭ.

Ключевые слова: вторичное использование бетона, обращение с НАО и ОНАО, оценка радиоактивного воздействия, аддитивные технологии, лабораторные испытания.

Для цитирования: Давтян А.Р., Нахабов А.В. Исследование возможности применения вторичного бетона ОИАЭ в рамках аддитивных технологий // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 2(43). – С. 24-33. – <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-03>

Поступила в редакцию 16.05.2022

После доработки 20.05.2022

Принята к печати 27.05.2022

Введение

Благодаря своим свойствам, бетон зарекомендовал себя как достаточно качественный материал для защиты от ионизирующих излучений (ИИ). Его комбинирование с разными видами заполнителя (серпентинит, гематит, магнетит, хромит, карбид бора и др.) многокомпонентный бетон обладает высокими защитными свойствами от ИИ. Стоит так же отметить, что после облучения, свойства бетона также будут зависеть от свойств, составляющих его вяжущих и заполнителя.

Высокая радиационная нагрузка на бетонные конструкции, как правило, сопровождается большим внутренним радиационным тепловыделением в материале. Нагрев бетона до температур в несколько сотен и даже тысяч градусов оказывает влияние, как на процессы структурообразования, так и на изменение уже сформировавшейся структуры. Стоит отметить, что при изучении свойств бетона уделяется большое внимание зависимости прочностных показателей бетонных конструкций (разных минералогических составов) от температуры.

По данной тематике проводилось множество исследовательских работ, начиная с 1940-х годов. При этом исследования касались различных аспектов, начиная от

изменения механических свойств заканчивая изменениями структуры самого материала. Первые данные об исследованиях бетона после облучения относятся к 1944 году. Описания о недопустимых изменениях свойств бетона после облучения явились причиной исследования еще в 1948 году [1].

Исследования свойств активно проводились и в других странах. Так в конце 1955 г. возник вопрос о возможном повреждении стенок каналов реактора для исследования материалов (Materials Testing Reactor (MTR)). В результате чего была проведена серия испытаний с гамма-облучением образцов конструкционного бетона для проверки их на потерю прочности из-за интенсивного и длительного облучения [2]. Проводились множество испытаний радиационной стойкости обычных бетонов.

Под обычным бетоном подразумеваются бетоны, изготовленные из портландцемента и заполнители из неметаллических материалов: известняки, песчаники, граниты и т.д. Как правило, выбор заполнителя определяется месторасположением конструкции. Так в статье под названием «Радиационные повреждения в обычном бетоне» [3] описано влияние на обычные бетоны интегральных потоков нейтронов. Но при этом уточнено, что свойства зависят от типа заполнителя и состава бетона.

Исследования свойств бетонов, а также рассмотрение вариантов его вторичного использования являются актуальными. Во многих работах рассматриваются новые бетоны, при этом возможность вторично использовать бетона, подвергшиеся длительному влиянию интегральных потоков нейтронов, как мелкий и средний заполнитель для бетонных смесей не рассматривалось.

Методология исследования

Настоящая статья состоит из подборки научных публикаций, а также исторического обзора исследований, связанных с данной тематикой. В статье описаны собственные экспериментальные работы, связанные с направлением исследований.

Методологической основой в работе выступают консервативные расчеты, опирающиеся на полуэмпирические формулы нормативной документации в сфере атомной энергетики, а также проведенные лабораторные испытания в сертифицированной лаборатории.

Отечественный исторический опыт исследования прочности и деформации бетонов и растворов

Прочность деформативности бетонов измеряется зависимостью прочности облученных образцов и от интегрального потока радиационных деформаций. Ниже рассматриваются фундаментальные работы по исследованию свойств бетона при влиянии на них гамма-облучения и ИИ.

В начале 1958 г. секция Физики и состояния реакторов [2], приступила к программе облучения 24 образцов бетона в гамма-облучательных установках. После чего над образцами проводили испытания на сжатие и изгиб в период с 1958-1959 гг., для определения изменений физико-механических свойств. В результате образцы, испытываемые на сжатие не изменили своих свойств, по сравнению с контрольными образцами. После чего были проведены испытания в 1967 г., где рассматривалось большее количество образцов. В результате испытаний на сжатие была определена потеря прочности образцов. Кроме того, на некоторых образцах было отмечено сильное ухудшение качества поверхности. Данные изменения обусловлены влиянием гамма-облучений, а также из-за воздействия воды на образцы. В результате чего было определено, что потеря прочности прогрессировала при воздействии гамма-излучения до 2×10^{11} Рад. По итогу работ была зафиксирована потеря прочности облученных образцов до 50 % по сравнению с контрольными образцами [2].

В трудах под авторством В.Б. Дубровского [3] тоже приводятся примеры исследований того времени. В их работе рассматривались изменения структуры бетонов с различными типами заполнителей в результате облучения равными интегральными потоками нейтронов.

В ходе работы было выявлено, что объёмные радиационные деформации растворов и бетонов зависят в первую очередь от радиационной деформативности заполнителя и относительного объёмного содержания его крупных фракций. Объясняется все тем, что в результате облучения кристаллы минералов самого заполнителя, имеют положительные радиационные деформации, которые служат причиной расширения растворов и бетонов. Имеется ввиду, что степень изменения прочности от радиационной деформативности составов после облучения зависит от технологических факторов и свойств текучести растворов. Изменение прочности бетонов и растворов в зависимости от интегральных потоков или радиационных деформаций можно производить по формулам (1)-(3):

$$P = -a \cdot \lg \Phi \cdot b + c, \quad (1)$$

$$P = -aD + c, \quad (2)$$

$$P = \frac{a \cdot (d - D)}{\sqrt{D + e}}, \quad (3)$$

где P – отношение прочности материала после облучения к начальной, %;

Φ – интегральный поток нейтронов, действующий на материал, прочность которого определяется, *нейтрон/см²*;

D – число, равное линейным радиационным деформациям этого материала, %;

a (%);

b – коэффициент, *см²/нейтрон*;

c – коэффициент, %;

d и e – коэффициенты.

Зарубежный исторический опыт исследования бетонов и растворов

Влияние изменения на свойства бетонов изучаются и за рубежом, влияние на бетон изучалось в различных условиях.

Проводились работы, в которых рассматривалось влияние двух типов излучения на прочностные свойства бетонов, а именно нейтронное и гамма-излучения [4]. Нормальные бетоны могут противостоять нейтронному излучению более 5×10^{19} н/см² без потери прочности. При этом в исследованиях фиксировалось снижение прочности на сжатие при потоке нейтронов равному излучению более 1×10^{19} н/см² [4]. Потеря прочности в основном обусловлена нейтронным излучением, также на прочностные характеристики влияет повышение температуры. При этом в данных работы над бетонами разброс в экспериментальных данных объясняется различиями в составе образцов бетона. В ходе экспериментов бетоны также подвергались воздействию первичного и вторичного гамма-излучения, в ходе работы доза гамма-излучения составляла 3×10^{11} Рад. Данные работы показали снижение прочности бетона с увеличением дозы гамма-излучения [4].

Влияние гамма-излучения было исследовано для бетона, используемого в сухих контейнерах для хранения ядерных материалов, где ожидаемая общая поглощенная доза гамма-излучения составляет порядка МГр [5].

Аддитивные технологии в строительстве

В целом строительная отрасль пытается перейти к цифровой системе проектирования. Поскольку цифровое проектирование обеспечивало большую

производительность, чем общепринятые методы строительства. В связи с этим возможность печати зданий и сооружений путем 3D печати стало общим направляющим для обновления строительной индустрии. Для проектирования и строительства в формате 3D печати необходимо обладать навыками BIM проектирования. Как правило, архитектурная модель рисуется в программе моделирования перед экспортом в формат файла STL (стандартный язык теселяции), который соответствует стандартному типу файла содержащую информацию о геометрии 3D модели. После чего, программное обеспечение сегментирует модель на срезы слоев, создавая серию двухмерных граничных линий, которые вместе с дополнительными данными о характеристиках печати обрабатываются и приводят к командам управления для позиционирования экструзионного сопла обеспечивая послойную печать [6], процесс отображен на рисунке 1.

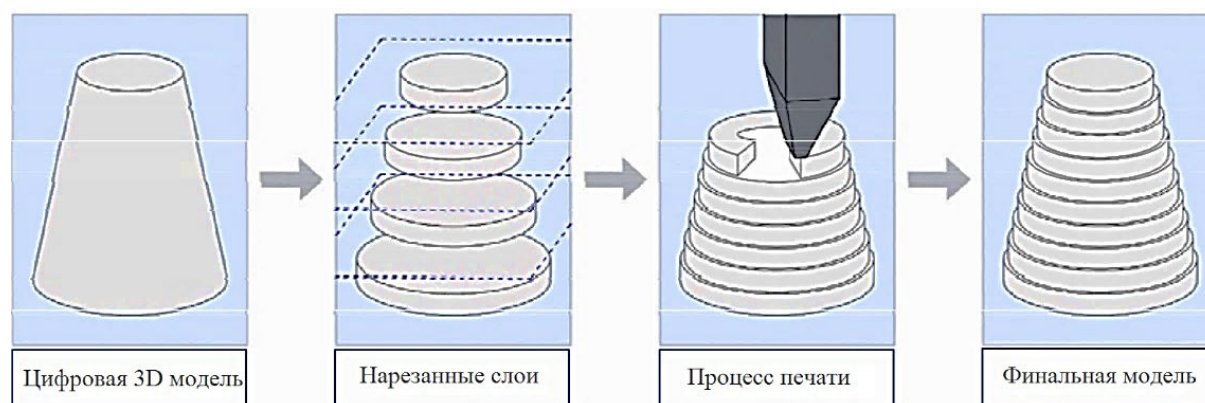


Рисунок 1 – Схема движения экструдера [The flow diagram of the extruder] [6]

Печать осуществляется специальными принтерами, которые позволяют воспроизвести практически полный каркас здания в кратчайшие сроки с минимальными денежными и трудовыми затратами в процессе строительства [7].

Но сама технология является новой и у неё могут быть свои особенности. Одна из главных особенностей – это то, что печать бетоном требует применения определенного армирования. Конкретного решения вопроса армирования нет, поскольку в основном 3D печать зданий происходила для малоэтажных зданий, поскольку армировать малоэтажные объекты проще.

Исследования и материалы для аддитивного строительства

Аддитивные технологии могут иметь два варианта использования:

- для строительства с использованием обычных бетонов;
- для строительства с использованием вторичного бетона.

В мире уже существуют компании, внедрившие в строительную отрасль свои проекты: «3D-printed Canal House» компании DUS Architects; «Chinese houses» компании WinSun; «a Chinese building» компании WinSun и т.д. [8].

Технологии 3D-печати становятся проще с каждым годом, если раньше перед использованием оборудования ему требовалась определенная техническая настройка и должное обслуживание специалистом, то сегодня даже многие школьники умеют пользоваться 3D-принтерами. Упрощение эксплуатации оборудования способствует популяризации аддитивных технологий – внедрению в широкие массы и в различные сферы нашей жизнедеятельности. Так, в 2018 г. одних только 3D-принтеров для домашнего использования было продано более 400 тысяч. В 2021 г. этот показатель вырос на порядок [9].

Для вторичного использования бетонов в 3D печати здания вторичные бетоны рассматриваются как мелкий заполнитель. Поскольку 3D печать зданий является новой технологией, то исследования в данной области очень актуальны.

В работе Толыпин Д.А., Толыпина Н.М. рассматривается способ переработки бетонного боя для использования в 3D-печати. В работе предложен рациональный способ переработки бетонного боя 3D-печати с использованием виброоборудования, что позволяет получать многокомпонентный строительный материал при минимальном потреблении электроэнергии. Показана возможность повторного использования полученного продукта вместо традиционного мелкого заполнителя из кварцевого песка [10].

Проводились исследования самих вяжущих для 3D печати. В работах Е.С. Глаголева, В.С. Лесовика, Л.Х. Загороднюка, Д.С. Подгорного получены энергоэффективные, экономичные составы, обладающие характеристиками для строительной 3D печати [11]. Подобранные ими смеси обладают высокой скоростью схватывания и твердения, обеспечивая высокую прочность.

Стоит отметить в апреле 2021 г. в РФ вступили в силу государственные стандарты на материалы для аддитивного строительного производства: ГОСТ Р 59095-2020 «Материалы для аддитивного строительного производства. Термины и определения»; ГОСТ Р 59096-2020 «Материалы для аддитивного строительного производства. Методы испытаний»; ГОСТ Р 59097-2020 «Материалы для аддитивного строительного производства. Технические требования». Поскольку до этого времени не было регламентации для лабораторных исследований, то все исследования имели только научную составляющую. Данные нормативные документы позволят результатам исследований иметь прикладной характер, соответствующий государственным стандартам.

Проведенные исследования физико-механических свойств бетонов

В данной работе вторичные бетоны имитируют физико-механическую работу бетона класса очень низкоактивных радиоактивных отходов (ОНАО).

В рамках научно-исследовательской работы выполнены лабораторные испытания для определения физико-механических характеристик бетонного боя, который появляется в результате демонтажа объектов использования атомной энергии. На основе результатов выполненных лабораторных испытаний, подтверждена обоснованность и целесообразность применения данного типа бетона как конструктивного материала.

Испытания образцов выполнены согласно ГОСТ 10180, процесс испытаний изображен на рисунке 2. Настоящий стандарт распространяется на бетоны всех видов по ГОСТ 25192, применяемые во всех областях строительства, и устанавливает методы определения предела прочности бетонов на сжатие, осевое растяжение, растяжение при раскалывании и растяжение при изгибе путем разрушающих кратковременных статических испытаний специально изготовленных контрольных образцов бетона.



Рисунок 2 – Изготовление бетонного боя: а) демонтированный бетон б) щекодробилка, в) получившийся бой бетона [Production of concrete scraps: a) dismantled concrete b) crusher, c) resulting concrete scrap]

В ходе экспериментальных работ нами было изготовлено 3 образца с разными составами, образец первого состава является контрольным и имел классический состав бетона. У каждого из образцов имелся свой состав со своими значениями, указанными в таблице 1.

Таблица 1 – Состав смеси образцов [Composition of the sample mixture]

№ обр.	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень/ бой бетона, кг	Вода, мл	Фибра, гр	Добавка мл	В/Ц	Прочность на сжатие МПа 28 суток
1	1,500	3,450	2,700/-	790	-	-	0,5	19,8
2	1,500	3,450	-/2,700	790	-	-	0,5	16,9
3	1,500	3,450	-/2,700	620	17	200	0,54	20,17

Испытания показали, что бетоны с заполнителем, изготовленным из вторичного бетона по своим физико-механическим свойствам не уступают обычным бетонам. При условии ввода в состав бетонной смеси добавок в виде силиката натрия, что позволяет существенно поднять показатели прочности бетона. Достоверность результатов, основных научных положений и выводов обоснована применением комплекса физико-механических методов анализа в соответствии с требованиями стандартов и научных методик. Результаты не противоречат общепринятым теоретическим положениям. Научно-практические рекомендации подтверждены результатами лабораторных испытаний. Использование бетонного боя в качестве крупного заполнителя позволяет без особых затруднений получить новый бетон высокого качества, в том числе и достаточного класса прочности, на рисунке 3 отчетливо видно, что образец 3 не уступает по прочности стандартному бетону.

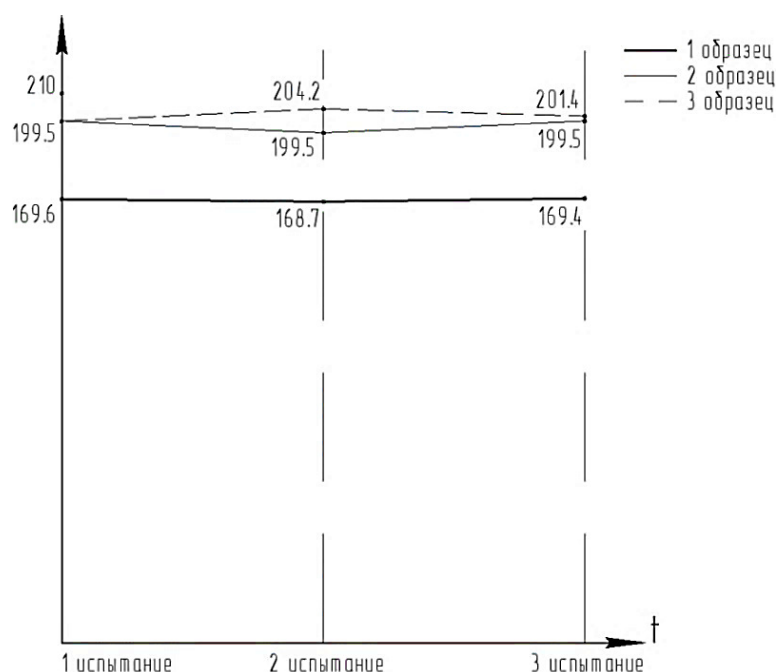


Рисунок 3 – Результаты испытания образцов вторичного бетона (кг/см²) [Test results of secondary concrete samples (kg/cm²)]

Проведенные испытания отражают, возможность вторичного использования бетона в строительстве. Наличие такой информации позволит проектировать составы растворов и бетонов, в структуре которых при ожидаемой в эксплуатационных

условиях дозе облучения будут развиваться положительные изменения, т.е. такие изменения, которые вызовут повышение определяющего параметра радиационной стойкости материала, в частности прочности.

Во многих работах рассматриваются новые бетоны, при этом возможность вторично использовать бетоны, подвергшиеся длительному влиянию интегральных потоков нейтронов, как мелкий и средний заполнитель не рассматривалось.

Расчет активности бетонов

Для обоснования утилизации ж/б отходов, которые остаются после демонтажа зданий и сооружений ОИАЭ, и повторное применение этих ж/б отходов в новом строительстве.

В связи с этим как научный, так и практический интерес представляет изучение пространственного распределения продуктов активации материалов, оборудования и конструкций (корпус реактора, внутрикорпусные устройства, «сухая» и биологическая защита, железобетонная шахта реактора) при облучении их нейтронами, из активной зоны реактора.

В рамках работы был проведен расчет выхода бетонной пыли (класса НАО и ОНАО) в процессе обращения с материалами демонтажа, её концентрация и активность в процессе работы с ним. Вкладчиком активности рассматривался тритий (3H).

Формула (4) для расчета доз облучения получена в пренебрежении самоэкранированием органов и тканей, и не учитывают различия в возрастных группах (величина ошибки в значении эквивалентной дозы, вносимая принятым упрощением, не превышает 50%):

$$H_{A,\infty}^{r,j} = \bar{C}_n^{V,r}(x) \cdot R_A^{r,j} \cdot k_A^r \cdot 3,15 \cdot 10^7, \quad (4)$$

где $H_{A,\infty}^{r,j}$ – годовая доза от радионуклида r х, Зв/год;

$\bar{C}_n^{V,r}(x)$ – среднегодовая приземная концентрация Бк/м³;

$R_A^{r,j}$ – дозовые факторы конверсии, Зв·м³/(с·Бк);

k_A^r – коэффициент защищенности зданиями для радионуклида r распределенного в полубесконечном пространстве, учитывающий также время пребывания человека на открытой местности. Его значения приведены в таблице П5.5 [12].

Проведен расчет активности и эквивалентной дозы на персонал и население. Дозовые коэффициенты принимались согласно НРБ-99/2009 приложение 1 [12], итоги расчета приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Данные расчетов активности и эквивалентной дозы на персонал вовлеченный в переработку [Data of calculations of activity and equivalent dose for personnel involved in processing]

³ H		Скорость дыхания м ³ /с (w)	
Активность бетона Бк/кг	1.00E+03	Время работы (с) (t)	0.000389
Бк	7.59E+00	Масса пыли (m)	18000
Бк/м ³	2.26E-01	Дозовый коэфф. экв.	0.00759
Поступление в организм (Бк)	1.59E+00	V сферы (м)	1.8E-15
Доза эквивалентная (Зв)	2.85E-15	Радиус раб. зоны (м)	33.51
			2

Таблица 3 – Данные расчетов активности и эквивалентной дозы на население [Data of calculations of activity and equivalent dose per population]

³ H		Скорость дыхания м ³ /с (w)	
Активность бетона Бк/кг	1.00E+03	Время работы (с) (t)	0.000389
Бк	1.52E+00	Масса пыли (m)	3600
Бк/м ³	4.53E-02	Дозовый коэфф. экв.	0.001518
Поступление в организм (Бк)	6.34E-02	V сферы (м)	1.8E-15
Доза эквивалентная (Зв)	1.14E-16	Радиус раб. Зоны (м)	33.51
			2

В результате сравнения расчетных данных и значений предельных годовых поступлений (ПГП) по НРБ-99/2009 выявлено, что для населения и персонала, при работе с бетонными материалами класса НАО и ОНАО ПГП не превышают норму (табл. 4)

Таблица 4 – Дозовые коэффициенты и пределы годового поступления согласно НРБ-99/2009 [Dose coefficients and limits of annual intake according to NRB-99/2009]

коэффициенты и пределы поступления в организм человека (МКБ 99/2009)					
Радио- нуклид	Период полураспада	Тип соединения при ингаляции*	Дозовый коэффициент (возд) е перс, Зв/Бк	Предел годового поступления ПГП перс, Бк в год	Допустимая среднегодовая объемная активность ДОО перс, Бк/м ³
НЗ	12,3 лет	П	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$1,1 \cdot 10^9$	$4,4 \cdot 10^5$
		Г2	$1,8 \cdot 10^{-15}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$4,4 \cdot 10^9$
		Г3	$1,8 \cdot 10^{-13}$	$1,1 \cdot 10^{11}$	$4,4 \cdot 10^7$
* Г1 – пары тритированной воды; Г2 – газообразный тритий; Г3 – тритированный металл					

Как итог, переработка вторичных бетонов после демонтажа является возможной. При этом стоит отметить, что на ОИАЭ бетонные конструкции зданий и сооружений подвергаются влиянию различных факторов таких как, воздействия ионизирующего излучения и высокотемпературное воздействие. Исходя из этого, необходимы также более подробные исследования свойств бетонов.

Заключение

Анализ исследований показал, что в основном проводились исследования стандартных бетонов. Исследований вторичных бетонов, полученных после демонтажа зданий и сооружений ОИАЭ не проводилось. Вторичное использование бетонов рассматривалось для обычного строительства. Для атомной отрасли вторичное использование бетонов, получаемых в результате демонтажа ОИАЭ, так же является перспективным направлением.

В работе рассматривались исследования для консервативного способа переработки бетонов, а также возможность применения для аддитивных технологий. Рассмотрены варианты использования вторичных бетонов для аддитивных технологий. Проведен анализ имеющихся исследований способов 3D печати, а также возможность вторичного использования бетонов демонтажа для 3D печати. Стоит отметить, в 2021 г. в РФ вступили в силу государственные стандарты на материалы для аддитивного строительного производства.

Рассматриваемая работа показывает, что в целом вторичное применение бетонов возможно. В рамках данной работы проводился расчет пространственного распределения продуктов активации бетонов класса НАО и ОНАО (вкладчиком активности рассматривался тритий). Результаты показали, что в таком выявлено, что для населения и персонала, при работе с бетонными материалами ПГП не превышают норму. Важно отметить, что проводились консервативные расчеты, опирающиеся на полуэмпирические формулы нормативной документации в сфере атомной энергетики, и имеет большую долю погрешности. В связи с чем, исследования в данном направлении необходимо продолжать в более глубоком ключе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дубровский, В.Б. Радиационная стойкость строительных материалов / В.Б. Дубровский. – Москва : Стройиздат, 1977. – 279 с.
2. Effect of Irradiation on the Strength of Concrete, AERE R 3332, UKAEA Reserch Report, 1960.
3. Дубровский, В.Б. Радиационная стойкость материалов / В.Б. Дубровский, П.А. Лавданский, Б.К. Пергаменщик, В.Н. Соловьев. – Москва : Атомиздат, 1973. – 264 с.
4. Hilsdorf H.K., Kropp J. and Koch H.J. The Effects of Nuclear Radiation on the Mechanical Properties of Concrete / Published 1978, Materials Science.
5. A multi-scale review of the effects of gamma radiation on concrete / Yonathan Reches // Results in Materials. Volume 2, September 2019.

6. Pessoa, S., Guimarães, A.S., Lucas, S.S., & Simões, N. (2021). 3D printing in the construction industry – A systematic review of the thermal performance in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110794.
7. Сулейманова, Л.А. Сущность аддитивных технологий в строительстве / Л.А. Сулейманова, А. Погорелова, М.В. Марушко // Наука, как инструмент совершенствования современной жизни. – Журнал по материалам XXVIII международной научно-практической конференции. – Минеральные Воды: Копир. множ. бюро СКФ БГТУ им. В. Г.Шухова. – 2018. – № 2(6). – 219 с.
8. Labonnote N., Rønquist A., Manum B., & Rüther P. (2016). Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities. *Automation in Construction*, 72, 347-366.
9. Романов, М.Р. 3D-печать в современном строительстве / М.Р. Романов, Н.А. Жарков, Ю.В. Зайнашева // Научные исследования молодых учёных: сборник статей XVII Международной научно-практической конференции. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение». – 2022. – 136 с.
10. Толыпин, Д.А. Эффективный способ переработки бетонного лома 3d-печати / Д.А. Толыпин, Н.М. Толыпина // Строительные материалы и изделия. – 2021. – Том 4, № 2. – С. 12-18.
11. Glagolev E.S., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H. & Podgorny D.S. Composite Binders and Dry Building Mixes for 3D Additive / Technologies // Proceedings of the International Conference Industrial and Civil Construction, 2021, 229-235 pp.
12. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/902170553>.

REFERENCES

- [1] Dubrovsky V.B. Radiacionnaya stojkost' stroitel'nyh materialov [Radiation resistance of building materials]. Moscow: Stroyizdat 1977, 279 p. (in Russian).
- [2] Effect of Irradiation on the Strength of Concrete, AERE R 3332, UKAEA Reserch Report, 1960 (in English).
- [3] Dubrovsky, V.B. Radiacionnaya stojkost' materialov [Radiation resistance of materials]. Moscow: Atomizdat, 1973. 264 p. (in Russian).
- [4] Hilsdorf H.K., Kropp J. and Koch H.J. The Effects of Nuclear Radiation on the Mechanical Properties of Concrete. Published 1978, Materials Science (in English).
- [5] A multi-scale review of the effects of gamma radiation on concrete. Yonathan Reches. Results in Materials. Volume 2, September 2019 (in English).
- [6] Pessoa S., Guimarães A.S., Lucas S.S., & Simões N. (2021). 3D printing in the construction industry – A systematic review of the thermal performance in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110794 (in English).
- [7] Sushchnost' additivnyh tekhnologij v stroitel'stve [The essence of additive technologies in construction]. Nauka, kak instrument sovershenstvovaniya sovremennoj zhizni [Science as a tool for improving modern life]. Zhurnal po materialam XXVIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Journal based on the materials of the XXVIII International scientific and practical conference]. Mineral'nye Vody: Kopir. mnozh. byuro SKF BGTU im. V. G.Shuhova [Mineralnye Vody: Copy Office of Bashkir State Technical University named after V. G. Shukhov]. 2018. №2(6). P.219 (in Russian).
- [8] Labonnote N., Rønquist A., Manum B., & Rüther P. (2016). Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities. *Automation in Construction*, 72, 347-366 (in English).
- [9] Romanov M.R. 3D-pechat' v sovremennom stroitel'stve [3D printing in modern construction]. Nauchnye issledovaniya molodyh uchyonyh: sbornik statej XVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Scientific research of young scientists: collection of articles of the XVII International Scientific and Practical Conference]. Penza: MCNS «Nauka i Prosveshchenie» [Penza: ICNS «Science and Education»]. 2022. 136 p. (in Russian).
- [10] Tolypin D.A. Effektivnyj sposob pererabotki betonnoego loma 3d-pechaty [An effective way of processing concrete scrap 3d printing]. Stroitel'nye materialy i izdeliya [Building materials and products]. 2021. Volume 4. № 2. P. 12-18 (in Russian).
- [11] Glagolev E.S., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H. & Podgorny D.S. Composite Binders and Dry Building Mixes for 3D Additive / Technologies // Proceedings of the International Conference Industrial and Civil Construction, 2021. P. 229-235 (in English).
- [12] Normy radiacionnoj bezopasnosti NRB-99/2009 Sanitarnye pravila i normativy SanPiN 2.6.1.2523-09 [Radiation safety Standards NRB-99/2009 Sanitary rules and regulations Sanitary rules and regulations 2.6.1.2523-09] (in Russian).

Investigation of the Possibility of Using Secondary Concrete Ouae in the Framework of Additive Technologies

Arsen R. Davtyan¹, Alexander V. Nakhabov²

National Research Nuclear University «MEPhI», Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409

¹*arsen.davtian2011@yandex.ru, ORCID iD: 0000-0002-8455-075X, WoS ResearcherID: CAF-6986-2022*

²*AVNakhabov@mephi.ru, ORCID iD: 0000-0002-2323-8850*

Received by the editorial office 16/05/2022

After completion on 20/05/2022

Accepted for publication on 27/05/2022

Abstract. The object of research in this work is to substantiate the methodology of the secondary use of concrete scrap obtained as a result of the dismantling of the OUAЕ. In this study secondary application is considered within the framework of additive technologies. Construction using additive technologies is one of the promising areas. This line of research is part of the justification of the method of secondary use of concrete obtained as a result of the dismantling of nuclear energy facilities (OUAE).

Keywords: recycling of concrete, handling of low-level waste and very low-level waste, assessment of radioactive exposure, additive technologies, laboratory tests.

For citation: Davtyan A.R., Nakhabov A.V. Investigation of the possibility of using secondary concrete in the framework of Additive technologies // Global nuclear safety. 2022. Vol. 2(43). P. 24-33. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-03>

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ВВОД
В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

DESIGN, MANUFACTURE AND COMMISSIONING
COMMISSIONING OF EQUIPMENT
NUCLEAR INDUSTRY FACILITIES

УДК 621.22
doi: 10.26583/gns-2022-02-04

АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ АЭС

© 2022 Разуваев Александр Валентинович

*Балаковский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ, Балаково, Россия
vipdomik@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4593-0653>*

Аннотация. В статье рассматривается актуальность решения вопросов по повышению энергоэффективности использования добываемого углеводородного топлива, а также целесообразность разработки и применению этих мероприятий в экономиках индустриально развитых стран. Обосновывается необходимость иметь постоянно действующий надежный источник электроэнергии при использовании возобновляемых и альтернативных источниках электроэнергии. В качестве постоянно действующего и надежного источника электроэнергии предлагается применять эксплуатирующиеся и разрабатываемые атомные энергетические установки. Применение этих энергоустановок требует и совершенствование в них различных систем различного назначения. Для этого в работе представлен анализ параметров паровой и газовой систем компенсаторов давления для обеспечения необходимого давления теплоносителя в первом контуре ядерной энергетической установки. Анализ параметров работы этих систем представлены в табличной удобочитаемой форме. На основании проведенного анализа предложена к детальному рассмотрению «гибридная» система компенсатора давления, включающая положительные свойства рассматриваемых – паровой и газовой систем компенсатора давления. Представлен оценочный расчет возможного использования воздуха (или газа) в свободном объеме компенсатора давления с обеспечением предварительного давления, с последующим доведением величины этого давления до требуемого значения при эксплуатации. Отмечены достоинства и недостатки рассматриваемых систем и некоторые вопросы, требующие детальной проработки.

Ключевые слова: ядерная энергетическая установка, система компенсации давления (объема), паровая система компенсатора давления, газовая система компенсатора давления, расчет первоначального давления, «гибридная» система компенсатора давления.

Для цитирования: Разуваев А.В. Анализ работы систем компенсации давления АЭС // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 2(43). – С. 34-41. – <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-04>

Поступила в редакцию 07.04.2022
После доработки 11.05.2022
Принята к печати 23.05.2022

В настоящее время известно, что применяемое достаточно широко углеводородное топливо является ограниченным продуктом на земле. В связи с этим индустриально развитые государства разрабатывают и внедряют различные мероприятия по повышению эффективности использования добываемого в земле топлива. Так в энергетической стратегии России [1] сказано, что «целью развития энергетики Российской Федерации является, с одной стороны, максимальное содействие социально – экономическому развитию страны, а с другой стороны, –

укрепление и сохранение позиций Российской Федерации в мировой энергетике, как минимум, на период до 2035 года», при этом отмечается, что одной из задач атомной энергетики является: «повышение эффективности атомной энергетики, включая обеспечение экономической конкурентоспособности новых атомных электростанций с учетом их полного жизненного цикла».

Директива ЕС по энергетической эффективности (Energy Efficiency Directive, EED) «имеет более общий характер, но вводит несколько административных процедур, влияющих на энергопотребление зданий для стран – членов ЕС. Документ предписывает проведение аудита энергопотребления и реконструкцию существующих зданий. Отдельно рассматривается вопрос, касающийся увеличения эффективности систем комбинированного производства электрической и тепловой энергии.

Энергетическая политика ЕС включает в себя еще несколько инструментов: Программу энергетически разумной Европы (Intelligent Energy Europe) по обучению энергосбережению и распространению знаний об энергетике» [2] и ряд других.

Так экономия не возобновляемых источников энергии способствует разработки и развитию различных мероприятий в области энергетики. Так, в частности, развивается ветряная энергетика, которая, конечно же, является достаточно эффективным способом снижению стоимости электроэнергии и повышение ее выработки на рынки энергоресурсов. Достоинства применения ветроэнергетики более подробно представлены в работе [3].

Но прошедшая зима в 20-21 гг. показала, что применение этих технологий хотя и имеет ряд положительных моментов, но без постоянно и стабильно работающих генерирующих предприятий не обойтись. Недостатки таких технологий анализируются и детализируются.

На сегодняшний день наиболее стабильным источником электроэнергии являются атомные электрические станции. Основной задачей разработки, строительства и эксплуатации АЭС является обеспечение надежности, безопасности и эффективности этого достаточно сложного технологического объекта.

В настоящей статье представлен анализ одной из ответственных систем для нормальной эксплуатации АЭС. К ней относится система компенсации давления. Ее задача – обеспечивать и поддерживать необходимое давление теплоносителя (воды) в первом контуре атомной энергетической установки.

Параметры газовой и паровой систем компенсатора давления (объема) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры газовой и паровой систем компенсатора давления (объема) [Parameters of the pressure (volume) compensator gas and steam system]

Некоторые параметры систем	
Паровая (ВВЭР–1000)	Газовая (КЛТ–40)
Тепловая мощность, МВт	
3 120	150
Электрическая мощность, МВт	
1 000	36
Давление теплоносителя 1 контура, МПа (атм)	
15,9 (160)	12,7 (130)
Температура воды 1 контура выход/вход в реактор, °С	
320 / 290	316 / 278
Точность поддержания величины давления, МПа	
0,5	при поддержании $T_{ср} \pm 7^\circ\text{C}$
Эксплуатационный предел изменения мощности реактора (% $N_{ном}$)	
0–100	10–100
Расход теплоносителя, т /ч	
84900 ⁺²⁷⁵⁰ _{–3450}	2 600

Продолжение таблицы 1

Объем теплоносителя 1 контура, м ³	
370	26,45
вспомогательное оборудование для работы системы КО:	
ТЭН* суммарной мощностью 2520 кВт (каждый 90 кВт) Бак – барботер с трубопроводами и арматурой	баллоны высокого давления (газовые) с трубопроводами и арматурой и 1 комплект резервный Объем 1 баллона – 0,5 м ³ (500 л), рабочее давление газа – 20 МПа (200 кгс/см ²), количество баллонов – 18 шт.

*ТЭН – теплоэлектронагревающие элементы.

Сама система компенсации давления (КД) имеет два разных подхода к выполнению своей задачи – поддержание необходимого давления в ядерных реакторах с водяным теплоносителем. Это система паровой компенсации давления (ПКД) и система газовой компенсации давления (ГКД).

Далее проведем анализ работы этих систем. Для этого проанализируем информацию по работам [4-7 и др.], а результаты сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Перечень достоинств систем компенсатора давления (объема) [List of advantages of pressure (volume) compensator systems]

Достоинства систем	
Паровая	Газовая
компактность системы компенсатора	постоянная готовность к действию
газ для регулировки и поддержания необходимого давления в первом контуре – пар от специальной паровой подушки	отсутствие необходимости в обслуживании в процессе работы ППУ
точность поддержания давления в контуре пределах 5 % от номинального.	отсутствие необходимости в какой-либо энергии в процессе работы ППУ.
надежность работы системы	отсутствие дополнительной энергии на испарение жидкости.
—	просты в эксплуатации
—	не требуют специальной системы регулирования
—	не требуют системы разогрева
—	создают и поддерживают давление в контуре в стояночном режиме
—	обеспечивают готовность установки в любой момент к выходу на мощность
—	совместимы с самоподдерживающимся аммиачным водно-химическим режимом
—	компенсаторы с газовой подушкой могут быть сравнительно легко приспособлены к пожаротушению в отсеке
—	при одинаковых объемах сосудов компенсаторы с газовой подушкой более жестки по сравнению с паровыми, колебания давления в первом контуре в переходных режимах – при маневрировании, подключении и отключении оборудования – в случае использования газовых компенсаторов выше, чем у паровых.
—	газ для регулировки и поддержания необходимого давления в первом контуре – азот, гелий (в газовых баллонах)
—	более целесообразно применение парогазовой компенсации давления не только с точки зрения стояночных режимов, но и снижения термоциклических напряжений

Если коротко, то газовая система и проста, и надежна и не требует затрат электроэнергии на создание паровой подушки. Но необходимо отметить и недостатки этих систем, которые сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Перечень недостатков систем компенсатора давления (объема) [List of disadvantages of pressure (volume) compensator systems]

Недостатки систем	
Паровая	Газовая
необходимо производить постоянную сдвигку парогазовой смеси из верхней части парового объема компенсатора давления	точность поддержания давления в контуре 5 МПа.
необходимость затрачивать дополнительную энергию на испарение жидкости.	достаточно большие объемы газовых баллонов
паровая система компенсация давления значительно сложнее газовой, она требует надежных электронагревателей со своей системой регулирования их мощности.	растворимость газов в жидкостях, увеличивающаяся с ростом температуры.
во время подготовки установки по вводу в действие подъем давления в первом контуре при паровой компенсации происходит довольно медленно, что увеличивает время выхода на мощность на 0,5 – 1 ч.	объем газовых баллонов, необходимый для компенсации изменения объема теплоносителя при разогреве, расхолаживании установки, не прибегая к сбросу теплоносителя при разогреве или подпитке при расхолаживании, довольно велик, что требует увеличения размера герметичной выгородки
при выключенном реакторе во время стоянки требуется практически непрерывная работа электронагревателей для поддержания минимального давления в первом контуре, позволяющая обеспечить сохранение работоспособности герметизирующих рубашек статоров электродвигателей ЦНПК	требуются особые меры для поддержания работоспособности и ресурса соединяющих компенсатор давления с реактором трубопроводов ввиду знакопеременных нагрузок, возникающих при переменном направлении движения теплоносителя, имеющего разные температуры внутри реактора и в баллонах компенсатора давления
довольно большие изменения температуры воды на выходе из АЗ существенно изменяют давление пара и, как следствие, температуру верхней части корпуса и крышки, а также и давление внутри корпуса реактора. Возникают термоциклические напряжения корпуса и крышки реактора.	для уменьшения газонасыщения первого контура температура воды в вынесенных баллонах поддерживается обычно в диапазоне 80 – 120 °С

Коротко о недостатках сравниваемых систем КД. Отмечается основным недостатком газовой системы компенсации давления – это загазованность теплоносителя первого контура энергоустановки и возникновение термических напряжений в трубопроводах, которые требуют особых мер для поддержания их работоспособности. Кроме того, в работе [4] отмечено, что «колебания температуры в трубопроводах еще больше снижаются, если через компенсаторы давления организовать постоянный проток теплоносителя, соединив разбрызгиватель с напором центробежного насоса первого контура (ЦНПК)». По этому вопросу есть техническое решение, описанное в работе [8]. В ней компенсатор давления подключен параллельно реактору, что и способствует циркуляции теплоносителя через корпус КД.

Кроме этого, для детального анализа данных по газовой системе КД рассмотрены параметры работы этой системы, согласно источнику [4], и представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры работы газовой системы КД [Operating parameters of the gas pressure compensation system]

№	Параметр, характеристика	Значение
Исходное состояние при температуре в первом контуре 20 °С		
1	Исходное давление, МПа	6,96
2	Объём первоначальной заливки в КД, м ³ (%)	0,832 (10)
3	Масса первоначальной заливки в КД, кг	834,5
4	Объём газа в системе, м ³	13,3
Работа на номинальной мощности		
1	Давление рабочее, МПа	12,7
2	Объём теплоносителя в КД, м ³ (%)	6,03 (74)
3	Объём газовой подушки в КД, м ³	2,13
Максимальная величина выбега давления, МПа		
1	При изменении мощности в диапазоне (10 -100)% Nном со скоростью 0,1 % Nном/с	0,5
2	При поддержании T _{ср} ±7 °С	± 0,12
3	В проектных аварийных режимах	1,46
Гидроиспытания		
1	Давление при гидроиспытаниях, МПа	24,5± 0,4
2	Температура при гидроиспытаниях, °С	от 24 до 82

На основании вышеизложенного, и представленных в этой статье данных можно составить алгоритм работы «гибридной» системы со своими достоинствами от паровой и газовой систем компенсации давления (объема).

Рассматривается возможность использования первоначального давления газа в свободном объеме КД с учетом необходимого его повышения и поддержания при необходимой его величине в первом контуре.

После анализа систем КД, проведем предварительный анализ работы новой – «гибридной» системы КД с учетом положительных свойств газовой и паровой системах и с использованием данных из таблиц 1 и 4. Так же примем во внимание экспериментальные материалы по работе системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, представленные в работе [9] и с учетом материалов, представленных в работе [10].

Для этого проведем оценочный расчет повышения величины давления воздуха (газа) в свободном объеме КД, при его герметизации после заправки водой по нижнему уровню (уровень нижней сливной трубы из свободного объема КД).

При исходных начальных параметрах воздуха (газа): давление $P_1 = 1$ ата, объем (пустой объем корпуса КД) $V_1 = 79$ м³, температура воздуха при заправки КД водой $T_1 = 303$ К (30 °С) и его конечных параметрах, объем после заполнения КД теплоносителем до оптимального уровня $V_2 = 24$ м³, температура номинальная рабочая в первом контуре $T_2 = 593$ К (320 °С). После нагрева воздуха (газа) в свободном объеме КД от теплоносителя и уменьшения его объема при тепловом расширении теплоносителя до номинальной величины в свободном корпусе КД определим P_2 – конечное давление воздуха (газа) в КД. При этом воспользуемся уравнением (1):

$$(P_1 \times V_1)/T_1 = (P_2 \times V_2)/T_2, \quad (1)$$

откуда найдем (2):

$$P_2 = (P_1 \times V_1 \times T_2) / (T_1 \times V_2) = 0,644 \text{ МПа } (\sim 6,44 \text{ ата}). \quad (2)$$

Эту величину давления воздуха (газа) в свободном объеме КД, хотя она не отвечает необходимым значениям.

По табличным данным величина давления насыщения при $T_2 = 593 \text{ K}$ ($320 \text{ }^\circ\text{C}$) составляет $P_2 = 112,9 \text{ ата}$ и прибавив к ней давление $0,644 \text{ МПа}$ ($\sim 6,44 \text{ ата}$), будем иметь $P_2 = 119,34 \text{ МПа}$ ($119,34 \text{ ата}$), а температура насыщения при этом составит $T_2 = 611 \text{ K}$ ($\sim 338 \text{ }^\circ\text{C}$). Данная величина температуры T_2 хоть и больше, чем требуется для работы в первом контуре, но не обеспечивает необходимый запас по температуре в нем, который должен составлять как минимум $25 \text{ }^\circ\text{C}$ с обеспечением необходимого давления 16 МПа (160 ата).

Таким образом необходимо повысить P_1 – начальное давление воздуха (газа) в свободном объеме КД после герметизации его корпуса до $\sim 0,86 \text{ МПа}$ ($8,6 \text{ ата}$).

Это позволит поднять давление теплоносителя в первом контуре до необходимой величины. Здесь следует проанализировать вопрос о работоспособности главного центробежного насоса (ГЦН) на первоначальном этапе пуска атомной энергоустановки. При этом необходимо уделить особое внимание величине давления теплоносителя на всасывании ГЦН, при котором обеспечивается надежная его работа. В данном случае это требует дополнительных расчетных исследований, так как его расход достаточно высокий (см. табл. 1). После этого анализа при необходимости обеспечения кавитационного запаса на всасывании ГЦН возможно потребуются увеличить величину P_1 – начального давления воздуха (газа) в свободном объеме КД после герметизации. Далее при достижении номинальных параметров работы первого контура и при наличии повышенного конечного и необходимого давления в 16 МПа (160 ата) его можно сбросить в бак – барботер.

На этапе пуска атомной энергоустановки, учитывая ограниченную скорость нагрева теплоносителя первого контура в $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{час}$ есть основания считать, что скорость роста давления обеспечит температурный запас до вскипания жидкости. Этот процесс связан с предыдущим разделом статьи по описанию обеспечения кавитационного запаса ГЦН.

Так же необходимо отметить еще и отрицательный момент. Он заключается в возможно повышенной степени загазованности теплоносителя (воды) при этих условий эксплуатации. Поэтому этот вопрос так же подлежит детальному анализу и исследованию уровня возможного повышения загазованности теплоносителя (воды) и насколько усложнит или затронет работу других систем обеспечения надежности работы атомной энергоустановки [11].

Проведение обоснования и выбора той или иной системы КД предполагается на основе типа и устройства энергоустановки и с учетом условий ее эксплуатации.

Так же необходима разработка алгоритма работы «гибридной» системы КД и проведения расчетных исследований для поддержания необходимого и заданного значения давления теплоносителя в первом контуре энергоустановки, в том числе и с комбинированными водородными циклами АЭС [12].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. No 1523-п). – URL : <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf>.
2. Олли Сеппанен Sustainable building technologies (пер. с англ. и техническое редактирование Владимира Устинова). – URL : <http://portal-energo.ru/articles/details/id/827>.
3. Кужелева, К.С. Энергетическая политика ЕС в области ВИЭ, энергоэффективности и внедрения новых ресурсосберегающих технологий / К.С. Кужелева, Б.А. Грачев // Региональная энергетика: безопасность и эффективность. – 2018. – № 1. – С. 8-14.
4. Хлопкин, Н.С. Морская атомная энергетика / Н.С. Хлопкин. – Москва : МИФИ, 2007. – 244 с.
5. Горбатов, С.А. Анализ систем компенсации давления в реакторной установке с водородным энергетическим реактором (ВВЭР) / С.А. Горбатов // Молодой ученый. – 2018. – № 50(236). – С. 45-46.

6. Маргулова, Т.Х. Атомные электрические станции / Т.Х. Маргулова. – Москва : Издательство по атомной технике (ИздАТ), 1994. – 269 с.
7. Разуваев, А.В. Анализ работы паровой системы создания и поддержания повышенного давления теплоносителя в первом контуре ядерной энергетической установки / А.В. Разуваев, В.А. Разуваев // Вестник КРСУ. – 2021. – Том 21, № 12. – С. 80-86.
8. Патент на изобретение № 2685220 Российской Федерации, МПК G21C 15/00 (2006/01). Устройство первого контура двухконтурной ядерной энергетической установки: опубл. 17.04.2019 Бюл. № 11, Разуваев А.В. – 6 с.
9. Разуваев, А.В. Анализ гидравлической схемы энергоустановок с двигателями внутреннего сгорания / А.В. Разуваев // Глобальная ядерная безопасность. – 2020. – № 3(36). – С. 73-77.
10. Проскуряков, К.Н. Влияние компенсатора давления на логарифмический декремент затухания колебания давления в первом контуре АЭС с ВВЭР-1000 / К.Н. Проскуряков, П.А. Романов // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 1(6). – С. 43-53.
11. Бердышев, В.Ф. Основы автоматизации технологических процессов очистки газов и воды / В.Ф. Бердышев, К.С. Шатохин. – Москва : МИСиС, 2013. – 136 с.
12. Аминов, Р.З. Комбинирование водородных энергетических циклов с атомными электростанциями / Р.З. Аминов. – Москва : Наука, 2016. – 949 с.

REFERENCES

- [1] Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2035 goda (utverzhdена rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 9 iyunya 2020 g. No 1523-r) [Energy strategy of Russia for the period up to 2035 (main provisions of the edition of 07.02.2014)]. URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRB7wx.pdf> (in Russian).
- [2] Sustainable Building Technologies, Olli Seppanen, (Translated from English and edited by Vladimir Ustinov). URL : <http://portal-energo.ru/articles/details/id/827> (in Russian).
- [3] Kuzheleva K.S., Grachev B.A. Energeticheskaya politika ES v oblasti VIE, energoeffektivnosti i vnedreniya novyh resursosberegayushchih tekhnologij [Energy policy in the Field of Renewable energy, energy efficiency and introduction of new resource-saving Technologies]. Regional'naya energetika: bezopasnost' i effektivnost' [Regional Energy: Safety and Efficiency]. 2018. № 1. P. 8-14 (in Russian).
- [4] Khlopkin N.S. Morskaya atomnaya energetika [Marine nuclear power]. Moscow: MEPhi, 2007. 244 p. (in Russian).
- [5] Gorbатов S.A. Analiz sistem kompensacii davleniya v reaktornoj ustanovke s vodo-vodyanym energeticheskim reaktorom (VVER) [Analysis of pressure compensation systems in a reactor installation with a pressurized power reactor (WWER)]. Molodoj uchenyj [A young scientist]. 2018. № 50(236). P. 45-46 (in Russian).
- [6] Margulova T.X. Atomnye elektricheskie stancii [Nuclear power plants]. Publishing on Atomic Engineering (IzdAT), 1994. 269 p. (in Russian).
- [7] Razuvaev A.V., Razuvaev V.A. Analiz raboty parovoj sistemy sozdaniya i podderzhaniya povyshennogo davleniya teponositelya v pervom konture yadernoj energeticheskoy ustanovki [Analysis of steam system for creating and maintaining increased coolant pressure in the first circuit of a nuclear power plant]. Vestnik KRSU [KRSU Bulletin]. 2021. Vol. 21. No 12. P. 80-86 (in Russian).
- [8] Patent na izobretenie № 2685220 Rossijskoj Federacii, MPK G21C 15/00 (2006/01). Ustrojstvo pervogo kontura dvuhkonturnoj yadernoj energeticheskoy ustanovki: opubl. 17.04.2019 Byul. № 11, Razuvaev A.V [Patent for Invention No. 2685220 of the Russian Federation, IPC G21C 15/00 (2006/01). The Device of the first circuit of a double-circuit nuclear power plant: publ. 17.04.2019. Bul. No 11, Razuvaev A.V.]. 6 p. (in Russian).
- [9] Razuvaev A.V. Analiz gidravlicheskoj skhemy energoustanovok s dvigatelyami vnutrennego sgoraniya [Analysis of the hydraulic scheme of power plants with internal combustion engines]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2020. № 3(36). P. 73-77 (in Russian).
- [10] Proskuryakov K.N., Romanov P.A. Vliyanie kompensatora davleniya na logarifmicheskij dekrement zatuhaniya kolebaniya davleniya v pervom konture AES s VVER-1000 [Influence of pressure compensator on logarithmic decrement of attenuation of pressure fluctuations in the first circuit of nuclear power plants with WWER-1000]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2013. № 1(6). P. 43-53 (in Russian).
- [11] Berdyshev V.F. Osnovy avtomatizatsiya tekhnologicheskikh proizvodstva filosofii rosov i vody [Fundamentals of gas and water treatment process automation]. Moscow: MISIS, 2013. 136 p. (in Russian).

- [12] Aminov R.Z. Kombinatsiya hydrogen energicheskikh energokrov s somnykh ekateroki [Combining hydrogen energy cycles with nuclear power plants]. Moskva: Nauka [Moscow: Science]. 2016. 949 p. (in Russian).

Analysis of NPP Pressure Compensation Systems Operation

Alexander V. Razuvaev

*Balakovo Institute of Technology, NRNU MEPhI, 140 Chapaeva Str., Balakovo, Saratov region, Russia 413800
vipdomik@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4593-0653*

Received by the editorial office 07/04/2022

After completion on 11/05/2022

Accepted for publication on 23/05/2022

Abstract. The article deals with the relevance of solving issues to improve the energy efficiency of the use of extracted hydrocarbon fuel, as well as the feasibility of developing and applying these measures in the economies of industrially developed countries. The necessity of having a permanent reliable source of electricity when using renewable and alternative sources of electricity is substantiated. As a permanent and reliable source of electricity, it is proposed to use operating and developing nuclear power plants. The use of these power plants requires the improvement of various systems for various purposes in them. To do this, the paper presents an analysis of the parameters of the steam and gas systems of pressure compensators to ensure the necessary pressure of the coolant in the first circuit of the nuclear power plant. Analysis of the parameters of operation of these systems is presented in tabular readable form. Based on the analysis, a "hybrid" pressure compensator system is proposed for detailed consideration, which includes the positive properties of the pressure compensator systems under consideration - steam and gas. An estimated calculation of the possible use of air (or gas) in the free volume of the pressure compensator with the provision of preliminary pressure is presented, followed by bringing the value of this pressure to the required value during operation. The advantages and disadvantages of the considered systems and some issues that require detailed study are noted.

Keywords: nuclear power plant, pressure (volume) compensation system, steam pressure compensator system, gas pressure compensator system, initial pressure calculation, «hybrid» pressure compensator system.

For citation: Razuvaev A.V. Analysis of the Operation of NPP Pressure Compensation Systems // Global nuclear safety. 2022. Vol. 2(43). P. 34-41. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-04>

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
OPERATION OF FACILITIES
NUCLEAR INDUSTRY

УДК 621.039.544.8
doi: 10.26583/gns-2022-02-05

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫГОРАЮЩИХ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ В
РЕАКТОРАХ ТИПА ВВЭР ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ДОЛИ ЗАПАСА
РЕАКТИВНОСТИ, КОМПЕНСИРУЕМОГО ЖИДКОСТНОЙ
СИСТЕМОЙ ПРИ УДЛИНЕННЫХ КАМПАНИЯХ**

© 2022 Музафаров Анвар Рустамович¹, Савандер Владимир Игоревич²

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

¹anvar1996@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5292-2697>

²visavander@mephi.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9309-5616>

Аннотация. В работе изложены результаты расчетно-теоретического анализа применения различных выгорающих поглотителей, размещаемых в топливе, для максимального снижения запаса реактивности, компенсируемого жидкостной системой на основе борного поглотителя для реакторов типа ВВЭР, работающих на удлинённых кампаниях. Рассмотрены различные схемы размещения ТВЭГов в ТВС и с различными концентрациями выгорающих поглотителей, в качестве которых рассматриваются природный гадолиний и эрбий. Анализ ведется с помощью упрощённых моделей выгорания топлива при частичных перегрузках, основанных на представлении активной зоны в виде периодической системы полиячеек.

Ключевые слова: Выгорающий поглотитель, полиячейка, ВВЭР, Serpent, коэффициент размножения, избыточная реактивность, гадолиний, ТВЭЛ, эрбий, борное регулирование.

Для цитирования: Музафаров А.Р., Савандер В.И. Использование выгорающих поглотителей в реакторах типа ВВЭР для снижения доли запаса реактивности, компенсируемого жидкостной системой при удлинённых кампаниях // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 2(43). – С. 42–54. – <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-05>

Поступила в редакцию 12.05.2022

После доработки 17.05.2022

Принята к печати 23.05.2022

Введение

В реакторах типа ВВЭР в настоящее время применяются частичные перегрузки топлива с удлинёнными кампаниями с длительностью в 1.5 года, а в дальнейшем возможен переход и на 2-х годовичные кампании. Обеспечение таких кампаний требует увеличения обогащения топлива, что влечет за собой повышения начального запаса реактивности топливной загрузки, которое должно быть скомпенсировано действующей системой компенсации избыточной реактивности. Эта система включает в себя как жидкостную систему, основанную на растворении в теплоносителе борного поглотителя, так и систему выгорающих поглотителей, интегрированных в топливную матрицу [1–4]. Использование жидкостной системы при большом запасе реактивности оказывает негативное влияние на величину и знак плотностного коэффициента реактивности и к большому объёму низко-активных жидких радиоактивных отходов на АЭС. Дальнейшее обращение с жидкими радиоактивными отходами может повлечь дополнительные финансовые вложения. Именно применение выгорающих

поглотителей, интегрированных в топливо, может существенно снизить эти негативные последствия увеличения длительности кампании [5-8].

В реакторах типа ВВЭР наибольшее применение нашел сильный выгорающий поглотитель – гадолиний [9-10]. В составе природного гадолиния содержится два сильных поглотителя тепловых нейтронов $Gd-155$ и $Gd-157$. В твэгах современных ТВС реактора ВВЭР гадолиний размещается в виде оксида (Gd_2O_3), концентрация варьируется в пределах 5-8% весовых [11]. Высокое сечение поглощения приводит к тому, что гадолиний успевает выгореть в течении первой кампании. По этой причине он не влияет на среднее выгорание выгружаемого топлива. Стоит отметить, что с увеличением весового содержания гадолиния в топливе уменьшается теплопроводность твэга в результате чего появляется растрескивание и выход продуктов деления из топлива [12].

В России на реакторах РБМК применяется более слабый поглотитель нейтронов – эрбий. Поскольку это слабый поглотитель, то его размещают либо во всех твэлах, либо в большей части твэлов без изменения обогащения урана и в этом случае он не будет оказывать влияния на неравномерность энерговыделения в ТВС. В отличие от гадолиния, эрбий не успевает полностью выгореть за одну кампанию, поэтому остаточное содержание поглотителя в отработавшем топливе приводит к снижению выгорания выгружаемого топлива. Выгорание выгружаемого топлива будет зависеть от весового содержания эрбия. К тому же наличие эрбия в топливной матрице не ухудшает теплопроводность [13-14].

Постановка задачи

Для расчетных исследований выгорания топлива при частичных перегрузках топлива с выгорающими поглотителями применяется упрощенная модель. Во-первых, рассматриваются перегрузки без перестановок ТВС. В этом случае в активной зоне образуются повторяющиеся структуры, состоящие из ТВС с различными длительностями облучения. Предполагается, что эти структуры образуют периодическую полирешетку в активной зоне. Для простоты коэффициент размножения такой полиячейки представляется в виде среднего арифметического из значений коэффициента размножения каждой отдельной ТВС.

Кроме того, такая же модель используется для расчета коэффициента размножения отдельной ТВС, состоящей из твэгов и твэлов. Предполагается, что ТВС состоит из отдельных полиячеек, в центре каждой из которых находится твэг, а вокруг такое число твэлов, которое в среднем приходится на один твэг. Следовательно, коэффициент размножения ТВС совпадает с коэффициентом размножения выбранных полиячеек. В расчетах рассматривались полиячейки, содержащие один или два ряда твэлов, образующих гексагональную структуру.

Длина кампании реактора определяется исходя из условия, что коэффициент размножения полиячейки из ТВС равен критическому, которое задается из принятого значения утечки нейтронов. Цель исследований – снижение доли избыточной реактивности, компенсируемой системой жидкостного регулирования, путем варьирования количества твэгов и содержания гадолиния и эрбия в них. В этом случае существенно снижается объем ЖРО низкой активности на АЭС с реакторами типа ВВЭР.

Расчетный анализ

Расчеты проводились в программном коде Serpent (2.1.32) с использованием библиотеки ядерных данных ENDFb7 [15].

Для расчетного анализа влияния гадолиниевого поглотителя, интегрированного в твэлах (твэгах), на долю запаса реактивности, компенсируемой жидкостной системой регулирования была принята следующая модель.

1. Рассматривается ТВС с топливом подпитки (модель реактора ВВЭР) с обогащением топлива $\approx 4,86\%$.

2. В ТВС выделяется элемент периодичности в центре, которого расположен твэг, а вокруг 1 или 2 слоя твэлов. Первый случай относится к варианту с большим числом твэгов (1:6), а второй к малому числу твэгов (1:18) (рис. 1).

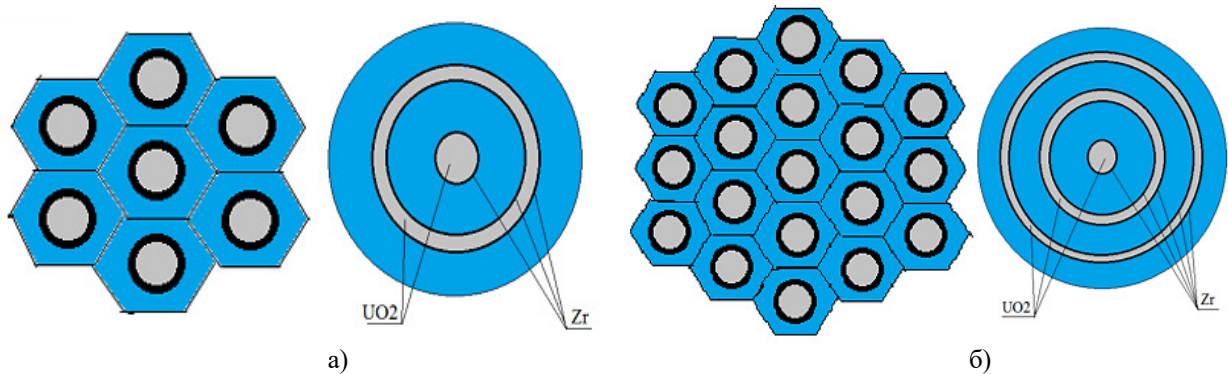


Рисунок 1 – Варианты расположения твэгов: а) вариант с большим числом твэгов (1:6); б) варианты с малым числом твэгов (1:18) [Options of the location of fuel rods with burnable absorbers (gadolinium fuel rods): a) a variant with a large number of gadolinium fuel rods (1:6); b) variants with a small number of gadolinium fuel rods (1:18)]

3. Выделенный элемент периодичности заменяется кольцевой системой состоящей из слоев топлива (урана), оболочки твэлов и слоев теплоносителя. Такая модель была реализована в программе SERPENT.

4. Меняя загрузку Gd в твэг в диапазоне 1,5-7,5% (весовых) рассчитывается зависимость $K_{\infty}^{TBC}(t)$.

5. Предполагая трехкратную частичную перегрузку, находим длительность кампании реактора для каждой зависимости по формуле (1):

$$K_{\infty}^{POLY}(t) = \frac{K_{\infty}^{TBC}(t) + K_{\infty}^{TBC}(T+t) + K_{\infty}^{TBC}(2T+t)}{3}, \quad 0 < t < T. \quad (1).$$

В конце кампании $K_{\infty}^{POLY}(T) = K_{\infty}^{CRIT} = 1,05$ из этого соотношения находится длина одной кампании. Здесь введены следующие обозначения:

$K_{\infty}^{POLY}(t)$ – коэффициент размножения полиячейки;
 $K_{\infty}^{TBC}(t)$ – коэффициент размножения ТВС;
 K_{∞}^{CRIT} – критическое значение коэффициента размножения;
 $K_{\infty}^{ЯЧ}(t)$ – зависимость для ячейки периодичности в ТВС, то есть для слоеной цилиндрической ячейки.

6. Поскольку в ТВС также выбрана ячейка периодичности, то $K_{\infty}^{TBC}(t) = K_{\infty}^{ЯЧ}(t)$.

Геометрические размеры различных слоев выбранной элементарной ячейки определяются из условия сохранения площадей топлива, оболочек и замедлителя. В этом случае сохраняется и водо-топливное соотношение в гексагональной и цилиндризованной ячейках. На рисунке 2 представлено расположение характерных радиусов кольцевой системы для варианта с большим количеством твэгов (1:6).

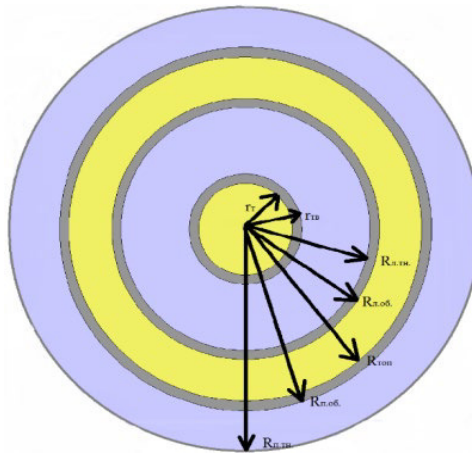


Рисунок 2 – Характерные радиусы кольцевой системы для варианта большим количеством твэгов (1:6)
[Characteristic radii of the ring system for the variant with a large number of gadolinium fuel rods (1:6)]

Анализ полученных результатов

Прежде чем, приступим к расчету выгорающих поглотителей, проверим значения $K_{\infty}^{TBC}(t)$ для двух выше представленных вариантов с чистым топливом без поглотителей и сравним с одиночной ячейкой (один твэл) (рис. 3).

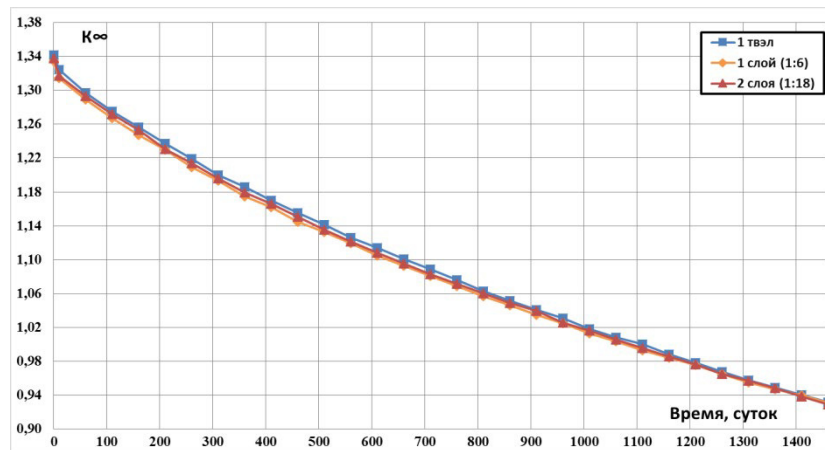


Рисунок 3 – Зависимости $K_{\infty}^{TBC}(t)$ без поглотителя для одиночной ячейки, для случая с одним слоем вокруг твэла (1:6) и для случая с двумя слоями вокруг твэла (1:18) [Dependencies $K_{\infty}^{TBC}(t)$ of without an absorber for a single cell, for the case with one layer around the fuel element (1:6) and for the case with two layers around the fuel element (1:18)]

Как видно из рисунка 3, значение $K_{\infty}^{TBC}(t)$ без поглотителя для вариантов с одним слоем вокруг твэла (1:6) и с двумя слоями вокруг твэла (1:18) совпали со значением для одиночной ячейки (один твэл). Это подтверждает правильность радиусов слоев для двух вариантов.

Для сравнения вначале рассмотрим вариант без выгорающих поглотителей, в котором считается, что вся избыточная реактивность должна компенсироваться только жидкостной системой. Продолжительность одной кампании при трёхкратной перегрузке для топлива без выгорающих поглотителей составила 480 суток.

Рассмотрим случай, когда один твэг окружен 18-ю твэлами (малое число твэгов), а весовое содержание гадолиния в твэге принимается равным 3%, 5% и 7,5%. В этом случае каждый твэг можно представить, как орган регулирования (сильный поглотитель) и поэтому зависимость изменения $K_{\infty}^{TBC}(t)$ будет близка к линейной, как и для варианта без поглотителей (рис. 4). Чем больше гадолиния в твэге, тем ниже начальное значение $K_{\infty}^{TBC}(0)$ и при этом выгорание выгружаемого топлива практически не меняется. Особо отметим случай при весовой загрузке гадолиния в 7,5%, для

которого $K_{\infty}^{\text{TBC}}(t)$ за первую кампанию практически не меняется $K_{\infty}^{\text{TBC}}(0) \approx K_{\infty}^{\text{TBC}}(T)$ то есть топливо и гадолиний выгорают примерно с одной скоростью.

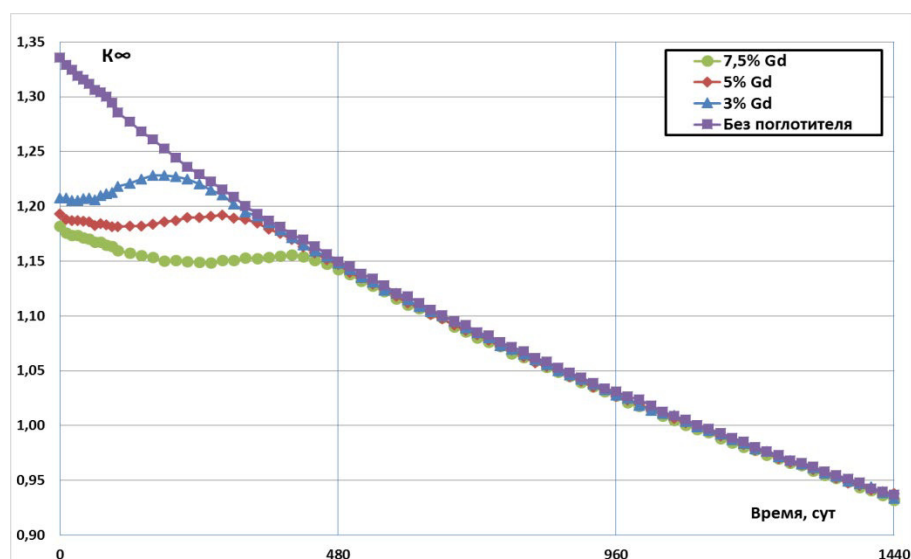


Рисунок 4 – Зависимости $K_{\infty}^{\text{TBC}}(t)$ для случая с меньшим числом твэгов (1:18) [Dependencies $K_{\infty}^{\text{TBC}}(t)$ for the case with a smaller number of gadolinium fuel rods (1:18)]

Отметим, что количество гадолиния в твэге оказывает слабое влияние на выгорание топлива. При увеличении начальной концентрации гадолиния уменьшается кампания реактора, так для варианта с 7,5% содержанием гадолиния кампания составила 440 суток. Для вариантов 5% и 3%, 450 и 460 суток, соответственно, чем меньше концентрация гадолиния, тем быстрее происходит его разблокирование. В варианте с 3% содержанием гадолиний практический выгорел по истечении 300 суток, далее график $K_{\infty}^{\text{TBC}}(t)$ совпал с графиком для варианта без поглотителя. Аналогичный показатель для 5% и 7,5% содержания составил 360 суток и 480 суток соответственно.

Для случая, когда твэг окружен одним слоем твэлов (большое число твэгов 1:6) требуется меньше загрузки гадолиния в твэг, поэтому, начальное значение $K_{\infty}^{\text{TBC}}(0)$ существенно снижается, но затем идет интенсивное разблокирование гадолиния и зависимость $K_{\infty}^{\text{TBC}}(t)$ начинает возрастать (выбег реактивности) (рис. 5). На рисунке 6 приведены аналогичные зависимости для случая, когда в каждый твэл загружается одинаковое весовое количество эрбия без гадолиния.

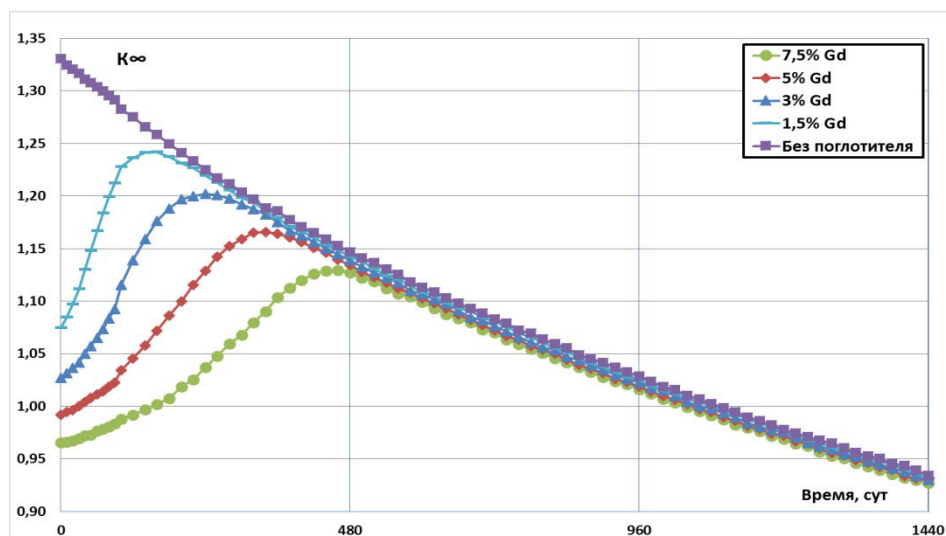


Рисунок 5 – Зависимости $K_{\infty}^{\text{TBC}}(t)$ для случая с большим числом твэгов (1:6) [Dependencies $K_{\infty}^{\text{TBC}}(t)$ for the case with a large number of gadolinium fuel rods (1:6)]

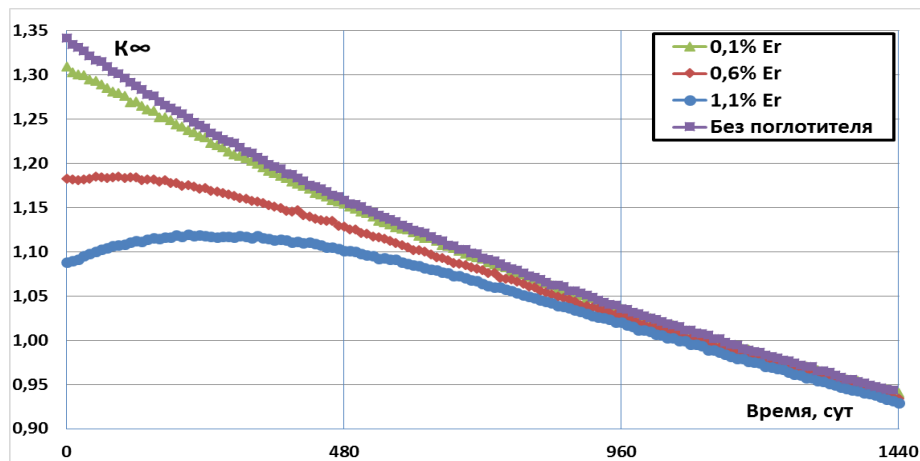


Рисунок 6 – Зависимости $K_{\infty}^{TBC}(t)$ для случая с эрбием [Dependencies of $K_{\infty}^{TBC}(t)$ for the case of erbium]

Для оценки остаточного запаса реактивности, который необходимо компенсировать жидкостной системой, были проведены расчеты изменения величины $K_{\infty}^{POLY}(t)$ за одну кампанию (см. рис. 9-11). С целью убедиться в достоверности значений $K_{\infty}^{POLY}(t)$ полученных при помощи формулы (1). Был проведен расчет $K_{\infty}^{POLY}(t)$ для трёх ТВС с чистым топливом без выгорающего поглотителя с различной кампанией (рис. 7). ТВС желтого цвета это свежее топливо не выгоревшее ни одной кампанией, ТВС оранжевого цвета это топливо выгоревшее одну кампанию и наконец ТВС красного цвета это топливо выгоревшее 2 кампании. В расчете все три ТВС горели одну кампанию (480 суток). В результате чего, получаются ТВС с одной (желтая), двумя (оранжевая) и тремя (красная) кампаниями. Проведено сравнение полученного значения $K_{\infty}^{POLY}(t)$ со значением, рассчитанным по формуле (1) для слоистой системы (рис. 8).

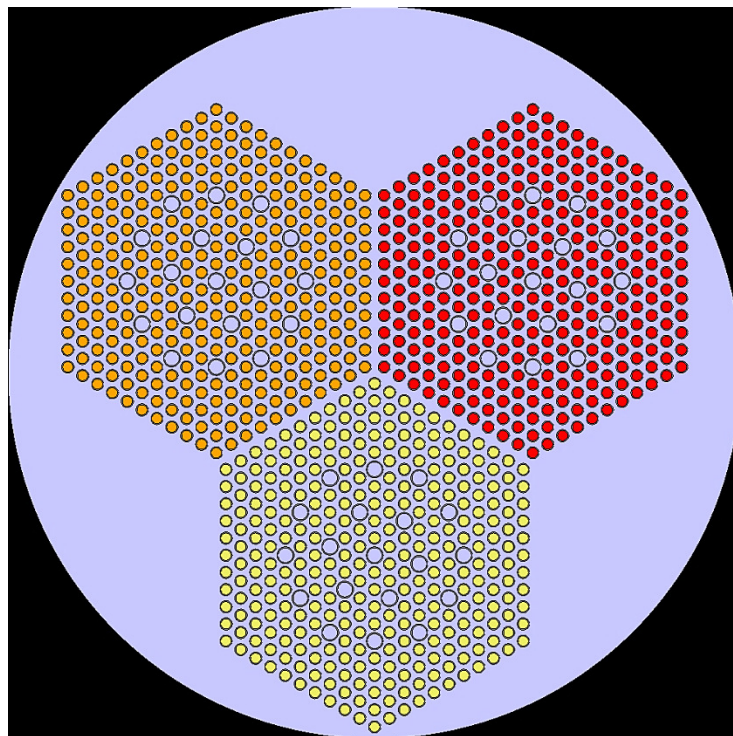


Рисунок 7 – Расчетная модель 3 ТВС с различными кампаниями [Calculation model of 3 fuel assemblies with various companies]

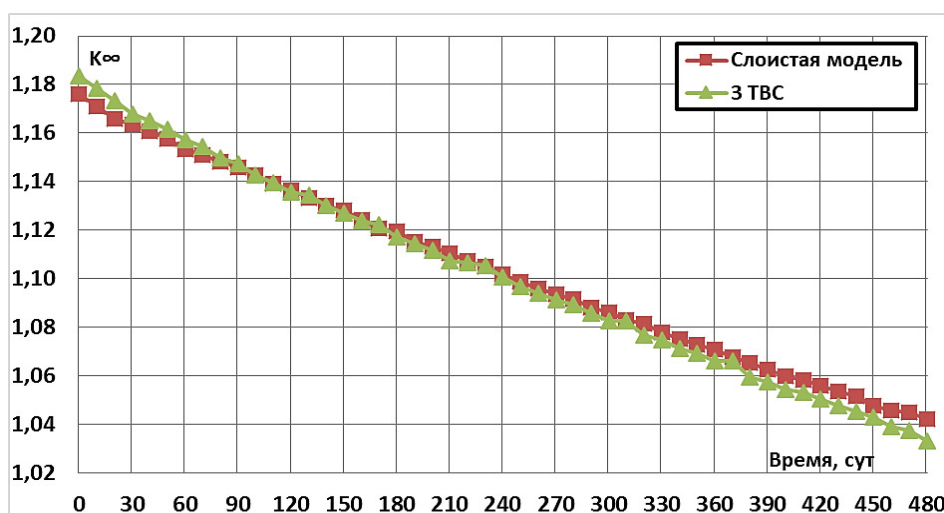


Рисунок 8 – Зависимости $K_{\infty}^{POLY}(t)$ для слоистой модели и расчетной модели с тремя ТВС [Dependencies of $K_{\infty}^{POLY}(t)$ for a layered model and a computational model with three fuel assemblies]

По рисунку 8 видно, что расчетное значение $K_{\infty}^{POLY}(t)$ и значение рассчитанное по формуле (1) совпадают. Это наглядно демонстрирует, что в «для простоты» расчетов $K_{\infty}^{POLY}(t)$ можно пользоваться формулой (1).

Для варианта с малым числом ТВЭгов эти зависимости подобны зависимостям для варианта без поглотителя (рис. 9). Снижение максимального значения избыточной реактивности происходит при увеличении весового содержания гадолиния в ТВЭге в результате снижения величины $K_{\infty}^{POLY}(0)$. Это значит, что максимальный остаточный запас реактивности оказывается в начале кампании.

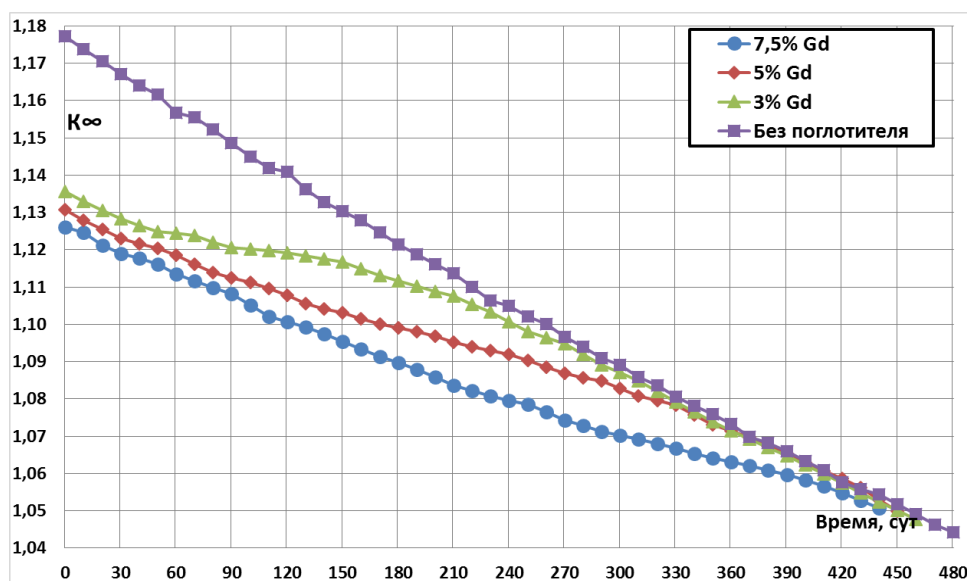


Рисунок 9 – Зависимости $K_{\infty}^{POLY}(t)$ для варианта с меньшим количеством ТВЭгов (1:18) за одну кампанию [Dependencies of $K_{\infty}^{POLY}(t)$ for the variant with fewer gadolinium fuel rods (1:18) in one campaign]

Для варианта с большим числом ТВЭгов зависимость $K_{\infty}^{POLY}(t)$ имеет принципиально другой характер, типа параболической зависимости. Это приводит к тому, что максимальный остаточный запас реактивности сдвигается по времени от начала кампании. Сама эта величина тем меньше, чем больше гадолиния в ТВЭгах, как это имеет место и для варианта с малым числом ТВЭгов. Однако увеличение весового содержания гадолиния в ТВЭгах в этом случае в большей степени снижает выгорание топлива (рис. 10).

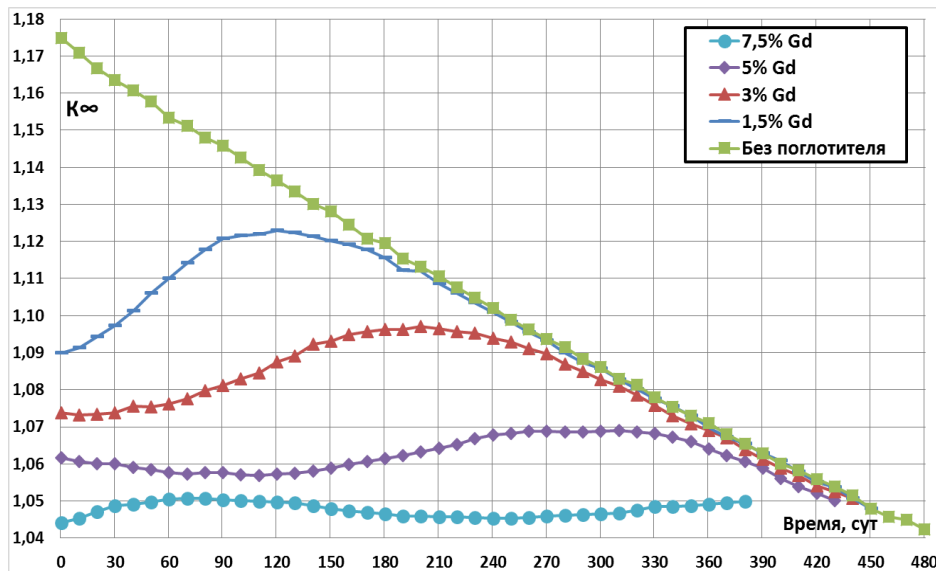


Рисунок 10 – Зависимости $K_{\infty}^{POLY}(t)$ для варианта с большим количеством ТВЭГов (1:6) за одну кампанию
[Dependencies $K_{\infty}^{POLY}(t)$ for a variant with a large number of gadolinium fuel rods (1:6) in one campaign]

При замене гадолиния эрбием его можно размещать во всех ТВЭлах, то есть в этом случае образуется однородная загрузка ТВС. Поэтому расчет выгорания можно осуществлять на одной элементарной ячейке, либо в слоистой макроячейке заменить ТВЭГ на ТВЭЛ с эрбием. На рисунке 11 приведены графики зависимости $K_{\infty}^{POLY}(t)$ при различных весовых содержаниях эрбия в ТВЭлах. Содержание эрбия в топливе варьировалось в диапазоне 0,1-1,1% весовых. Все эти зависимости носят почти линейный характер, с максимальным значением в начале кампании. Это связано с тем, что эрбий слабый поглотитель, именно поэтому увеличение содержания эрбия в ТВЭлах существенно снижает выгорание топлива. Так, например, при весовом содержании эрбия в 1,1% выгорание выгружаемого топлива снизилось на 20%. Но при этом некомпенсированный запас реактивности снизился до величины 0,04, в то время как для варианта без выгорающего поглотителя он составляет примерно 0,13.

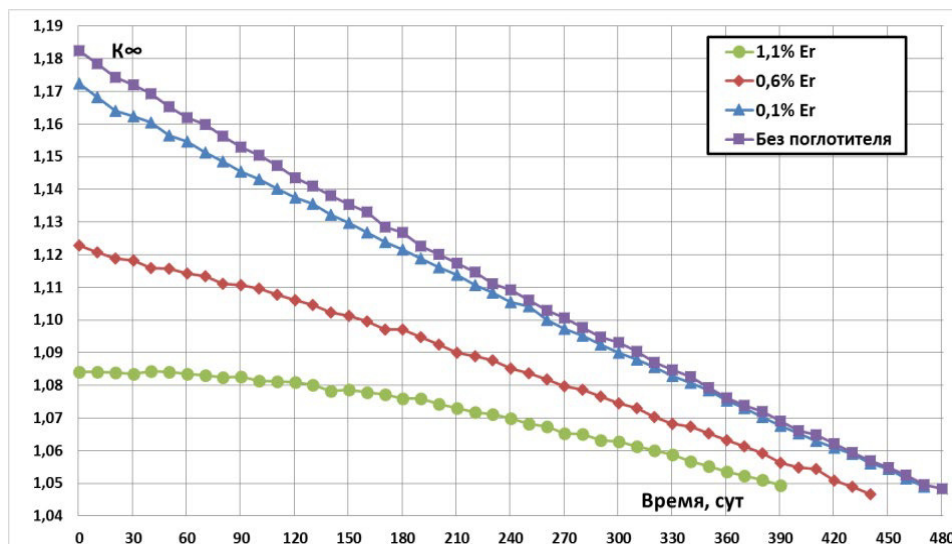


Рисунок 11 – Зависимости $K_{\infty}^{POLY}(t)$ для эрбия за одну кампанию при 3-х кратной перегрузке
[Dependencies $K_{\infty}^{POLY}(t)$ for erbium in one campaign with 3-fold refueling]

Поскольку у каждого поглотителя имеются как преимущества, так и недостатки, и не один из них не имеет подавляющего преимущества, то вполне допустимо

использование смешанных вариантов, когда-либо к гадолинию добавляется небольшое количество эрбия в твэлах, либо к твэлам с эрбием добавляется гадолиний в виде твэгов с небольшим содержанием гадолиния.

При проведении расчетных исследований были выбраны относительно небольшие концентрации гадолиния 1,5% и 3%, а содержание эрбия при этом варьировалось от 0,1–0,5%. Для данных концентраций оптимальным является вариант с большим количеством твэгов (1:6). Результаты расчетов приведены на рисунках 12 и 13.

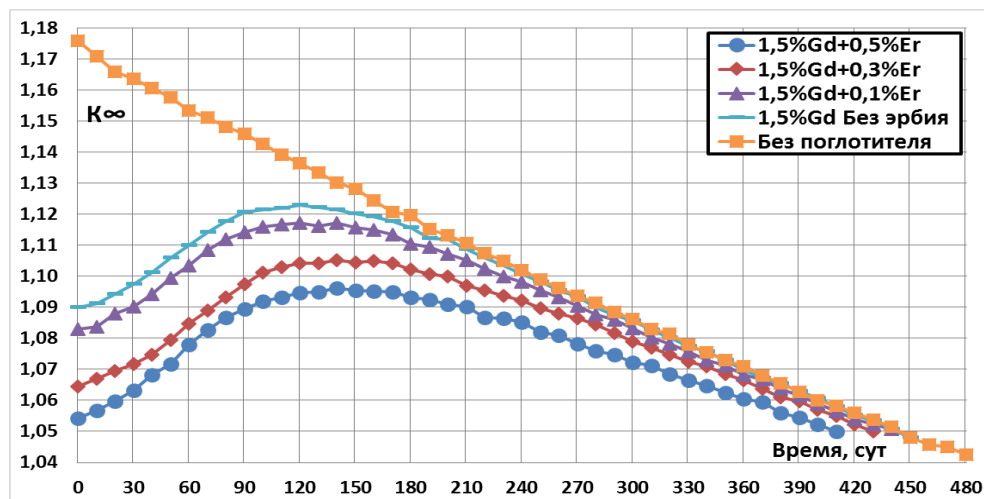


Рисунок 12 – Зависимости $K_{\infty}^{POLY}(t)$ для смешанных выгорающих поглотителей за одну кампанию при 3-х кратной перегрузке [Dependencies $K_{\infty}^{POLY}(t)$ for mixed burnable absorbers in one campaign at 3-fold refueling]

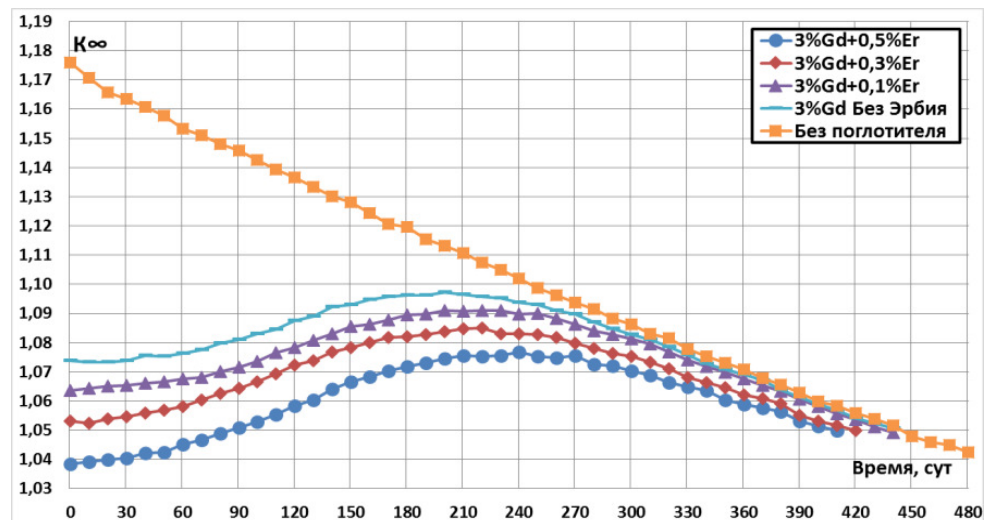


Рисунок 13 – Зависимости $K_{\infty}^{POLY}(t)$ для смешанных выгорающих поглотителей за одну кампанию при 3-х кратной перегрузке [Dependencies $K_{\infty}^{POLY}(t)$ for mixed burnable absorbers in one campaign at 3-fold refueling]

Обсуждение результатов

Рассчитаем максимальные значения некомпенсированной реактивности по формуле (2):

$$\rho = \frac{\max K_{\infty}^{POLY}(t) - K_{\infty}^{CRIT}}{\max K_{\infty}^{POLY}(t)}, \quad (2)$$

где $\max K_{\infty}^{POLY}(t)$ – максимальное значение коэффициента размножения полячейки.

Результаты максимального значения некомпенсированного запаса реактивности для всех рассматриваемых вариантов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Максимальные значения некомпенсированной реактивности для всех вариантов [Maximum values of uncompensated reactivity for all variants]

№	Вариант	$\max K_{\infty}^{POLY}(t)$	K_{∞}^{CRIT}	ρ
1	Без поглотителей	1,176	1,05	0,107
Варианты с меньшим количеством ТВЭгов (1:18)				
2	3% Gd	1,136	1,05	0,0757
3	5% Gd	1,131	1,05	0,0716
4	7,5% Gd	1,126	1,05	0,0675
Варианты с большим количеством ТВЭгов (1:6)				
5	1,5% Gd	1,123	1,05	0,0650
6	3% Gd	1,097	1,05	0,0428
7	5% Gd	1,069	1,05	0,0178
	7,5% Gd	1,051	1,05	0,00095
Варианты с эрбием				
8	0,1% Er	1,172	1,05	0,1162
9	0,6% Er	1,123	1,05	0,0695
10	1,1% Er	1,084	1,05	0,0324
Варианты с большим количеством ТВЭгов (1:6) со смешанными поглотителями				
11	1,5% Gd+0,1% Er	1,117	1,05	0,0599
12	1,5% Gd+0,3% Er	1,105	1,05	0,0498
13	1,5% Gd+0,5% Er	1,096	1,05	0,0420
14	3% Gd+0,1% Er	1,091	1,05	0,0376
15	3% Gd+0,3% Er	1,085	1,05	0,0323
16	3% Gd+0,5% Er	1,077	1,05	0,0251

Полный запас реактивности ρ для рассматриваемого топливного цикла с трехкратной перегрузкой и начальным обогащением топлива подпитки $x=4,86\%$, составляет 0,11. Для вариантов с двумя слоями ТВЭлов вокруг ТВЭга некомпенсированный запас реактивности слабо зависит от весового содержания гадолиния в ТВЭгах и составляет 63% от полного запаса реактивности на выгорание. При увеличении числа ТВЭгов в ТВС некомпенсированный запас реактивности снижается по мере увеличения содержания гадолиния в ТВЭгах и достигает 17% от полного запаса реактивности для весового содержания гадолиния в 5%.

При использовании эрбия в качестве выгорающего поглотителя некомпенсированный запас реактивности уменьшается с ростом весового содержания эрбия в ТВЭлах и минимальное значения достигает величины 30% от полного запаса реактивности при весовом содержании эрбия 1,1%, но при этом потеря в выгорании составляет около 20%.

Одновременное применение гадолиния и эрбия уменьшает потерю в выгорании и снижает некомпенсированный запас реактивности. Для варианта 1,5% гадолиния в ТВЭгах оптимальным является вариант с 0,3% эрбия. Так, как начальное значение коэффициента размножения составило 1,063 (то есть близкое к 1,05), некомпенсированная реактивность составляет 46% от полного запаса реактивности, а снижение выгорания 10% (рис. 6). Подобная избыточная реактивность получена и для смеси 1,5% Gd и 0,1% Er, но в этом случае начальное значение $K_{\infty} \approx 1,08$ (превышает 1,05).

Для варианта с содержанием гадолиния в ТВЭгах 3%, оптимальным является вариант 3% Gd и 0,1% Er. Так, как в этом варианте начальное значение K_{∞} составило 1,062 (близкое к $K_{\infty}^{CRIT} = 1,05$), потери в выгорание в отличии от варианта без поглотителя составило 8% и доля некомпенсированной реактивности составила 35%. Примерно такая же доля некомпенсированной реактивности получена и для варианта

3% Gd и 0,3% Er, к тому же начальное значение $K_{\infty} = K_{\infty}^{CRIT}$. Но потери в выгорании составляют 13%.

Заключение

В данной работе исследовалось влияние выгорающих поглотителей, таких как природный гадолиний и эрбий, на долю запаса реактивности, которая может быть скомпенсирована при их использовании. Варьируя весовое содержание выгорающего поглотителя в топливе и его размещение в ТВС, можно существенно снизить некомпенсированный запас реактивности для снижения объема жидкостного регулирования в реакторах типа ВВЭР.

Расчетным путем на упрощенной модели частичных перегрузок топлива (трехкратная перегрузка) было показано, что при использовании гадолиния удастся скомпенсировать 80% запаса реактивности, если применять стратегию увеличения числа твэгов при сокращении весового содержания гадолиния в твэгах. При этом оказывается, что максимум реактивности будет достигаться не в начале кампании, как это имеет место в настоящее время, а ближе к середине кампании. Следовательно, в начале кампании содержание борного поглотителя минимально. Тогда необходимо менять режим жидкостного регулирования, так как бор выгорает медленнее чем топливо, то в первой половине кампании необходимо добавлять бор в теплоноситель, а во второй половине – выводить бор из теплоносителя. В результате водообмен за всю кампанию должен снизиться, поскольку максимальная концентрация бора для этих вариантов снижается.

Для чисто эрбиевого поглотителя такой же результат достигается при увеличении весового содержания эрбия во всех твэлах, но при этом существенно понижается выгорание выгружаемого топлива. Однако, снижение выгорания топлива сопровождается уменьшением коэффициента неравномерности энерговыделения в активной зоне. Применяя перестановки при перегрузках ТВС определенного типа можно частично скомпенсировать проигрыш в выгорании, например, увеличивая долю свежих ТВС загружаемых в центральную часть активной зоны.

Одновременное применение гадолиния и эрбия позволяет снизить проигрыш в выгорании за счет неполного сгорания эрбия и существенно снизить весовое содержание гадолиния в твэге, что не потребует снижения обогащения топлива в твэгах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Galperin A., Segev M., Radkowsky A. Substitution of the Soluble Boron Reactivity Control System of a Pressurized Water Reactor by Gadolinium Burnable Poisons. Nuclear Technology. 1986. Vol.75. Issue 2. P. 127-133. Published online: 10 May 2017. doi: 10.13182/NT86-A33855
2. Frybortova L. VVER-1000 fuel cycles analysis with different burnable absorbers. Nuclear engineering and design. 2019. Vol.351. P. 167-174.
3. Khoshaval F., Foroutan Sh. Sh., Zolfaghari A., Minuchehr H. Evaluation of burnable absorber rods effect on neutronic performance in fuel assembly of WVER-1000 reactor. Annals of nuclear Energy. 2016. Volume 87. P. 648-658.
4. Khrais R.A., Tikhomirov G.V., Saldikov I.S. and Smirnov A.D. Neutronic analysis of VVER-1000 fuel assembly with different types of burnable absorbers using Monte-Carlo code Serpent. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1189 (2019). P. 1-14. – doi: 10.1088/1742-6596/1189/1/012002
5. Музафаров, А.Р. Сопоставительный анализ выгорающих поглотителей нейтронов на основе эрбия и гадолиния в реакторах типа ВВЭР с удлиненными кампаниями / А.Р. Музафаров, В.И. Савандер // Сборник докладов XVIII Международной научно-практической конференции «Безопасность ядерной энергетики», Россия, Волгодонск, 19 – 20 май. – Волгодонск: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2022. – С. 19.
6. Абу Сондос, М.А. Снижение объема борного регулирования запаса реактивности при использовании выгорающего поглотителя на основе (Gd₂O₃) в топливе реактора ВВЭР-1200 /

- М.А. Абу Сондос, В.М. Демин, В.И. Савандер // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 3(32). – С. 56.
7. Демин, В.М. Влияние выгорающих поглотителей (GD и EU) на нейтронно физические характеристики ТВС реакторов ВВЭР-1000/ В.М. Демин, В.И. Савандер, М.А. Абу Сондос // Ростовский научный журнал. – 2019. – № 3. – С. 262.
 8. M.A. Abu Sondos, V. M. Demin and V.I. Savander The effect of burnable absorbers (Gd and Eu) on the neutron-physical characteristics of fuel assemblies of VVER-1000. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1189 (2019). – P. 1-14. – doi: 10.1088/1742-6596/1189/1/012003
 9. Стогов, Ю.В. Перспективные технологии использования оксидного уран-гадолиниевого топлива в легководных реакторах / Ю.В. Стогов, Н.И. Белоусов, В.И. Савандер [и др.] // Материалы XIV семинара по проблемам физики реакторов. – Москва : МИФИ, 2006. – С.45-47.
 10. Ермолин, В.С. О размещении гадолиния в центральном отверстии ТВЭЛов водо-водяных реакторов / В.С. Ермолин, В.С. Окунев // Научная сессия МИФИ. – Москва : МИФИ, 2008. – С. 101.
 11. Андрушечко, С.А. ВВЭР-1200: эволюция классики. Физические основы эксплуатации, системы и элементы, ядерное топливо, безопасность : монография / С.А. Андрушечко, Б.Ю. Васильев, К.Б. Косоуров, Ю.М. Семченков, А.Ю. Кучумов, В.Ф. Украинцев, Б.Ю. Фаворов. – Москва : Логос, 2019. – 672 с.
 12. Balestieri D.A. Study of $\text{UO}_2/\text{Gd}_2\text{O}_3$ Composite fuel. IAEA-TECDOC-1036. Vienna (Austria). 1998. P. 63-72.
 13. Fedosov A.M. RBMK Uranium-Erbium Fuel / A.M. Fedosov // Atomic Energy. – 2018. – Vol. 124. – № 4. – P. 221-226.
 14. Альассаф, С.Х. Использование эрбия в качестве выгорающего поглотителя в реакторах типа ВВЭР при работе на удлинённых кампаниях / С. Х. Альассаф, В. И. Савандер, А. А. Хассан // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2020. – № 3. – С. 62-71.
 15. J. Leppänen. Serpent – a Continuous – energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code. VTT Technical Research Centre of Finland. (June 18, 2015).

REFERENCES

- [1] A. Galperin, M. Segev, A. Radkowsky. – Substitution of the Soluble Boron Reactivity Control System of a Pressurized Water Reactor by Gadolinium Burnable Poisons. Nuclear Technology. – 1986. – Volume 75, Issue 2. – P. 127-133. Published online: 10 May 2017 (in English). – doi: 10.13182/NT86-A33855
- [2] L. Frybortova VVER-1000 fuel cycles analysis with different burnable absorbers. Nuclear engineering and design. – 2019. – Volume 351. – P. 167-174 (in English).
- [3] F. Khoshaval, Sh. Sh. Foroutan, A. Zolfaghari, H. Minuchehr. Evaluation of burnable absorber rods effect on neutronic performance in fuel assembly of WVER-1000 reactor. Annals of nuclear Energy. – 2016. – Volume 87. – P. 648-658 (in English).
- [4] R.A. Khrais, G.V. Tikhomirov, I.S. Saldikov and A.D. Smirnov. Neutronic analysis of VVER-1000 fuel assembly with different types of burnable absorbers using Monte-Carlo code Serpent. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1189 (2019). – P.1-14 (in English). – doi: 10.1088/1742-6596/1189/1/012002
- [5] Muzaфаров A.R., Savander V.I. Sopostavitel'nyy analiz vygorayushchikh poglotiteley neytronov na osnove erbiya i gadoliniya v reaktorakh tipa VVER s udlinennymi kampaniyami [Comparative Analysis of Burnable Neutron Absorbers Based on Erbium and Gadolinium in WVER type Reactors with Extended Runs]. Sbornik dokladov XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Bezopasnost' yadernoj energetiki», Rossiya, Volgodonsk, 19 – 20 maj [Collection of Reports of the XVIII International Scientific and Practical Conference «Safety of Nuclear Energy»]. Russia, Volgodonsk: VETI NRNU MEPhI, 2022. P.19-21 (in Russian).
- [6] Abu Sondos M.A., Demin V.M., Savander V.I. Snizheniye ob'yema bornogo regulirovaniya zapasa reaktivnosti pri ispol'zovanii vygorayushchego poglotitelya na osnove (GD₂O₃) v toplive reaktora VVER-1200 [Decrease the Volume of Boric Regulation of the Reactivity when Using the Burnable Absorber on the Basis of (Gd₂O₃) in the Fuel Reactor WVER-1200]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2019. №3(32). P.56-65 (in Russian).
- [7] Demin V.M., Savander V.I., Abu Sondos M.A. Vliyaniye vygorayushchikh poglotiteley (Gd i Eu) na neytronno fizicheskiye kharakteristiki TVS reaktorov VVER-1000 [The Effect of Burnable Absorbers (Gd and Eu) on the Neutron-Physical Characteristics of Fuel Assemblies of WVER-1000 Reactors]. Rostovskiy nauchnyy zhurnal [Rostov Scientific Journal]. 2019. №3. P.262-272 (in Russian).

- [8] M.A. Abu Sodos, V.M. Demin, V.I. Savander. The effect of burnable absorbers (Gd and Eu) on the neutron-physical characteristics of fuel assemblies of VVER-1000. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1189 (2019). – P.1-14 (in English). – doi: 10.1088/1742-6596/1189/1/012003
- [9] Stogov Yu.V., Belousov N.I. Savander V.I. et al. Perspektivnyye tekhnologii ispol'zovaniya oksidnogo uran-gadoliniyevogo topliva v legkovodnykh reaktorakh [Promising Technologies for Using Oxide Uranium-Gadolinium Fuel in Light Water Reactors]. Materialy XIV seminar po problemam fiziki reaktorov [Proceedings of the XIV Seminar on Problems of Reactor Physics]. Moscow: MEPhI, 2006. P.45-47 (in Russian).
- [10] Yermolin V.S., Okunev V.S. O razmeshchenii gadoliniya v tsentral'nom otverstii TVELov vodo-vodyanykh reaktorov [Placement of Gadolinium in the Central Hole of Fuel Elements of Pressurized Water Reactors]. Nauchnaya sessiya MIFI [Scientific Session of MEPhI]. Moscow: MEPhI 2008. P.101 (in Russian).
- [11] Andrushechko S.A., Vasil'yev B.Yu., Kosourov K.B., Semchenkov Yu.M., Kuchumov A.Yu., Ukrainsev V.F., Favorov B.Yu. VVER-1200: evolyutsiya klassiki. Fizicheskiye osnovy ekspluatatsii, sistemy i elementy, yadernoye toplivo, bezopasnost': monografiya [WWER-1200: the Evolution of the Classics. Physical Foundations of Operation, Systems and Elements, Nuclear Fuel, Safety: monograph]. Moscow: Logos, 2019. P.672 (in Russian).
- [12] Balestieri D.A. Study of $\text{UO}_2/\text{Gd}_2\text{O}_3$ Composite fuel. IAEA-TECDOC-1036. Vienna (Austria). 1998. – P.63-72 (in English).
- [13] Fedosov A.M. RBMK Uranium-Erbium Fuel. Atomic Energy. 2018. – Vol.124. – №.4. – P.221-226 (in English).
- [14] Alassaf S.H., Savander V.I., Hassan A.A. Ispol'zovaniye erbiya v kachestve vygorayushchego poglotitelya v reaktorakh tipa VVER pri rabote na udlinennykh kampaniyakh [The Use of Erbium as a Burnable Absorber in WWER-type Reactors during Operation on Extended Campaigns]. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zawedeniy, Yadernaya Energetika [News of Higher Education Institutions. Nuclear power engineering]. 2020. №3. P.62-71 (in Russian).
- [15] J. Leppänen. Serpent – a Continuous – energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code. VTT Technical Research Centre of Finland (June 18, 2015) (in English).

The Use of Burnable Poisons in WWER-type Reactors to Reduce the Fraction of the Reactivity Margin Compensated by the Liquid System During Extended Runs

Anvar R. Muzafarov¹, Vladimir I. Savander²

National Research Nuclear University «MEPhI», Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409

¹*anvar1996@yandex.ru, ¹ORCID iD: 0000-0001-5292-2697, WoS Researcher ID: CAH-1551-2022*

²*visavander@mephi.ru, ORCID iD: 0000-0001-9309-5616, WoS Researcher ID: ABG-3490-2021*

Received by the editorial office on 12/05/2022

After completion on 17/05/2022

Accepted for publication on 23/05/2022

Abstract. The paper presents the results of a computational and theoretical analysis of the use of various burnable poisons placed in a fuel rod for the maximum reduction in the reactivity margin compensated by a liquid system based on a boron absorber for WWER-type reactors operating in extended campaigns. Various layouts of fuel rods placement in fuel assemblies and with different concentrations of burnable poisons are considered, which are considered natural gadolinium and erbium. The analysis is carried out using simplified models of fuel burnup at partial refueling.

Keywords: Burnable absorber (BP), polycell, WWER, Serpent, multiplication factor (K_∞), excess reactivity, gadolinium, fuel rod, erbium, boron regulation.

For citation: Muzafarov A.R., Savander V.I. The use of burn-out absorbers in WWER-type Reactors to reduce the proportion of reactivity reserve compensated by a Liquid system during extended Campaigns // Global nuclear safety. 2022. Vol. 2(43). P. 42-54. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-05>

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**
OPERATION OF FACILITIES
NUCLEAR INDUSTRY

УДК 621.039, 519.217
doi: 10.26583/gns-2022-02-06

**ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ
СТРАТЕГИИ ТОиР АРМАТУРЫ АЭС**

© 2022 Лапкис Александр Аркадьевич¹, Никифоров Виктор Николаевич,
Поваров Прохор Владимирович, Калашников Максим Викторович,
Арсентьева Елена Сергеевна

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного
университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия
¹AALapkis@mephi.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9431-7046>

Аннотация. В статье рассматривается актуальность и возможность разработки методологических основ для риск-ориентированной стратегии ТОиР оборудования АЭС на примере трубопроводной арматуры. Описана предпроектная проработка соответствующей информационной системы.

Ключевые слова: арматура, электропривод, дефект, ремонт, ТОиР, риск-ориентированный, надёжность, марковские цепи.

Для цитирования: Лапкис А.А., Никифоров В.Н., Поваров П.В., Калашников М.В., Арсентьева Е.С. Предпосылки для внедрения риск-ориентированной стратегии ТОиР арматуры АЭС // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 2(43). – С. 55-67. – <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-06>

Поступила в редакцию 24.03.2022
После доработки 28.04.2022
Принята к печати 15.05.2022

Актуальность проблемы

Анализ научно-технических публикаций и докладов [1-3] показывает, что в последние 15-20 лет главными направлениями развития действующей российской ядерной генерации являлись:

- модернизация и повышение мощности находящихся в эксплуатации блоков;
- повышение КИУМ;
- продление сроков службы ответственного энергетического оборудования АЭС.

Одним из перспективных путей решения задач: «Повышение КИУМ» и «Продление сроков службы основного энергетического оборудования АС» является оптимизация объемов и сроков проведения капитальных ремонтов электроприводной арматуры АЭС (ЭПА), как представителей наиболее многочисленного класса ответственного оборудования АЭС.

В существующей практике решения о выводе в ремонт конкретных единиц ЭПА принимаются техническими специалистами цехов-владельцев на основе большого числа рутинных операций, с обработкой и учётом значительных объёмов разнородной информации. Учёт ресурсов и мониторинг технического состояния ЭПА АЭС выполняются при этом вручную с минимальным использованием средств автоматизации (как правило, это электронные документы форматов pdf, docx,

электронные таблицы Excel). С другой стороны, проблема отслеживания изменений, вносимых в нормативно-технические документы разного уровня, в значительной степени решена в результате внедрения на атомных электростанциях системы управления технической документацией (АСУТД).

Следует отметить, что в настоящее время отсутствует единое средство обобщения и систематизации сведений о циклах нагружения, динамике развития классифицированных дефектов, механизмах старения, о статистических данных по отказам и нарушениям в работе ЭПА. И это при том, что в настоящее время современные информационные технологии предоставляют широкие возможности эффективной оптимизации рутинных процедур сбора и обработки разнородной информации необходимой для планирования безопасного проведения ТОиР, в рамках решения задач цифровизации АО «Концерн Росэнергоатом».

Перспективное направление решения этой задачи – обоснованное с точки зрения безопасной эксплуатации изъятие из процедур обслуживания исправной ЭПА процессов её плановой дефектации, включающих в себя разборку, осмотр, сборку и контрольную «прокрутку». В данном случае компенсирующей мерой является своевременный, риск-ориентированный подход, основанный на использовании информационных технологий, комплексном анализе рисков, рассчитанных на основании данных неразрушающего контроля и результатов мониторинга технического состояния, осуществляемого посредством современных методов и средств оперативной технической диагностики. Риск-ориентированный подход к решению задач оптимизации длительности проведения ремонтных кампаний, даёт явный экономический эффект и снижает уровень дозовых нагрузок ремонтного персонала.

Стратегии ТОиР. Актуальность разработки методологии для риск-ориентированного подхода к ТОиР

В настоящее время СТО 1.1.1.01.002.0069-2019 [4] предусмотрены стратегии предупредительного обслуживания оборудования АЭС:

- стратегия регламентированного обслуживания;
- стратегия обслуживания по техническому состоянию;
- стратегия риск-ориентированного обслуживания.

Обслуживание по техническому состоянию выполняют на основе мониторинга контролируемых параметров, результатов технического диагностирования, признаков нарушений, определённых проектом АС, или эксплуатационных пределов и параметров, установленных организациями-разработчиками (изготовителями), а также по результатам анализа, оценки и прогноза технического состояния конкретных единиц оборудования.

Риск-ориентированное обслуживание элементов основано на мониторинге риска функционального отказа и анализе тренда риска, заключающегося в прогнозировании имеющихся повреждений или ожидаемых в будущем повреждений.

В настоящее время действующие методики мониторинга риска и анализа тренда риска для электроприводного оборудования АЭС отсутствуют. Известна методика расчёта надёжности трубопроводной арматуры на этапе проектирования, изложенная в СТ ЦКБА 008-2014 [5]. Рекомендации по оценке надёжности и безопасности арматуры на этапе эксплуатации, изложенные в СТ ЦКБА 043-2008, не носят количественного характера. Вновь принятые документы, касающиеся эксплуатационного контроля (диагностики) электроприводной арматуры (например, СТО 1.1.1.02.002.1857-2021 [6]), нацелены на использование данных диагностики при обслуживании по техническому состоянию.

Широко обсуждается внедрение на АЭС систем предиктивной аналитики, нацеленных на количественное прогнозирование дефектов оборудования и оценку

рисков [7-9]. При этом в большинстве случаев речь идёт о внедрении таких систем для уникальных, специфических для АЭС единиц оборудования (ГЦН, турбогенератор и другие основные агрегаты энергоблоков) [7, 10]. Для трубопроводной арматуры, которая в основном представляет собой серийные изделия, которые эксплуатируются на энергоблоках АЭС в количестве тысяч единиц, такие возможности по охвату средствами контроля и диагностики в настоящий момент недостижимы [11, 12].

Концепт информационной системы

В основу риск-ориентированной стратегии управления ТОиР оборудования АЭС положена корректировка интервалов между выполнением ремонтов, требующих разборки-сборки ЭПА, при условии, что уровень риска (вероятности) отказа таких узлов, ремонт которых требует разборки ЭПА, ниже заданного порогового уровня. Для количественных оценок риска необходимо применение математических методов теории надёжности, а для реализации методики – создание системы поддержки принятия решений (СППР).

Для реализации такой системы необходимо:

- разработать и согласовать с эксплуатирующей организацией исходные технические требования в целях реализации конкретных технических решений, детальных требований к техническим и программным средствам, форматам данных и интеграционным решениям, необходимым для работы СППР;
- сформировать набор характеристик ЭПА, подлежащих учёту и используемых при принятии решения, включающий: ресурсные характеристики ЭПА, сведения о фактической наработке и дефектности ЭПА, сведения об изменениях технического состояния ЭПА, полученных методами безразборной диагностики;
- определить перечень источников, содержащих техническую, конструкторско-технологическую документацию и информацию о результатах ТОиР ЭПА, достаточный для разработки СППР, при этом для каждого из источников информации определить форматы данных и способы интеграции, согласовав с Заказчиком;
- разработать методические принципы принятия решений об оптимизации объёмов и периодичности ТОиР, основанные на оценке риска, с учётом технического состояния, ресурсных характеристик и показателей надёжности ЭПА;
- выполнить проектирование, разработку и испытания системы поддержки принятия решений (СППР), доработку СППР по результатам испытаний и внедрение СППР в промышленную эксплуатацию, включая проведение обучения персонала и приёмо-сдаточных испытаний.

В результате может быть создан образец специализированной информационной среды, предназначенной для принятия методически обоснованного, подтверждённого результатами безразборной диагностики технического состояния, решения об оптимизации объёмов и сроков ТОиР ЭПА атомных станций.

Здесь под методически обоснованным решением подразумевается выбор категории и периодичности проведения ТОиР основных элементов выбранной единицы или типоразмера ЭПА на основании показателей риска и текущего технического состояния. При этом могут быть приняты решения:

- о проведении всех предусмотренных видов ремонта в первоначально назначенные сроки;
- об изменении периодичности текущих, средних и капитальных ремонтов ЭПА;
- об изменении периодичности технических обследований ЭПА и уточнении предпочтительных методов диагностики и неразрушающего контроля в условиях увеличения длительности межремонтного интервала;
- о замене части регламентных ремонтных работ на обследования методами технической диагностики (для ЭПА 4 класса по НП-001-15).

В качестве дополнительных возможностей целесообразно предусмотреть в СППР:

- ведение учёта ресурсных характеристик ЭПА, основываясь на связи с архивом АСУ ТП атомной станции, в целях выполнения требований НП-096-15 [13] и обеспечения качества будущих работ по продлению срока эксплуатации ЭПА;
- вычисление показателей надёжности единиц оборудования атомной станции, необходимых для учёта в вероятностном анализе безопасности (в соответствии с РБ 024-19 [14]).

Отметим, что в соответствии с [14], для использования в ВАБ первого уровня показатели надёжности элементов должны вычисляться преимущественно путём обработки опыта эксплуатации. Дополнительно могут быть использованы методы оценки с применением обобщённых данных, вероятностных методов механики разрушений, экспертных оценок и другие подходящие методы. Показатели надёжности должны определяться по отношению к отдельным функциям элемента

Такая система должна включать следующие основные модули:

- связи с базами данных атомной станции и АО «Концерн Росэнергоатом»;
- связи с АСУ ТП атомной станции;
- учёта и оценки ресурсных характеристик;
- расчёта показателей надёжности;
- анализа и принятия решений;
- управления собственной БД;
- графического интерфейса оператора.

Исходными данными для работы СППР являются:

- сведения о количестве пусков и остановов приводов, получаемые из архива АСУ ТП АЭС;
- сведения о дефектах, зарегистрированных на ЭПА определённого типоразмера, получаемые из БД АЭС и АО «Концерн Росэнергоатом»;
- сведения о текущем техническом состоянии ЭПА с точки зрения выполнения им основных функций, получаемые от диагностических приборов и систем;
- сведения об истории ремонтов и обследований ЭПА методами технической диагностики за весь срок эксплуатации, получаемые из БД атомной станции и АО «Концерн Росэнергоатом».

Результатами работы СППР могут являться:

- остаточные ресурсные характеристики ЭПА (остаточный срок службы, остаточный ресурс в единицах времени или циклах наработки с заданной доверительной вероятностью);
- показатели надёжности по конкретной единице или типоразмеру ЭПА, определённые по выполнению оборудованием отдельных функций с учетом фактической длительности межремонтного периода;
- показатели надёжности, полученные для увеличенного межремонтного периода;
- рекомендации по изменению частоты обследований ЭПА методами технической диагностики и по выбору этих методов;
- рекомендации по изменению частоты проведения ремонта ЭПА различных категорий, включая ремонт с разборкой и/или снятием привода.

Критерии принятия решения

В основу риск-ориентированной стратегии ТОиР положено увеличение интервалов между выполнением ремонтов, требующих разборки-сборки, при условии, что уровень вероятности отказа таких узлов, ремонт которых требует разборки ЭПА, ниже заданного порогового уровня.

Допускаемая величина риска (порог вероятности) определяется на основании:

- возможных последствий отказа для энергоблока, определяемых с учётом класса безопасности ЭПА;
- требований нормативных и технических документов к уровню надёжности оборудования рассматриваемого типа.

Действующая величина риска определяется на основании:

- вероятности ошибок первого и второго рода (пропуск цели или ложное обнаружение) при безразборной диагностике ЭПА;
- показателей надёжности, вычисленных на основе статистики дефектности элементов ЭПА на этапе эксплуатации.

Последовательность принятия решения об изменении объёмов сборки-разборки ЭПА может быть описана следующим образом:

- а) выбор анализируемой единицы или типоразмера ЭПА;
- б) извлечение назначенных ресурсных характеристик из баз данных:
 - срока службы;
 - назначенной наработки в единицах времени или циклах определённого вида;
 - срока службы незаменяемых деталей (как правило, корпусных);
 - номинальных и минимально допускаемых толщин элементов оборудования;
- в) анализ баз данных и данных АСУ ТП о фактической наработке ЭПА (в единицах времени и циклах определённого вида);
- г) анализ сведений о ремонтах, включая определение заменённых узлов и узлов, подвергнутых ремонту;
- д) анализ дефектности ЭПА по журналу дефектов АЭС и, при доступности, общих сведений о дефектности оборудования по филиалам АО «Концерн Росэнергоатом», с последующим вычислением показателей надёжности;
- е) анализ результатов обследований и безразборной диагностики ЭПА с определением текущего технического состояния с определённым уровнем вероятности;
- ж) анализ результатов неразрушающего контроля с оценкой остаточного ресурса по утонению основных деталей и расчётом вероятности разрушения элементов, работающих под давлением;
- и) определение зависимости общей вероятности отказа элементов ЭПА, ремонт которых требует разборки-сборки, от времени, и определение рекомендованного межремонтного интервала.
- к) количественное определение степени негерметичности оборудования ультразвуковыми или акустическими методами с отнесением его в определённом классе.

Например, для арматуры может определяться класс герметичности в соответствии с ГОСТ 9544-2015. Негерметичность в затворе выше норм, установленных для данного типа ТПА, является критерием, по которому требуется разборка и ремонт уплотнительных поверхностей. Для насосов и вентиляторов критерии герметичности определяются в соответствии с документацией завода-изготовителя, если она содержит такие требования.

Конкретный набор критериев технического состояния для исключения сборки-разборки ЭПА определяется применяемыми методами контроля технического состояния:

- а) контроль электрических сигналов: соответствие токово-временных параметров нормативным значениям и отсутствие тенденции к их ухудшению;
- б) контроль вибрации: соответствие параметров вибрации нормативным значениям (ГОСТ ИСО 10816) и отсутствие тенденции к их ухудшению;
- в) контроль протечек: объёмы внешних утечек и внутренних протечек не превышают допустимых значений, отсутствует тенденция к их росту;

г) неразрушающий контроль: толщины стенок и других элементов ЭПА не меньше допустимых значений;

д) контроль эксплуатационных параметров: время эксплуатации с учётом назначенного срока службы, количество циклов срабатывания и количество циклов изменения температуры не больше допустимых значений.

Решение об увеличении интервала между ремонтами определённой категории может быть принято тогда и только тогда, когда одновременно выполняются условия:

- на момент принятия решения отсутствуют дефекты, требующие для их устранения ремонта данной категории;
- на момент принятия решения расчётный риск возникновения дефектов, требующих для их устранения ремонта данной категории, на увеличенный межремонтный интервал не выше заданного порогового значения.

Эффект внедрения риск-ориентированной стратегии ТОиР

Уменьшение объёмов ТОиР путём частичной замены капитального ремонта на текущий и средний, а также изменение временных интервалов между капитальными ремонтами, позволит существенно сократить трудозатраты на их проведение. Так, согласно отраслевым элементным сметным нормам (ОЭСН-81-26-11-2014 и ОЭСН-81-26-05-2014) соотношение трудозатрат между различными видами ТОиР и КР для насосов и электроприводной арматуры выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{ТО} &= 0,2 \times \text{КР}, \\ \text{ТР} &= 0,4 \times \text{КР}, \\ \text{СР} &= 0,67 \times \text{КР}, \end{aligned}$$

где ТО – техническое обслуживание, ТР – текущий ремонт, СР – средний ремонт.

Таким образом, замена капитального ремонта на средний ремонт может экономить до 33 % нормочасов, а замена на текущий ремонт – до 60 % нормочасов. Для отдельных единиц трубопроводной арматуры величина экономии может варьироваться в диапазоне 2000-20000 руб., в зависимости от типоразмера.

Анализ показателей риска ЭПА на этапе эксплуатации методом марковских цепей

В естественных науках и технике широко применяется понятие марковской системы – системы, для которой состояние после любого заданного значения временного параметра t не зависит от эволюции, предшествовавшей t , при условии, что значение процесса в этот момент фиксировано («будущее» процесса не зависит от «прошлого» при известном «настоящем»).

Метод марковских цепей (ММЦ) в приложении к оценке показателей надёжности заключается в следующем. Рассмотрим систему, для которой возможен набор состояний $1, 2, \dots, n$, часть из которых является работоспособными, а часть – нет. Между этими состояниями возможны переходы путём отказа или восстановления изделия, перехода на резервные элементы и т.д. В общем случае между n состояниями возможно n^2 переходов:

$$\begin{aligned} &\lambda_{12}, \lambda_{13}, \dots, \lambda_{1i}, \dots, \lambda_{1n} \\ &\lambda_{21}, \lambda_{23}, \dots, \lambda_{2i}, \dots, \lambda_{2n} \\ &\dots\dots\dots \\ &\lambda_{n1}, \lambda_{n2}, \dots, \lambda_{ni}, \dots, \lambda_{n,n-1} \end{aligned}$$

Тогда схему (граф) надёжности с состояниями, расположенными в его вершинах, и событиями отказов и восстановлений в рёбрах, можно показать следующим образом (рис. 1). В данном примере система выполняет функции $\Phi 1$ и $\Phi 2$, интенсивности

отказов по которым заданы отдельно, а восстановления не учитываются.

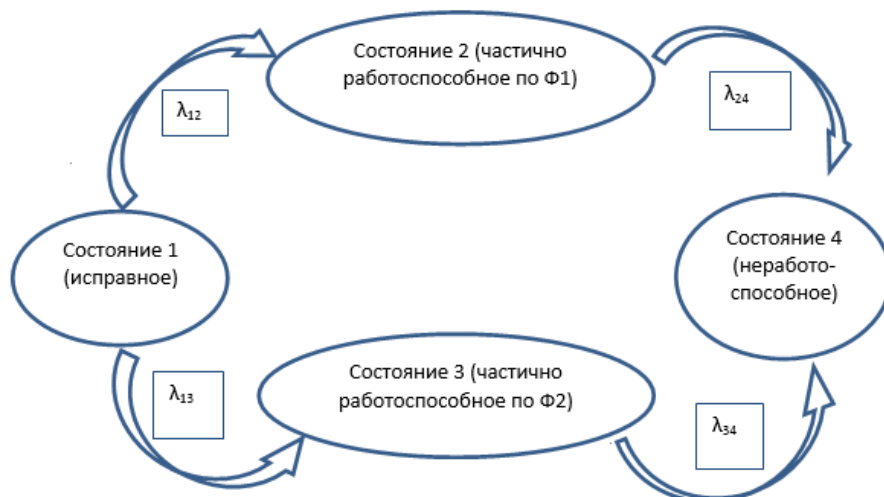


Рисунок 1 – Пример структурного графа надёжности для элемента, выполняющего две функции [An example of a reliability structure graph for an element performing two functions]

Как правило, в реальных системах возможности отказа и восстановления ограничены, и значительная часть переходов невозможна. Соответствующие интенсивности переходов

$$\lambda_{ij}=0.$$

Показатели надёжности – вероятности обнаружить систему в состоянии 1,2,...n – вычисляются в соответствии с ГОСТ Р МЭК 61165-2019 (приложение С) [15] на основании решения системы дифференциальных уравнений надёжности вида:

$$\frac{d}{dt}P_j(t) = -P_j(t) \cdot (\lambda_{j1} + \lambda_{j2} + \dots + \lambda_{jn}) + P_1(t) \cdot \lambda_{1j} + P_2(t) \cdot \lambda_{2j} + \dots + P_n(t) \cdot \lambda_{nj} \quad (1)$$

при начальных условиях, соответствующих реальному техническому состоянию системы на момент начала анализа. Чаще всего анализ начинается в исправном состоянии, в таком случае начальные условия выглядят так:

$$\begin{aligned} P_1(0) &= 1 \\ P_2(0) &= 0 \\ &\dots \\ P_n(0) &= 0. \end{aligned}$$

Система из n уравнений вида (1) содержит (n–1) линейно независимых уравнений, поэтому одно из них должно быть заменено на условие нормировки вероятностей на единицу:

$$\sum_j P_j(t) = 1.$$

Решениями системы уравнений (1) являются функции $P_1(t)$, $P_2(t)$... $P_n(t)$ – вероятности обнаружить систему в состоянии соответственно 1,2,...n за время t. На основании такой вероятностной оценки может быть сделан вывод об эксплуатационной надёжности изделия данного вида.

Расчёт надёжности с помощью ММЦ наиболее целесообразно применять в тех случаях, когда у изделия существует градация степеней работоспособности, а не бинарный набор «работоспособно»/ «неработоспособно».

Оценку надёжности проводят на основе обработки данных наблюдений за надёжностью объектов или их аналогов в исследовании, данных по их испытаниям на надёжность, а также на основе проведения структурного анализа надёжности объектов и изучения закономерностей возникновения их отказов. Отказы арматуры АЭС укрупнённо делятся на: пропуски во внешнюю среду, пропуски во внутреннюю среду и отказы при срабатывании. Отказы разделяют на полные, исключающие возможность работы изделия до их устранения, и частичные, при которых изделие может частично использоваться.

Показатели надёжности, которые необходимы для разработки специализированной экспертной системы – это преимущественно показатели безотказности: вероятность безотказной работы и интенсивность отказов.

Источником данных для анализа показателей надёжности арматуры АЭС на этапе эксплуатации является журнал дефектов, который ведётся сотрудниками станции. В журнале дефектов содержатся данные о функциональном назначении, оперативном обозначении, производителе, типе, марке, модели, описании проявления отказа и т.д.

Внедрение гибких стратегий ТОиР часто вызывает опасения со стороны специалистов, связанные с тем, что вероятно недостаточно обоснованное снижение объёмов ремонта для оборудования с невысокой надёжностью. В качестве примера для расчёта показателей надёжности электроприводной арматуры были определены точечные оценки интенсивности отказов задвижек Babcock DN800 на линиях питательной воды действующей АЭС.

Число установленных единиц ЭПА данного типоразмера:

$$N_{\text{уст}}=9.$$

Длительность периода наблюдения:

$$\Delta t = 2019 - 1997 = 22 \text{ г.}$$

Число зарегистрированных дефектов составило $N_f=13$, из них:

- 6 – течи во внешнюю среду (через главный разъём);
- 7 – дефекты кинематической цепи, из которых шесть составили дефекты редуктора, а один дефект был зафиксирован у элементов ручного привода.

Общая интенсивность всех видов отказов составляет:

$$\lambda = \frac{\sum_j N_{fj}}{\sum_j T_j} = \frac{13}{9 \cdot 22} = 0,0657 \text{ год}^{-1}.$$

Интенсивность отказов типа «Течь во внешнюю среду через главный разъём»:

$$\lambda_{\text{ГР}} = \frac{\sum_j N_{fj}}{\sum_j T_j} = \frac{6}{9 \cdot 22} = 0,0303 \text{ год}^{-1}.$$

Интенсивность отказов типа «Несрабатывание», определяемых надёжностью кинематической цепи задвижки:

$$\lambda_{\text{кинем}} = \frac{\sum_j N_{fj}}{\sum_j T_j} = \frac{7}{9 \cdot 22} = 0,0354 \text{ год}^{-1}.$$

Вероятность безотказной работы отдельных узлов ЭПА при экспоненциальном распределении отказов за период t , если исходное техническое состояние

$$P_{ГР}(t) = \exp(-\lambda_{ГР} \cdot t),$$

$$P_{кинем}(t) = \exp(-\lambda_{кинем} \cdot t).$$

Формирование рекомендации: выполнить контроль технического состояния проблемного узла (главный разъём) не позднее момента t^* такого, что ВБР за период между диагностированиями останется не ниже допускаемой $[P]$:

$$\begin{aligned} P_{ГР}(t^*) &= [P], \\ P_{кинем}(t^*) &= [P]. \end{aligned}$$

Так, при пороге ВБР, составляющем 95 %, время до следующего обследования рекомендуется назначить не более:

$$t^* = \min(t_{ГР}^*; t_{кинем}^*) = 1,45 \text{ года},$$

где

$$t_{кинем}^* = -\frac{\ln([P])}{\lambda_{кинем}}; \quad t_{ГР}^* = -\frac{\ln([P])}{\lambda_{ГР}}.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что снижение частоты обследований и ремонтов арматуры данного типоразмера рекомендовать нельзя. Контроль риска позволяет сохранить приоритет безопасности над экономическими соображениями, избегая необоснованного повышения межремонтного интервала для ЭПА, демонстрирующей повышенную дефектность по отдельным узлам.

Опыт диагностирования ЭПА

Как показывает опыт диагностирования ЭПА, проведение регламентированного ТОиР не всегда приводит к улучшению технического состояния арматуры [16].

На основании предоставленных АЭС сведений о проведении планового капитального ремонта ЭПА за несколько последних лет ВИТИ НИЯУ МИФИ осуществил анализ изменений технического состояния арматуры по результатам до- и послеремонтного диагностирования в соответствии с действующей методикой диагностики МТ 1.2.3.02.999.0085-2010 [17] («без изменений», «ухудшение» или «улучшение»).

Статистический анализ изменений технического состояния ЭПА после проведения ТОиР позволяет сделать определённые выводы по качеству и необходимости проведения регламентированного ремонта [18].

«Без изменения технического состояния» после проведения КР осталось 60-70 % арматуры ТЦ и 98 % арматуры РЦ. При этом у большей части данной ЭПА отклонений диагностических параметров не было зафиксировано и до ремонта или были выявлены незначительные отклонения, не влияющие на ее работу. Возможно, проведение капитального ремонта данной арматуры, находящейся в заведомо исправном техническом состоянии, не является рациональным. Приблизительно третья часть отремонтированной арматуры сохранила выявленные отклонения, несмотря на проведённый ремонт.

«Ухудшение технического состояния» после проведения КР обнаружено у 15-25 % арматуры турбинного отделения. Зафиксированы как незначительные отклонения диагностических параметров (в пределах нормы), так и довольно

существенные. Состояние 2-3 % ЭПА снизилось до частично работоспособного. У данной арматуры произошло дальнейшее снижение плавности рабочего хода значительно ниже нормы. По спектру токового сигнала установлены: значительный рост нагрузки на двигателе выше предельно допустимой, модуляция на частоте выходного вала редуктора. По результатам диагностирования зафиксированы также дефекты ходового узла, затираание штока в зоне сальника, подклинивание запорного органа в верхнем, нижнем или промежуточном положении. Для данной арматуры качество КР можно считать неудовлетворительным.

«Улучшение технического состояния» выявлено у 10-15 % арматуры, прошедшей диагностирование. В основном это небольшое или существенное улучшение, связанное с ростом плавности рабочего хода и снижением нагрузки на электродвигатель. В некоторых случаях зафиксировано недостаточное улучшение, отдельные отклонения диагностических параметров все же сохраняются. При этом для некоторой арматуры улучшение по одним диагностическим параметрам сопровождается появлением отклонений по другим.

Анализируя качество КР данной арматуры, можно предположить, что ремонт выполнялся не полностью, либо «вслепую», не учитывались результаты предремонтного диагностирования.

Известно, что у арматуры, признанной частично работоспособной по результатам диагностирования, выявляются значительные дефекты, при которых контролируемые параметры выходят за границы установленного допуска, но при этом арматура продолжает выполнять свои функции. Частично работоспособное состояние может сохраняться по результатам неоднократного периодического диагностирования в течение 2-3 лет (пока не подойдёт срок КР), создавая угрозу возникновения отказа.

Таким образом, внедрение риск-ориентированной стратегии ремонта оборудования по техническому состоянию, а также контроль качества ремонтных работ с использованием диагностических методов позволил бы поддерживать оборудование в работоспособном и исправном состоянии, своевременно выявляя повреждения, а также принимать правильное решение о необходимости и видах ремонта.

Заключение

1. Нормативные документы атомной отрасли допускают риск-ориентированный подход к планированию ТОиР, при этом методологической базы и готового решения по оптимизации ТОиР ЭПА в настоящее время нет.

2. Объём ТОиР ЭПА может быть обоснованно снижен на основании оценки технического состояния, ресурсных характеристик и показателей надёжности при условии выполнения критериев, изложенных выше.

3. Техническое состояние ЭПА должно определяться преимущественно методами безразборной диагностики, а показатели риска и ресурсные характеристики – на базе интеграции предлагаемой СППР с существующими базами данных оборудования и архивами данных АСУТП АЭС.

4. Реализация СППР об обоснованном исключении сборки-разборки и снятия приводов ЭПА позволит реализовать для оборудования атомных станций риск-ориентированный подход к ТОиР, обеспечивая оптимальное сочетание уровня безопасности и затрат на его поддержку.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Шутиков, А.В.* Обоснование способов и эффективности повышения мощности энергоблоков АЭС с ВВЭР выше номинального уровня / А.В. Шутиков, В.А. Хрусталева // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2006. – № 4(20). – С. 32-39.

2. *Maintaining the design integrity of nuclear installations throughout their operating life.* INSAG-19. A report by the international nuclear safety advisory group. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1178_web.pdf (дата обращения: 04.04.2022).
3. Поваров, В.П. Некоторые аспекты повторного продления срока эксплуатации реакторной установки с ВВЭР-440 на примере энергоблока № 4 Нововоронежской АЭС / В.П. Поваров, А.И. Федоров, С.Л. Витковский // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2019. – № 2. – С. 91-104. DOI 10.26583/пре.2019.2.08
4. *СТО 1.1.1.01.002.0069-2017* Правила организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных станций. – URL : <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/4293739253.pdf> (дата обращения: 04.04.2022).
5. *СТ ЦКБА 008-2014* Арматура трубопроводная. Расчет и оценка надежности и безопасности на этапе проектирования. – URL : <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293762/4293762631.pdf> (дата обращения: 04.04.2022).
6. *СТО 1.1.1.02.002.1857-2021* «Техническое диагностирование электроприводной трубопроводной промышленной арматуры на энергоблоках атомных станций. – ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2021. – 60 с.
7. *Росэнергоатом: Первый в России проект по внедрению на АЭС системы предиктивной аналитики вышел на финишную прямую.* – URL : <https://www.rosenergoatom.ru/zhurnalstam/news/37790/> (дата обращения: 04.04.2022).
8. *Предиктивная аналитика и диагностика АЭС.* Библиотека технической диагностики атомных электростанций / Под ред. В.И. Павелко. – Москва : АО «НТИЦД», 2019. – 69 с.
9. Калинушкин, А.Е. Создание экспертных систем для ядерной энергетики / А.Е. Калинушкин, В.И. Митин, Ю.М. Семченков // Атомная техника за рубежом. – 1990. – № 7.
10. Трыков, Е.Л. Обнаружение аномалий в работе реакторного оборудования с помощью нейросетевых алгоритмов / Е.Л. Трыков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2020. – № 3. – С. 136-147.
11. Абидова, Е.А. Технологии анализа диагностических параметров электроприводной арматуры на действующих энергоблоках Нововоронежской АЭС / Е.А. Абидова, В.Н. Никифоров, О.Ю. Пугачева, М.Т. Слепов // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – № 4. – С. 16-22.
12. Матвеев, А.В. Комплексный подход к диагностированию электроприводной арматуры применительно к задачам управления ресурсом / А.В. Матвеев // Арматуростроение. – 2009. – № 2(59). – С. 53-59.
13. *НП-096-15* Требования к управлению ресурсом оборудования и трубопроводов атомных станций. Основные положения. – URL : <http://cntr-nrs.gosnadzor.ru/about/AKTS/НП-096-15.pdf> (дата обращения: 04.04.2022).
14. *РБ 024-19* Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для внутренних исходных событий». – URL : <https://docs.cntd.ru/document/560704037> (Дата обращения: 04.04.2022)
15. *ГОСТ Р МЭК 61165-2019* Надежность в технике. Применение марковских методов. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200167576> (дата обращения: 04.04.2022)
16. Слепов, М.Т. Диагностика ЭПА – опыт работы Нововоронежской АЭС / М.Т. Слепов, Н.П. Сысоев // Глобальная ядерная безопасность. – 2014 – № 2. – С. 79-85.
17. *МТ 1.2.3.02.999.0085-2010* Методика «Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры». – ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2010. – 140 с.
18. Адаменков, А.К. Диагностическое обеспечение перехода на техническое обслуживание и ремонт запорно-регулирующей арматуры АЭС по техническому состоянию : автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Специальность: 05.04.11 – Атомное реакторостроение, машины, агрегаты и технология материалов атомной промышленности. – Волгоград. – 2009. – 137 с.

REFERENCES

- [1] Shutikov A.V. Obosnovanie sposobov i effektivnosti povysheniya moshchnosti energoblokov AES s VVER vyshe nominal'nogo urovnya [Justification of methods and efficiency of increasing the capacity of power units of NPPs with WWER above the nominal level]. Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Saratov state technical university]. 2006. №4(20). P.32-39 (in Russian).
- [2] Maintaining the Design Integrity of Nuclear Installations throughout their Operating Life. INSAG-19. A report by the international nuclear safety advisory group. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1178_web.pdf (in English).

- [3] Povarov V.P. Nekotorye aspekty povtornogo prodleniya sroka ekspluatatsii reaktornoj ustanovki s VVER-440 na primere energobloka № 4 Novovoronezhskoj [Some aspects of re-extension of WWER-440 reactor unit No. 4 at Novovoronezh NPP]. *Izvestiya vuzov. Yadernaya eneregtika* [News of Higher Education Institutions. Nuclear Power Engineering]. 2019. №2. P.91-104 (in Russian). DOI 10.26583/npe.2019.2.08
- [4] STO 1.1.1.01.002.0069-2019 Pravila organizatsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sistem i oborudovaniya atomnyh stancij [STO 1.1.1.01.002.0069-2017 Rules of organization of maintenance and repair of systems and equipment of nuclear power plants]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/4293739253.pdf> (reference date: 04.04.2022) (in Russian).
- [5] ST CKBA 008-2014 Armatura truboprovodnaya. Raschet i ocenka nadezhnosti i bezopasnosti na etape proektirovaniya [ST CKBA 008-2014 Pipeline valves. Calculation and evaluation of reliability and safety at design stage]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293762/4293762631.pdf> (reference date: 04.04.2022) (in Russian).
- [6] STO 1.1.1.02.002.1857-2021 Tekhnicheskoe diagnostirovanie elektroprivodnoj truboprovodnoj promyshlennoj armatury na energobloках atomnyh stancij [STO 1.1.1.02.002.1857-2021 Technical diagnostics of electric pipeline industrial valves on power units of nuclear power plants]. Rosenergoatom Concern OJSC. Moscow, 2021. 60 p. (in Russian).
- [7] Rosenergoatom: Pervyj v Rossii proekt po vnedreniyu na AES sistemy prediktivnoj analitiki vyshel na finishnyuyu pryamuyu [Rosenergoatom: Russia's first project to introduce a predictive analytics system at NPPs has reached the finish line]. URL: <https://www.rosenergoatom.ru/zhurnalislam/news/37790/> (reference date: 04.04.2022) (in Russian).
- [8] Prediktivnaya analitika i diagnostika AES. Biblioteka tekhnicheskoy diagnostiki atomnyh elektrostancij [Predictive Analytics and Nuclear Power Plant Diagnostics. Technical Diagnostics Library for Nuclear Power Plants]. Moscow: JSC «NTCD». 2019. 69 p. (in Russian).
- [9] Kalinushkin A.E., Mitin V.I., Semchenkov Yu.M. Sozdanie ekspertnyh sistem dlya yadernoj energetiki [Building Expert Systems for Nuclear Power]. *Atomnaya tekhnika za rubezhom* [Nuclear Technology Abroad]. 1990. №7 (in Russian).
- [10] Trykov E.L. i dr. Obnaruzhenie anomalij v rabote reaktornogo oborudovaniya s pomoshch'yu nejrosetevyh algoritmov [Reactor Equipment Anomaly Detection Using Neural Network Algorithms]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Yadernaya energetika* [News of Higher Education Institutions. Nuclear Power Engineering]. 2020. №3. P.136-147 (in Russian).
- [11] Abidova E.A. Tekhnologii analiza diagnosticheskikh parametrov elektroprivodnoj armatury na deystvuyushchih energobloках Novovoronezhskoj AES [Technologies for Analysis of Diagnostic Parameters of Electric Actuator Valves at Operating Power Units of Novovoronezh NPP]. *Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya* [Electrical Complexes and Control Systems]. 2014. №4. P. 16-22 (in Russian).
- [12] Matveev A.V., Zhidkov S.V., Adamenkov A.K., Galivec E.Yu., Usanov D.A. «Kompleksnyj podhod k diagnostirovaniyu elektroprivodnoj armatury primenitel'no k zadacham upravleniya resursom» [An Integrated Approach to Diagnostics of Electric Actuated Valves as Applied to Service Life Management Tasks]. *Armaturostroenie* [Armature Construction]. 2009. №2(59). P. 53-59 (in Russian).
- [13] NP-096-15 Trebovaniya k upravleniyu resursom oborudovaniya i truboprovodov atomnyh stancij. Osnovnye polozheniya [NP-096-15 Requirements for Lifetime Management of Equipment and Pipelines of Nuclear Power Plants. General provisions]. URL : <http://cntr-nrs.gosnadzor.ru/about/AKTS/HII-096-15.pdf> (reference date: 04.04.2022) (in Russian).
- [14] RB 024-19 Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoj energii «Rekomendatsii po razrabotke veroyatnostnogo analiza bezopasnosti urovnya 1 bloka atomnoj stancii dlya vnutrennih iskhodnyh sobytij» [RB 024-19 Guidance on Safety in the Use of Atomic Energy «Recommendations for the Development of a Probabilistic Safety Analysis of Level 1 Unit of a Nuclear Power Plant for Internal Baseline Events»]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/560704037> (reference date: 04.04.2022) (in Russian).
- [15] GOST R MEK 61165-2019 Nadezhnost' v tekhnike. Primenenie markovskih metodov [IEC 61165:2006, Application of Markov techniques, IDT]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200167576> (reference date: 04.04.2022) (in Russian).
- [16] Slepov M.T., Sysoev N.P. Diagnostika EPA – opyt raboty Novovoronezhskoj AES. [EPA Diagnostics - Novovoronezh NPP's Experience]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2014. №2. P.79-85 (in Russian).
- [17] MT 1.2.3.02.999.0085-2010 Metodika «Diagnostirovanie truboprovodnoj elektroprivodnoj armatury» [MT 1.2.3.02.999.0085-2010 Methodology «Diagnosis of Pipeline Electric Actuated Valves»]. Rosenergoatom Concern OJSC. Moscow, 2010. 140 p. (in Russian).

- [18] Adamenkov A.K. Diagnosticheskoe obespechenie perekhoda na tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont zaporno-reguliruyushchej armatury AES po tekhnicheskomu sostoyaniyu [Diagnostic Support for the Transition to Maintenance and Repair of NPP shut-off and control valves by technical condition]. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchyonoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Thesis Abstract of PhD in Engineering. Speciality: 05.04.11 - Nuclear Reactor Engineering, Machines, Units and Material Technology of Nuclear Industry]. Volgodonsk, 2009. 137 p. (in Russian).

Prerequisites for the Implementation of a Risk-Oriented MRO Strategy for NPP Valves

**Alexander A. Lapkis¹, Viktor N. Nikiforov, Prokhor V. Povarov,
Maxim V. Kalashnikov, Elena S. Arsentieva**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
¹AALapkis@mephi.ru, ORCID ID: 0000-0002-9431-7046*

Received by the editorial office on 24/03/2022

After revision on 28/04/2022

Accepted for publication on 15/05/2022

Abstract. The paper considers the relevance and possibility of developing methodological foundations for risk-oriented strategy of nuclear power plant equipment MRO on the example of pipeline valves. The pre-design study of the information system implementing these fundamentals is described.

Keywords: valves, electric drive, defect, repair, MRO, risk-oriented, reliability, Markov chains.

For citation: Lapkis A.A., Nikiforov V.N., Povarov P.V., Kalashnikov M.V., Arsentieva E.S. Prerequisites for the introduction of a risk-oriented strategy of MRO of NPP Valves // Global nuclear safety. 2022. Vol. 2(43). P. 55-67. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-06>

**КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ И
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**
SAFETY CULTURE AND SOCIO-ECONOMIC ASPECTS
DEVELOPMENT OF PLACEMENT TERRITORIES
NUCLEAR INDUSTRY FACILITIES

УДК 338.24 : 351.862.6
doi: 10.26583/gns-2022-02-07

**РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В КОНТЕКСТЕ ЦЕЛЕЙ
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

© 2022 Головки Мария Владимировна^{1,2}, Сетраков Александр Николаевич³,
Томилини Сергей Алексеевич⁴

¹Негосударственное аккредитованное некоммерческое частное образовательное учреждение высшего образования «Академия маркетинга и социально-информационных технологий – ИМСИТ», Краснодар,

²Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

³Волгодонский филиал ФГКОУ ВО «Ростовский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

⁴Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

^{1,2}golovko178@mail.ru, ORC <http://orcid.org/ID iD: 0000-0002-4835-9800>

³aleksandr-maior@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5599-440X>

⁴SATomilin@mephi.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8661-8386>

Аннотация. В статье проанализированы современные особенности развития ветроэнергетики в России. Определено значение возобновляемых источников энергии для решения проблем ограниченности ресурсов и экологической безопасности. Приведены некоторые экономические аспекты ветроэнергетики и сделан вывод о недостаточной эффективности и инвестиционной привлекательности данного сектора энергогенерации. Рассмотрено положительное воздействие ветроэнергетики в контексте реализации целей устойчивого развития. Выявлено значение территориальных технологических кластеров для преодоления барьеров развития ветроэнергетики, среди которых доминируют финансовые и нормативно-правовые факторы. Приведен пример целей и планируемых результатов развития ветроэнергетики в г. Волгодонске Ростовской области.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, экономическая эффективность, цели устойчивого развития, барьеры развития.

Для цитирования: Головки М.В., Сетраков А.Н., Томилини С.А. Развитие ветроэнергетики в контексте целей устойчивого развития // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 2(43). – С. 68-78. – <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-07>

Поступила в редакцию 20.02.2022

После доработки 01.04. 2022

Принята к публикации 11.04.2022

Введение

Актуальность вопросов устойчивого развития обусловлена длительным глобальным развитием экономики, ориентированным исключительно на получение экономического эффекта безотносительно к последствиям, находящим свое отражение за пределами экономических результатов. Это экологические проблемы, неравенство в социальной сфере и другие, приводящие к системным кризисам, обострение которых существенным образом подрывает основы экономического развития предприятий и

стран. При этом проблема безграничности потребностей и ограниченности природных ресурсов в совокупности с бесконтрольным их использованием поднималась еще древнегреческими философами и легла в основу различных направлений современной экономической теории. Однако переход от теоретических положений к разработке практических инструментов ее преодоления наметился в 70-х гг. XX века, когда Римским клубом был опубликован доклад «Пределы роста», содержащий результаты моделирования сценариев развития, в том числе, включающих крайне пессимистичные, описывающие последствия снижения численности населения в силу избыточного роста потребления. Создание в 1972 г. Программы Организации Объединенных Наций (ООН) по защите окружающей среды стало отправной точкой для обсуждения экологических проблем на международном уровне. В 1983 г. было утверждено понятие устойчивого развития как комплекс мер, направленных на удовлетворение текущих потребностей человечества при сохранении окружающей среды и ресурсов, без ущерба для будущих поколений. В принятой ООН в 2015 г. повестке в области устойчивого развития до 2030 г. были сформулированы 17 целей, достижение которых общими усилиями правительств всех стран позволит обеспечить благополучие человечества при максимально возможном сохранении ресурсов планеты. Реализация указанных целей предполагает использование различных механизмов и инструментов защиты окружающей среды, в частности, развитие альтернативной энергетики, на чем и будет сделан акцент в данной статье. Авторская позиция основывается на том, что доступность энергоресурсов при их разнообразии лежит в основе достижения экономической и социальной эффективности жизнедеятельности населения всех стран.

Материалы и методы

В рамках исследований процессов и результатов достижения целей устойчивого развития были использованы материалы, размещенные на официальных сайтах ведущих международных и российских организаций и содержащие статистические обзоры результатов и анализ основных трендов в сфере обеспечения устойчивого развития, а также научные публикации, посвященные анализу и критике современных тенденций по рассматриваемой тематике. Экономические аспекты развития ветроэнергетики, в отличие от технико-технологических особенностей, еще недостаточно отражены в российской научной периодике, т.к. это направление относительно новое и ветроэнергетика занимает незначительную долю в общем объеме энергогенерации страны. Поэтому основными информационными источниками здесь выступают статистические данные, программные документы органов власти и аналитические обзоры экспертов, размещенные в открытом доступе в сети Интернет [1-6].

Особый интерес среди исследовательского сообщества вызывают вопросы финансирования инвестиционных проектов в сфере ветроэнергетики. Так, ряд авторов рассматривают механизмы государственно-частного партнерства, различные формы привлечения инвестиций, в том числе с использованием государственных фондов, анализируют зарубежные успешные кейсы, классифицируют финансовые риски и барьеры, и делают выводы о возможности бенчмаркинга в российской практике. Ниже приведем некоторые из них.

Так, в частности, Т.Седаш рассматривает меры экономической поддержки возобновляемых источников энергии, которые получили название в западной практике как «feed-in policy» или льготная политика. Это означает обеспечение хозяйствующим субъектам свободного доступа на рынок электроэнергии, отсутствие дискриминации при льготном присоединении к электросетям, субсидирование производителей, грантовая поддержка, освобождение от уплаты экологических налогов, льготные кредиты, введение энергетических тарифов. Одной из рассматриваемых

исследователем мер поддержки является выдача «зеленых сертификатов». Это технический инструмент предоставления прав собственности на экологические, социальные и другие неэнергетические атрибуты воспроизводства энергетических ресурсов из возобновляемых источников. Фактически, он означает, что хозяйствующий субъект произвел электроэнергию из чистых, «зеленых» источников [7].

В настоящее время Министерство энергетики Российской Федерации доработало законопроект о данной форме поддержки [8], а Постановлением Правительства РФ от 21 сентября 2021 года №1587 были утверждены критерии поддержки «зеленых проектов» и инициативных решений в контексте целей устойчивого [9].

Г. Гуров рассматривает ветроэнергетику как один из элементов нового технологического уклада, делая обоснованные выводы о барьерах, формируемых неэффективными экономическими механизмами управления, не учитывающими должным образом экологическую проблему истощения невозобновляемых ресурсов [10, 11].

С. Ратнером проанализированы схемы финансирования проектов по ветроэнергетике с применением международных механизмов, предусмотренных Киотским протоколом и определены проблемы и перспективы их использования для отечественных предприятий и их кластеров [12, 13].

Результаты

Устойчивое развитие трактуется в триединстве глобальных целей – достижение экономического роста, высокий уровень социальной ответственности и экологическая безопасность. В программном документе ООН «Повестка дня в области устойчивого развития», принятого в 2015 г., сформулировано 17 целей устойчивого развития (ЦУР), которые обладают разной актуальностью для разных стран, но разработка мероприятий по их достижению является основой для обеспечения национальной безопасности каждой из них, что должно позволить повысить качество жизни всего населения, включая будущие поколения.

Развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является одним из эффективных инструментов реализации ЦУР, как в области экологии, так и в области социально-экономического развития. Понятие возобновляемых источников энергии впервые было приведено в резолюции Генеральной Ассамблеи ООН почти тридцать лет назад, которое включало такие формы энергии, как солнечная, геотермальная, ветровая, энергия приливов, энергия биомассы древесины и проч.

Преимуществами возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ), определяющими повышенный интерес к ним в последнее время, являются следующие:

- неисчерпаемость источников;
- широкое распространение большинства возобновляемых источников;
- отсутствие затрат топлива;
- экологичность, отсутствие вредных выбросов.

Энергия ветра относится к механическому виду возобновляемых источников, ее качество по показателю коэффициента полезного действия, определяющего долю энергии источника, которая может быть превращена в механическую работу, оценивается в пределах значения 0,3-0,4.

Оценку энергетического потенциала ветроэнергетики можно проводить по направлениям, показанным на рисунке 1. Важнейшим структурным элементом является экономический потенциал, поскольку он позволяет определить целесообразность и масштабы применения любого возобновляемого источника энергии, а также зависит от сложившейся рыночной конъюнктуры.

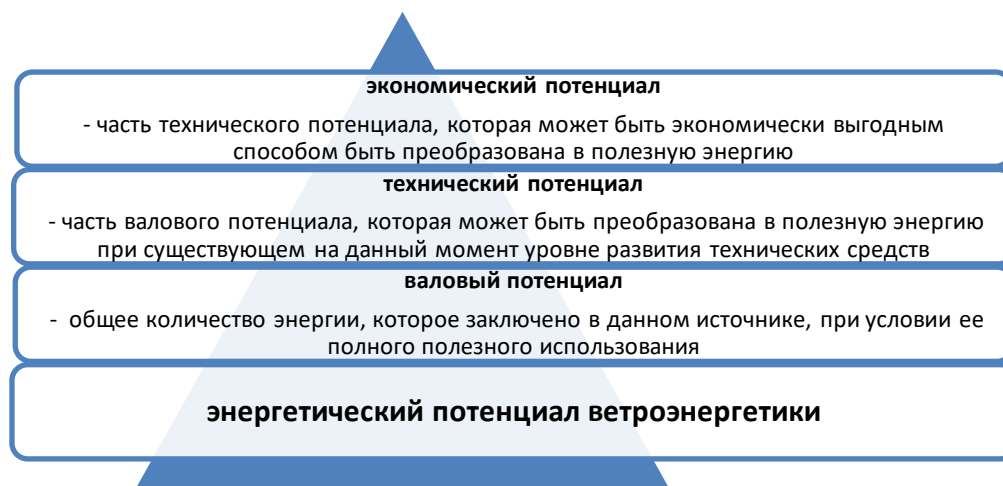


Рисунок 1 – Структура энергетического потенциала ветроэнергетики [составлено автором] [Structure of wind power energy potential] [compiled by the author]

Развитие ветроэнергетики прямо соответствует двум целям устойчивого развития (о косвенном влиянии будет сказано ниже):

- цель 7 – обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех;
- цель 13 – принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями.

По оценкам экспертов, в 2019 г. зарегистрирован рекордный уровень углекислого газа и других парниковых газов в атмосфере, приводящие к изменениям климата и оказывающие деструктивное воздействие на экономику стран и жизнедеятельность населения. Сегодня значительное количество стран идут по пути радикального сокращения выбросов CO₂, в частности снижая объемы инвестирования в разработку месторождений и добычу ископаемых видов топлива, стимулируя применения технологий в сфере возобновляемых источников энергии и развития безуглеродных технологий. Многие страны Евросоюза определили на национальном уровне стратегическую цель к 2050 г. – достичь стопроцентной климатической нейтральности. Для этого планируются инвестиции в объеме 1-2% от валового внутреннего продукта в «зеленую экономику», базис которой будут составлять ВИЭ и релевантные технологии «зеленого» водорода.

Использование ВИЭ в этом случае станет одним из инструментов преодоления указанной проблемы.

Оценка экономической эффективности ветроэнергетики является достаточно проблематичной, т.к. она зависит от ряда факторов, как контролируемых (стоимость ветроустановки (ВЭУ), так и не поддающихся контролю и регуляции (скорость ветра и стоимость электроэнергии, получаемой из традиционных источников, которую замещает ВЭУ). Экономическая эффективность ВЭУ, по оценкам экспертов, может быть достигнута в случае, когда срок эксплуатации оборудования больше срока окупаемости, но на сегодняшний день эти требования не выполняются:

$$\Delta_{\text{эф}} = nQT_{\text{сл}}(T_{\text{сл}} - T_{\text{ок}}) \times (E_{\text{ст}} - I_{\text{экс}}) \times (C_n - C_t),$$

где n – число ВЭУ в составе ветроэнергетической системы;

Q – годовой дефицит электроэнергии в регионе, кВт ч/год;

$Ст$ – удельная стоимость производства электроэнергии от ТИЭ (региональный тариф), руб./кВт ч;

$E=NT$ – электроэнергия, вырабатываемая ВЭУ в год, кВт ч/год;

$I_{\text{экс}} = yK$ – издержки эксплуатации, руб.;

К – капитальные затраты (общая стоимость ВЭУ), руб.

Тсл – срок службы установки, лет;

Ток – период окупаемости, лет [14].

Анализ данных по времени окупаемости показал, что экономическая целесообразность использования ВЭУ будет достигнута в случае, когда срок службы установки будет больше либо равен периоду окупаемости проекта ($T_{сл} \geq T_{ок}$).

Активный прирост мощности ВИЭ в мире обусловлен не экономическим фактором, а, скорее, экологическим. При этом во многих странах происходит выравнивание стоимости энергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками и традиционными, т.к. ужесточаются требования к экологической безопасности эксплуатации последних, особенно, работающих на угольном топливе.

В то же время можно отметить не столько непосредственно экономическую эффективность ветроэнергетики, сколько экономический фактор, обуславливающий стратегический для России приоритет ее развития. Так, в частности, развивающийся в мире углеродный протекционизм существенным образом снизит доходы экспортоориентированных предприятий в силу углеродоемкости российского экспорта, которая превышает аналогичный показатель других стран (рис. 2). По оценкам экспертов, эта цифра может достичь 3,6 млрд. евро ежегодно. В этих условиях развитие ВИЭ, в частности, ветроэнергетики, могут стать ответом на указанный вызов.

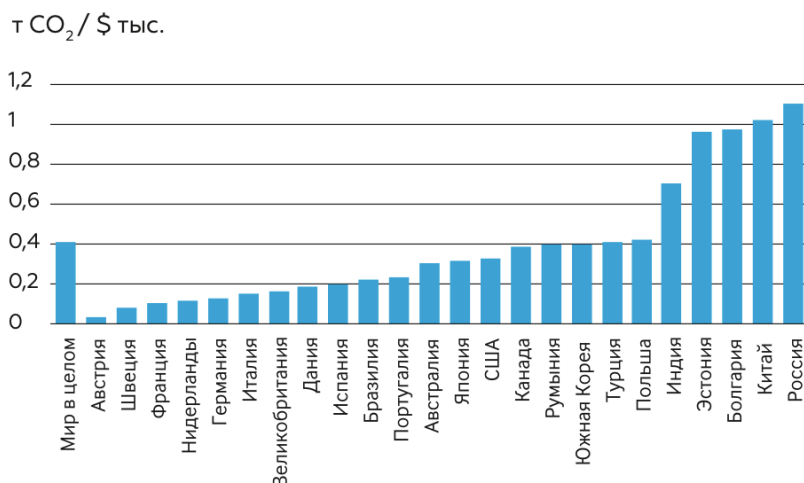


Рисунок 2 – Углеродоемкость экспорта по странам мира по оценкам Московской школы управления «СКОЛКОВО» [Carbon intensity of exports by countries, as estimated by the Moscow School of Management SKOLKOVO] [15]

Создание ветроэнергетических объектов на различных территориях способствует реализации косвенных целей. Например, цели 9 – формирование современной и инновационной инфраструктуры, эффективная индустриализация, позволяющие создавать и развивать конкурентные активы хозяйствующих субъектов, стимулируя тем самым рост занятости и доходов населения. Научно-технический прогресс и инновационные разработки как его результаты, являются приоритетным инструментом в подготовке стратегических решений не только в сфере экономики, но и экологии, направленных на повышение экономической и энергетической эффективности. Отметим, что, в случае отсутствия отечественных технологий энергомашиностроения для ветроэнергетики, будет закреплена зависимость от импорта технологий, что создаст дополнительные угрозы экономической безопасности государства. Именно поэтому крайне важным является обеспечение импортозамещения в данном сегменте промышленности.

Развитие новых технологий в сфере возобновляемых источников энергии создает дополнительные возможности для инноваций в сопредельных сферах производства и обслуживания – мультипликационный эффект результатов инновационной деятельности. Это, в свою очередь, обеспечивает конкурентоспособность государства на международном уровне и базис его экономической безопасности.

Реализация цели 9, в свою очередь, дает возможность достичь цели 11 – обеспечение открытости, безопасности, экологической устойчивости городов и населенных пунктов, сделав их центрами экономического роста при сохранении должного уровня экологической безопасности.

Решение задач в рамках целей 7, 9 и 11 сформирует предпосылки для достижения цели 8 – содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех.

В таблице 1 представлены планируемые результаты развития ветроэнергетики на локальной территории г. Волгодонска и, в целом, Ростовской области, в контексте целей устойчивого развития.

Таблица 1 – Цели и планируемые результаты развития ветроэнергетики в г. Волгодонск Ростовской области [Objectives and planned results of wind energy development in Volgodonsk, Rostov region]

ЦУР	Содержание цели	Результаты развития ветроэнергетики на территории г. Волгодонска	Результаты развития ветроэнергетики в рамках ЦУР
Цель 7	Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех	✓ В 2020 году запущена работа шести ВЭУ Фонда развития ветроэнергетики на территории Ростовской области на следующих ветроэлектростанциях: - Сулинская ВЭС мощностью 100 МВт; - Каменская ВЭС мощностью 100 МВт; - Гуковская ВЭС мощностью 100 МВт; - Казачья ВЭС, 50 МВт.	- интеграция в энергетическую систему более дешевых и экологически чистых источников энергии, рост энергетического потенциала города и области; - увеличение заказов производственных предприятий за счет производства нового оборудования для ВЭУ; - создание новых рабочих мест как на предприятиях-объектах ВЭ, так и на производственных и обслуживающих; - рост числа абитуриентов отраслевого вуза и рост спроса на курсы повышения квалификации и переподготовку; - повышение привлекательности города для молодежи за счет развития перспективных технологий и роста возможностей трудоустройства; - рост численности населения; - рост инновационного потенциала территории, выполнение НИОКР специалистами НИИ «Атомного энергетического машиностроения»
Цель 8	Содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех	✓ В рамках дивизиона АО «НоваВинд» локализовано производство статора генератора, ротора и главного подшипника ветроэнергетической установки, генератора, ступицы и гондолы.	
Цель 9	Создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям	✓ Создано 254 рабочих места, мощность производства составляет 96 ВЭУ в год. ✓ Возможно производство ветроэнергетических установок мощностью 2,5 и 4 МВт.	
Цель 11	Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов	✓ ООО «Ветро СтройДеталь» в г. Волгодонске Ростовской области производит модульные стальные башни для ВЭУ АО «НоваВинд», в рамках данного проекта создано около 50 рабочих мест.	
Цель 13		✓ Степень локализации оборудования ВЭУ, подтвержденная Министерством промышленности и торговли России, по состоянию на начало 2021 года составляет более 65%.	

Следует отметить, что в качестве примера выбрана территория г. Волгодонска Ростовской области в силу того, что обладает рядом преимуществ, достаточно подробно рассмотренных в [16, 17]:

– город является уникальным с точки зрения сосредоточения на его территории филиалов предприятий четырех дивизионов ГК «Росатом» – электроэнергетический (Ростовская АЭС), машиностроительный (Атоммаш), инжиниринговый (Атомстройэкспорт), ветроэнергетический (АО НоваВинд);

– на территории города расположен филиал ФГОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», осуществляющий подготовку кадров для указанных предприятий.

Как показывает мировой опыт, эффективность развития ВИЭ зависит от наличия в государстве (и, следовательно, с необходимой регионализацией) технологического кластера, объединяющего генерацию энергии, производство, научно-исследовательский сектор и образование. Следовательно, все ключевые критерии присутствуют на рассматриваемой территории муниципального образования, что является фактором успеха, хоть и локальным (рис. 3). Это позволяет достичь целей устойчивого развития в пределах территории города, указанных в таблице 1.

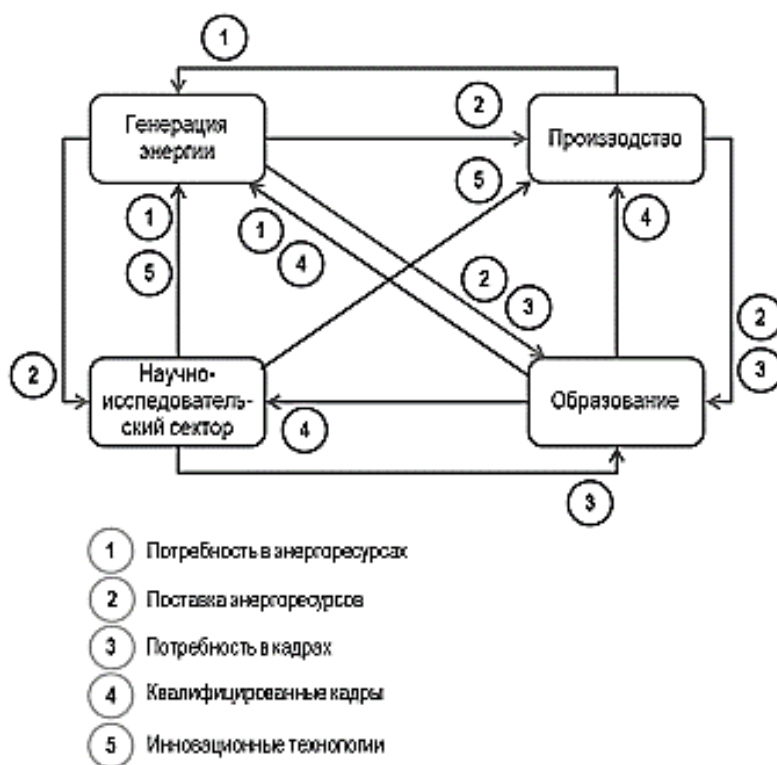


Рисунок 3 – Пример структуры технологического кластера в г. Волгодонске [составлено автором]
 [Example of a technology cluster structure in Volgogradsk [compiled by the author]]

Общероссийские результаты реализации второго этапа программы поддержки ВИЭ прогнозируются к 2035 году на следующем уровне (рис. 4):

- прирост рабочих мест – свыше 12 000;
- налоговые поступления от ВИЭ – 310 млрд.руб.;
- ежегодный прирост ВВП от ВИЭ на 0,11%;
- каждый рубль, направленный участниками оптового рынка электроэнергии на возврат инвестиций в проекты ВИЭ, принесет 3,6 рубля прироста ВВП;
- привлечение в НИОКР более 15 млрд. руб.;
- создание условий для ежегодного роста экспортной выручки на 8 млрд. руб.

ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ	Ед. изм	ДПМ ВИЭ 1.0 5,5 ГВт до 2040 г.	ДПМ ВИЭ 2.0 >7 ГВт до 2050 г.
Стоимость программы ДПМ ВИЭ (в номинальных ценах)	трлн руб.	1,8	1,4
Итого установленная мощность ВИЭ (СЭС/ВЭС)*	ГВт	5,5 ГВт (0,3% от мирового объема 2025 года)	>12,5 ГВт (0,4% от мирового объема 2035 года)
Доля ВИЭ в конечной цене электроэнергии в году пикового платежа	%	3,5%	2,1%
Инвестиции в производство	млрд руб.	40	до 50 млрд руб.
Инвестиции в генерацию	млрд руб.	633	540
Объем экспорта	млрд руб.	до 25 млрд руб. к 2024 г.	до 200
Совокупный прирост ВВП	млрд руб.	1010 к 2024 г.	1320 к 2035 г.
Среднегодовой прирост ВВП	%	0,09%	0,11%
Мультипликатор ВВП	X	2,21	2,94
Налоговые поступления	млрд руб.	350 до 2035 г.	312 до 2035 г.
Создание рабочих мест в отрасли (без учета косвенных рабочих мест в смежных отраслях)	чел.	11000	12000 (итого 23000 рабочих мест)
Итоговое ежегодное снижение выбросов CO ₂	млн т экв.	6,3 (0,2% от всех выбросов в РФ 2018 г.)	14,3 (0,45% от всех выбросов в РФ 2018 г.)

Рисунок 4 – Пример структуры технологического кластера в г. Волгодонске [Example of a technology cluster structure in Volgodonsk] [18]

Для поступательного развития ветроэнергетики необходимо проводить мониторинг сдерживающих факторов с целью выбора приоритетов воздействия. Так, в частности, по результатам проведенного электронного анкетирования и интервью, экспертами были определены ряд следующие факторов (таблица 2). Экспертам были заданы вопросы: В1 – считаете ли вы этот фактор барьером? В2 – сталкивались ли вы с данным фактором-барьером в вашей проектной деятельности? В3 – оценка значимости фактора-барьера (среднеарифметическое от 1- абсолютно не важен, до 5 – очень важен, факторы классифицируются на финансовые (Ф), нормативно-правовые (Н), инфраструктурные и сетевые (ИС).

Таблица 2 – Экспертная оценка барьеров развития ветроэнергетики [Expert assessment of barriers of wind energy development] [19]

Тип	Факторы	В1		В2		В3
		Да	Нет	Да	Нет	
Ф	Недостаток инвестиций	8	5	7	6	4,3
Ф	Макроэкономическая ситуация в стране	10	3	8	5	4,2
Ф	Механизм установки тарифов при покупке электроэнергии	7	6	4	9	3,7
Н	Отсутствие координации с другими участниками рынка (университетами, банками, компаниями-производителями)	5	8	7	6	3,4
Ф	Нестабильность курса валют	6	7	7	6	3,3
Н	Недостаток государственных стандартов в отрасли	3	10	4	9	3,3
ИС	Сложность подключения к сети	5	8	5	8	3,3
Н	Отсутствие координации между государством и проектными агентствами	6	7	6	7	3,2
Н	Сложность при получении земли под проекты или при проведении конкурсных отборов	5	8	4	9	3,2
Н	Высокая степень локализации	1	12	3	10	3
ИС	Влияние на устойчивость энергосистемы	2	11	4	9	2,8
Н	Доступность данных о ветровых ресурсах	2	11	2	11	2,5
Ф	Слабая господдержка проектов	10	3	7	6	4,5
ИС	Инфраструктура (в т.ч. транспортная доступность)	9	4	8	5	3,8
ИС	Отсутствие оборудования, адаптированного к использованию в данных регионах	6	7	7	6	3,7
ИС	Доступность квалифицированного персонала	5	8	6	7	3,6
Н	Сложности взаимодействия с органами местного самоуправления	6	7	3	10	3,4
Ф	Перекрестное субсидирование	2	11	2	11	2,9
-	Отсутствие методик оценки эффективности проектов ВИЭ	3	10	2	11	2,8
Ф	Сложная система налогообложения в регионах	3	10	1	12	2,6
-	Социальные факторы (культура, организация жизни в поселках)	3	10	3	10	2,5
-	Изобилие природных ресурсов в регионе (нефть, газ, уголь)	1	12	1	12	2,1

В данной таблице факторы проранжированы по степени их важности – от наиболее важных, к наименее важным. Таким образом, получаем перечень приоритетов

для принятия целенаправленных стратегических решений по преодолению барьеров развития ветроэнергетики. Как видно из представленной таблицы, финансовые факторы доминируют в перечне барьеров – это недостаток инвестиций, макроэкономическая нестабильность в целом, а также механизмы формирования тарифов при закупке электроэнергии. Определенные мероприятия в этом направлении уже запланированы и проводятся, как было отмечено выше, однако, на данный момент, не являются достаточными для исправления ситуации. На четвертом месте экспертами обозначен фактор недостаточной (местами полного отсутствия) координации между всеми стейкхолдерами глобального проекта по развитию ветроэнергетики. Нормативно-правовая база еще не окончательно сформирована, что, с одной стороны, можно назвать объективным фактором в краткосрочном периоде, но необходимо осознавать, что он является, наряду с финансовым, базисом для эффективной реализации любых проектов. Производственный потенциал национальной экономики также недостаточно адаптирован к новым задачам – это касается и материально – технической базы, и кадрового обеспечения предприятий сферы ветроэнергетики.

Выводы и рекомендации

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Развитие ветроэнергетики наряду с другими возобновляемыми источниками энергии является неизбежным и необходимым трендом развития «зеленой» экономики всех стран. Существующие национальные барьеры данного стратегического российского государства проекта достаточно серьезны и требуют незамедлительного решения при участии всех заинтересованных сторон – и государства, и хозяйствующих субъектов, и научно-образовательных организаций. Также проблема развития ветроэнергетики требует проведения дальнейших исследований в рамках междисциплинарного подхода, что позволит при оценке эффективности учитывать все составляющие – и техническую, и экономическую, и социальную.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Hussain, Mustafa Zakir*. Financing renewable energy options for developing financing instruments using public funds / Mustafa Zakir Hussain // The World Bank. – 2013. – URL : <http://documents.worldbank.org/curated/en/196071468331818432/Financing-renewable-energy-options-for-developing-financing-instruments-using-public-funds> (дата обращения: 01.12.2018).
2. *Cedrick, B.Z.E.* Investment Motivation in Renewable Energy: A PPP Approach / Bindzi Zogo Emmanuel Cedrick, Pr. Wei Long // Energy Procedia. – 2017. – Vol. 115. – P. 229–238. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.021.
3. *Gatzert, N.* Risks and risk management of renewable energy projects: The case of onshore and offshore wind parks / N. Gatzert, Th. Kosub // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 60. – P. 982–998. DOI: 10.1016/j.rser.2016.01.103.
4. *Ho, Andrew*. The European offshore wind industry / Andrew Ho, Ariola Mbistrova. – Wind Europe Business Intelligence, 2016.
5. *Kitzing, Lena*. Auctions for Renewable Energy Support in Denmark: Instruments and Lessons Learnt / Lena Kitzing, Paul Wendring // Report D4.1-a, December 2015.
6. *Kozlova, Mariia*. Modeling the effects of the new Russian capacity mechanism on renewable energy investments / Mariia Kozlova, Mikael Collan // Energy Policy. – 2016. – Vol. 95. – P. 320–360. DOI:10.1016/j.enpol.2016.05.014
7. *Седаш, Т.Н.* Возобновляемые источники энергии: стимулирование инвестиций в России и за рубежом / Т.Н. Седаш // Российский внешнеэкономический вестник. – 2016. – №. 4. – С. 94–97.
8. *Минэнерго доработало законопроект о «зелёных» сертификатах* [Электронный ресурс]. – URL : <https://minenergo.gov.ru/node/22256>.
9. *Правительство утвердило критерии зелёного финансирования* [Электронный ресурс]. – URL : <http://government.ru/docs/43320/>.
10. *Гуров, Г.А.* Финансирование проектов альтернативной энергетики, как приоритетного направления в векторе инноваций / Г.А. Гуров // Вестник университета: Теоретический и научно-методический журнал. – Москва : Государственный университет управления. – 2009. – Вып. 12.

11. Гуров, В.И. Новые возможности ветроагрегатных систем / В.И. Гуров, Т.Д. Каримбаев, А.Б. Шабаров // Энергия: экон., техн., экол. – 2010. – № 5. – С. 32-35.
12. Ратнер, Р. Финансирование проектов в области альтернативной энергетики и энергоэффективности: международный опыт и российские реалии / Р. Ратнер // Финансовая система. – 2013. – № 24(552). – С. 12-18.
13. Ратнер, С.В. Стандартизация и сертификация как инструменты стимулирования развития ветроэнергетики в Китае / С.В. Ратнер // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – № 9. – С. 57-64.
14. Шмырев, Е.М. Некоторые аспекты энергосбережения в системах централизованного теплоснабжения / Е.М. Шмырев, Л.Д. Сатанов // Энергетик. – 1998. – № 9. – С. 65-74.
15. ВИЭ в России: первый шаг сделан, что дальше? [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.forbes.ru/partnerskie-materialy/410301-vie-v-rossii-pervyy-shag-sdelan-chto-dalshe>.
16. Руденко, В.А. Синхронизация задач отраслевых вузов со стратегией развития гк «росатом» как фактор обеспечения безопасности атомной энергетики / В.А. Руденко, М.В. Головкин, С.А. Томилин, О.Ф. Цуверкалова // Глобальная ядерная безопасность. – 2020. – № 1. – С. 98-106.
17. Головкин, М.В. Формирование реляционной стратегии как фактор экономической безопасности предприятий атомной отрасли (на примере машиностроительных предприятий г. Волгодонска) / М.В. Головкин, Ж.С. Рогачева, А.В. Анцибор, А.Н. Сетраков // Глобальная ядерная безопасность. – 2020. – № 3. – С. 104-110.
18. Прогноз развития ВИЭ в России до 2050 года [Электронный ресурс]. – URL : https://www.iep.ru/files/Nauchnyy_vestnik.ru/9-2019/40-47.pdf.
19. Перспективы ветроэнергетического рынка в России [Электронный ресурс]. – URL : <https://wwindea.org/wp-content/uploads/2017/06/170612-FES-Windenergie-rus-print.pdf>.

REFERENCES

- [1] Hussain Mustafa Zakir. Financing renewable energy options for developing financing instruments using public funds / Mustafa Zakir Hussain // The World Bank. – 2013. – URL : <http://documents.worldbank.org/curated/en/196071468331818432/Financing-renewable-energy-options-for-developing-financing-instruments-using-public-funds>. – 01.12.2018 (in English).
- [2] Cedrick B.Z.E. Investment Motivation in Renewable Energy: A PPP Approach / Bindzi Zogo Emmanuel Cedrick, Pr. Wei Long // Energy Procedia. – 2017. – Vol. 115. – P. 229-238 (in English). – DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.021
- [3] Gatzert N. Risks and risk management of renewable energy projects: The case of onshore and offshore wind parks / N. Gatzert, Th. Kosub // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 60. – P. 982-998 (in English). – DOI: 10.1016/j.rser.2016.01.103
- [4] Ho Andrew. The European offshore wind industry / Andrew Ho, Ariola Mbistrova. – Wind Europe Business Intelligence, 2016 (in English).
- [5] Kitzing Lena. Auctions for Renewable Energy Support in Denmark: Instruments and Lessons Learnt / Lena Kitzing, Paul Wendring // Report D4.1-a, December 2015 (in English).
- [6] Kozlova, Mariia. Modeling the effects of the new Russian capacity mechanism on renewable energy investments / Mariia Kozlova, Mikael Collan // Energy Policy. – 2016. – Vol. 95. – P. 320-360 (in English). – DOI:10.1016/j.enpol.2016.05.014
- [7] Sedash T.N. Vozobnovlyаемые источники энергии: стимулирование инвестиций в России и за рубежом x Renewable Energy Sources: Investment Promotion in Russia and Abroad]. Rossijskij vneshneekonomicheskij vestnik [Russian Foreign Trade Bulletin]. 2016. №. 4. P. 94-97. (in Russian).
- [8] Minenergo dorabotalo zakonproekt o «zelyonyh» sertifikatakh [Ministry of Energy Finalises the Bill on Green Certificates]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/22256> (in Russian). Pravitel'stvo utverdilo kriterii zelyonogo finansirovaniya [Government Approves Green Finance Criteria]. URL : <http://government.ru/docs/43320/> (in Russian).
- [9] Gurov G.A. Finansirovanie projektov al'ternativnoj energetiki, kak prioritetnogo napravleniya v vektore innovacij [Financing Alternative Energy Projects as a Priority in the Innovation Vector]. Vestnik universiteta: Teoreticheskij i nauchno-metodicheskij zhurnal [University Bulletin: Theoretical and Scientific-Methodological Journal]. Moskva: Gosudarstvennyj universitet upravleniya [Moscow: State University of Management]. 2009. Issue 12 (in Russian).
- [10] Gurov V.I. Novye vozmozhnosti vetroagregatnyh system [New Possibilities of Wind Turbine Systems]. Energiya: ekon., tekhn., ecol. [Energy: Economy, Technology, Ecology]. 2010. № 5. P. 32-35 (in Russian).
- [11] Ratner R. Finansirovanie projektov v oblasti al'ternativnoj energetiki i energoэффективности: mezhdunarodnyj opyt i rossijskie realii [Financing Alternative Energy and Energy Efficiency Projects: International Experience and Russian Realities]. Finansovaya sistema [Financial System]. 2013. № 24(552). P. 12-18 (in Russian).

- [12] Ratner S.V. Standartizatsiya i sertifikatsiya kak instrumenty stimulirovaniya razvitiya vetroenergetiki v Kitae [Standardisation and Certification as Tools to Stimulate Wind Energy Development in China]. Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost' [National Interests: Priorities and Security]. 2013. № 9. P. 57-64 (in Russian).
- [13] SHmyrev E.M. Nekotorye aspekty energosberezheniya v sistemah centralizovannogo teplosnabzheniya [Some Aspects of Energy Saving in District Heating Systems]. Energetik [Energetics]. 1998. № 9. P. 65-74 (in Russian).
- [14] VIE v Rossii: pervyj shag sdelan, chto dal'she? [Wind Power in Russia: the First Step is Taken, What is Next?] – URL : <https://www.forbes.ru/partnerskie-materialy/410301-vie-v-rossii-pervyy-shag-sdelan-chto-dalshe> (in Russian).
- [15] Rudenko, V.A. Sinhronizatsiya zadach otraslevykh vuzov so strategiej razvitiya gk «rosatom» kak faktor obespecheniya bezopasnosti atomnoj energetiki [Synchronization of Industry-Specific University Tasks with Rosatom's Development Strategy as a Factor of Nuclear Power Safety]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2020. №1. P.98-106. (in Russian).
- [16] Golovko M.B. Formirovanie relyatsionnoj strategii kak faktor ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatij atomnoj otrasli (na primere mashinostroitel'nykh predpriyatij g. Volgodonska) [Formation of Relational Strategy as a Factor in the Economic Security of Enterprises in the Nuclear Industry (on the example of machine-building enterprises in the city of Volgodonsk)]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2020. №3. P.104-110 (in Russian).
- [17] Prognoz razvitiya VIE v Rossii do 2050 goda [Forecast of the Development of Wind Power in Russia until 2050. URL : https://www.iep.ru/files/Nauchnyy_vestnik.ru/9-2019/40-47.pdf (in Russian).
- [18] Perspektivy vetroenergeticheskogo rynka v Rossii [Prospects of Wind Energy Market in Russia]. – URL: <https://wwindea.org/wp-content/uploads/2017/06/170612-FES-Windenergie-rus-print.pdf> (in Russian).

Wind Energy Development in the Context of Sustainable Development Goals

Maria V. Golovko^{1,2}, Alexander N. Setrakov³, Sergey A. Tomilin⁴

¹*Non-state accredited non-profit private educational institution of higher education «Academy of Marketing and Social and Information Technologies – IMSIT», Zhipovskaya St.5, Southern Federal District, Krasnodar Region, Krasnodar, Russia 350010*

²*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin”, Krasnodar Region, Krasnodar, Russia 350010*

³*Volgodonsk Branch of The Federal State State Educational Institution of Higher Education «Rostov Law Institute of Internal Affairs Ministry of Russian Federation», Stepnaya St., 40, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

⁴*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹*golovko178@mail.ru, ¹ORCID iD: 0000-0002-4835-9800, WoS Researcher ID: J-2461-2016*

²*aleksandr-maior@inbox.ru, ORCID iD: 0000-0001-5599-440X, WoS Researcher ID: AAP-73782020*

³*SATomilin@mephi.ru, ORCID iD: 0000-0001-8661-8386, WoS Researcher ID: G-3465-2017*

Received by the editorial office on 20/02/2022

After completion 01/04/2022

Accepted for publication on 11/04/2022

Abstract. The paper analyses the current peculiarities of wind energy development in Russia. The importance of renewable energy sources for solving the problems of limited resources and environmental safety is defined. Some economic aspects of wind energy are given and the conclusion about insufficient efficiency and investment attractiveness of this energy generation sector is made. The positive impact of wind energy in the context of implementation of sustainable development goals is considered. The importance of territorial technological clusters for overcoming barriers to wind energy development, among which financial and regulatory factors dominate, is revealed. An example of objectives and planned results of wind energy development in Volgodonsk, Rostov region is given.

Keywords: renewable energy, wind power, economic efficiency, sustainable development goals, barriers of development.

For citation: Golovko M.V., Setrakov A.N., Tomilin S.A. Wind Energy Development in the context of Sustainable Development Goals // Global nuclear safety. 2022 Vol. 2(43). P. 68-78. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-07>

**КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ И
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**
SAFETY CULTURE AND SOCIO-ECONOMIC ASPECTS
DEVELOPMENT OF PLACEMENT TERRITORIES
NUCLEAR INDUSTRY FACILITIES

УДК 330.101.8
doi: 10.26583/gns-2022-02-08

**КОНТРОЛЬ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В
ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ КУЛЬТУРОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

© 2021 Лыскова Ирина Ефимовна

*Коми республиканская академия государственной службы и управления,
Сыктывкар, Россия
IrinaLyskova@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2748-2794>*

Аннотация. В статье актуализируются теоретические основы и практические аспекты управления культурой производственной безопасности промышленных предприятий. Раскрываются структурные и содержательные аспекты организации контроля реализации управленческих решений в процессе управления культурой производственной безопасности. Предлагается общий анализ нормативной базы, определяющей основы контроля и оценки культуры производственной безопасности на примере предприятий атомной промышленности.

Ключевые слова: производственная безопасность, культура производственной безопасности, управление культурой производственной безопасности, контроль реализации управленческих решений.

Для цитирования: Лыскова И.Е. Контроль реализации управленческих решений в процессе управления культурой производственной безопасности промышленных предприятий // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 2(43). – С. 79–92. – <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-08>

Поступила в редакцию 13.04.2022
После доработки 27.04.2022
Принята к печати 05.05.2022

Атомная промышленность более 35 лет после трагических событий на Чернобыльской АЭС демонстрирует лидерство в области разработки концепции культуры производственной безопасности и её реализации в сфере промышленного производства. Современная политическая и социально-экономическая ситуация требует действенных мер по обоснованию безопасности как приоритета, цели, ценности, нормы, стандарта качества промышленного производства. Культуру производственной безопасности следует характеризовать как составную часть профессиональной культуры личности (социальной группы). Она определяется уровнем специальной подготовки в области безопасности промышленного производства и осознанную потребность в соблюдении норм, требований и правил безопасного поведения в процессе труда.

Целью исследования является актуализация теоретических положений и практических аспектов культуры производственной безопасности, выявление

специфики контроля реализации управленческих решений в процессе управления культурой производственной безопасности промышленных предприятий.

Задачи исследования направлены на выявление специфики процесса управления культурой производственной безопасности и обоснование значимости контроля реализации управленческих решений в процессе управления культурой производственной безопасности.

Объектом исследования является процесс управления культурой производственной безопасности промышленных предприятий, предметом – теоретическое обоснование организации контроля реализации управленческих решений в процессе управления культурой производственной безопасности.

Основным методом исследования является структурно-функциональный анализ, позволяющий на основе системного и процессного подходов раскрыть структурные и содержательные аспекты организации контроля процесса управления культурой производственной безопасности.

В ряде докладов Международной консультативной группы по ядерной безопасности МАГАТЭ (*International Nuclear Safety Advisory Group – INSAG, International Atomic Energy Agency – IAEA*) и Всемирной ассоциации организаций, эксплуатирующих атомные электростанции (ВАО АЭС, *World Association of Nuclear Operators – WANO*) были представлены значимые характеристики культуры безопасности, актуальные и для российской атомной промышленности [8; 9; 10; 12; 14].

Практические аспекты культуры производственной безопасности рассматриваются и в российских нормативных документах. Например, ключевые принципы формирования и развития культуры производственной безопасности зафиксированы в Руководстве по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по формированию и поддержанию культуры безопасности на атомных станциях и в эксплуатирующих организациях атомных станций» (РБ-129-17). Эти рекомендации утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору от 19 сентября 2017 г. № 371. Данное Руководство по безопасности разработано в соответствии с Федеральным законом от 21 ноября № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» в целях содействия соблюдению требований Федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» НП-001-15, утверждённых приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2015 г. № 522 (зарегистрирован Минюстом России 2 февраля 2016 г., регистрационный № 40939) [7].

Отметим наиболее значимые концептуальные положения, обосновывающие практическую значимость в процессе управления, то есть принятия управленческих решений, и определяющие действия по выполнению требований высокого уровня культуры производственной безопасности сотрудников атомной промышленности:

1. Приоритет безопасности.

Устанавливается приоритет безопасности над экономическими и производственными целями посредством заявления о политике в области безопасности или заявления о политике в области культуры безопасности. Провозглашение приоритетности и целей безопасности доводится до персонала и обеспечивается в обязательном порядке в процессе производственной деятельности.

2. Профессионализм и квалификация.

Формируется система подбора, профессионального обучения и поддержания высокой квалификации сотрудников с целью соответствия требованиям профессиональной квалификации и полной готовности сотрудников обеспечивать производственный процесс с учётом всех принципов и аспектов культуры

безопасности, том числе освоение навыков лидерства руководителей всех уровней, навыков командной работы и высокой коммуникативной культуры.

3. Дисциплина и ответственность.

Дисциплина и ответственность – исключительно значимый компонент культуры безопасности, как руководителей, так и исполнителей. Он базируется на эффективной организационной структуре, чётком и однозначном понимании профессиональных задач, распределении обязанностей, полномочий и ответственности в области производственной безопасности. Ответственность характеризуется наличием критической позиции и самоконтролем в отношении безопасности, качеством и документированием коммуникаций, строго регламентированным взвешенным подходом при принятии решений и выполнении производственных задач.

4. Соблюдение инструкций, регламентов, программ обеспечения качества.

Требуется чёткое обоснование и соблюдение технологических регламентов, следование требованиям, инструкциям, правилам, нормам в процессе производственной деятельности. Во избежание постепенного перехода на упрощённые схемы и обходные приёмы в вопросах обеспечения безопасности с определённой периодичностью необходимо производить оценку качества действующих инструкций, регламентов, норм, программ и др., привлекая к этой процедуре самих работников для объективной диагностики качества безопасности, выявления реальных технических и технологических несоответствий, искажений, изъянов, ошибок, неверных решений и действий.

5. Формирование атмосферы доверия.

Одним из базовых условий формирования и развития культуры производственной безопасности является приверженность руководства целям производственной безопасности промышленного производства в целом и приверженность культуре безопасности, в частности. Приверженность руководства безопасности проявляется через установку приоритетов экономической, социальной и экологической безопасности промышленного производства в интересах устойчивого развития [3]. Определяющим фактором развития культуры безопасности является формирование атмосферы доверия и открытости в вопросах обеспечения безопасности. Руководство промышленных предприятий являет собой личный пример трансляции культуры безопасности посредством повседневного поведения, который должен восприниматься коллективом как гарант безопасности.

6. Понимание последствий несоблюдения требований безопасности и норм обеспечения качества.

Подчёркивается значимость формирования отношения к обеспечению безопасности всех сотрудников промышленного производства. Проводится профилактическая работа по выявлению неправильных и недопустимых действий сотрудников, рискующих повысить угрозы безопасности. Не допускается выполнение производственных операций, экономия ресурсов в ущерб качеству и безопасности производственных процессов. Рекомендуется открытое обсуждение потенциальных рисков и угроз безопасности, использование вероятностных оценок безопасности, анализ событий и опыта других предприятий, приводивших к чрезвычайным ситуациям, авариям, снижению надёжности производства, надёжности человеческого фактора и др.

7. Эффективный самоконтроль.

Самоконтроль является основным ресурсом обеспечения безопасности, способным исключить или свести к минимуму последствия ошибочных действий и решений в процессе профессиональной деятельности. Сотруднику рекомендуется критически оценивать свой потенциал и возможности безошибочного выполнения работ. Для повышения уверенности в правильности своих действий сотруднику

рекомендуется использовать метод STARR (*Stop-Think-Act-Review-Report*, Остановись-Обдумай-Действуй-Проверь-Доложи).

8. Открытость и самосовершенствование.

Эффективность обеспечения безопасности в значительной мере зависит от стимулирования открытости профессиональной деятельности сотрудников посредством предупреждения, анализа, своевременной корректировки, недопущения повторений неправильных действий, но не с целью выявления и наказания виновных. Одной из существенных характеристик благоприятного социально-психологического климата в трудовом коллективе является недопустимость сокрытия обстоятельств, связанных с ошибочными действиями сотрудников по причине опасения санкций, и готовность открыто обсуждать проблемы обеспечения безопасности производственных процессов. Ключевым аспектом содействия эффективности культуре безопасности является стремление каждого сотрудника к самосовершенствованию посредством управления знаниями в организации, непрерывного повышения квалификации, самообразования, исследование негативного и положительного опыта по вопросам производственной безопасности, как локального, отраслевого, российского, так и зарубежного.

9. Мотивация.

Высокий уровень мотивации сотрудников является основой для повышения персональной и коллективной ответственности в вопросах обеспечения производственной безопасности. Система мотивации в аспекте управления культурой безопасности должна быть направлена на поддержание действий, формирующих безопасное поведение: своевременное сообщение о возникших проблемах в области безопасности; выявление условий и ошибок, связанных с повышенными рисками и угрозами безопасности производственных процессов; поддержание инициативы сотрудников по совершенствованию систем эксплуатационной безопасности и др.

Теоретические и практические аспекты формирования и развития культуры производственной безопасности, разработанные в атомной промышленности могут стать ориентиром для повышения эффективности интегрированной системы менеджмента безопасности промышленных предприятий [3]. В современных социально-экономических и политических условиях задачи развития культуры производственной безопасности промышленных предприятий, выявление признаков её деформации и ослабления требуют особого внимания. Исключительное значение приобретают теоретические и практические аспекты управления качеством культуры производственной безопасности промышленных предприятий. Концепцию управления качеством культуры безопасности следует дополнить ключевыми положениями управления результативностью, в частности управления результативностью культуры производственной безопасности промышленных предприятий.

История управления результативностью уходит корнями в начало XX века. Аттестация рабочих на промышленных предприятиях начала внедряться в США в 1920-е годы. Оценка деловых качеств работников стала применяться в 1950-1960-х годах в США и Великобритании. В 1960-1970-е годы стало активно развиваться программно-целевое управление. Современные трактовки оценки результативности и эффективности деятельности, ориентированные на результат, зародились в 1970-е годы. Сам термин «управление результативностью» ввели в научный оборот М. Бир (*Beer, M.*) и Р. Рух (*Ruh, R.A.*) [1; 2; 13]. В российской практике управления это направление стало продвигаться в последней четверти XX века. Однако вопросы управления результативностью культуры производственной безопасности изучены ещё недостаточно [4].

При характеристике методологических основ процесса управления результативностью прослеживается связь с концепцией реинжиниринга бизнес-

процессов, возникшей в 1990-е годы. Данное направление менеджмента характеризуется как радикальное перепроектирование производственных процессов для достижения значимых улучшений по ключевым показателям деятельности организации, таким как стоимость, качество, сервис, темпы. Основной целью реинжиниринга считается закрепление конкурентного преимущества организации. Точкой соприкосновения концепций реинжиниринга бизнес-процессов и процесса управления результативностью, включая вопросы управления результативностью культуры производственной безопасности, может быть идея реинжиниринга человеческих ресурсов (ментального и поведенческого реинжиниринга), направленная на повышение качества человеческих ресурсов, формирование человеческого, интеллектуального капитала организации. Глубокие качественные, прорывные изменения в организации способны обеспечить высококвалифицированные специалисты, обладающие высоким уровнем мотивации и вовлечённости в производственные процессы, что и формирует основы высокого качества культуры производственной безопасности промышленных предприятий [5].

Качество культуры безопасности, как ключевого компонента организационной (корпоративной) культуры промышленных предприятий прослеживается на трёх уровнях: наблюдаемом уровне, уровне декларируемых целей и ценностей, уровне глубинных (мировоззренческих) представлений сотрудников [11].

К признакам развитой (сильной) культуры производственной безопасности на наблюдаемом уровне следует отнести артефакты, организационные структуры и процессы, процессы управления безопасностью в частности; техническую и технологическую оснащённость промышленного производства; обеспечение безопасности условий труда и охраны здоровья сотрудников; производственную и социальную инфраструктуру; систему коммуникаций и др.

Наиболее существенными и результативными признаки развитой культуры производственной безопасности являются: наличие регламентирующей и регулирующей базы в области управления производственной безопасностью; регулярная работа по планированию и реализации мероприятий в области производственной безопасности; систематическая деятельность по повышению профессиональной компетентности и квалификации персонала, повышения вовлечённости персонала в производственные процессы и обеспечение надёжности человеческого фактора в области безопасности; формирование благоприятного социально-психологического климата, включая культуру доверия и сотрудничества; эффективное ресурсное обеспечение производственной безопасности и др.

При проведении регулярных (текущих, плановых, целевых) оценок состояния культуры безопасности рекомендуется учитывать симптомы ослабления культуры производственной безопасности и принимать соответствующие меры по стабилизации позитивных тенденций в области культуры безопасности. В атомной промышленности по объективным причинам, связанными неизбежными высокими рисками в области безопасности, уделяется исключительное внимание выявлению негативных проявлений культуры безопасности [6].

Снижение качества культуры производственной безопасности характеризуется определёнными признаками, «симптомами ослабления» культуры безопасности. На наблюдаемом уровне это сопровождается следующими характеристиками:

- дефицит ресурсов (материальных, финансовых, временных, информационных, человеческих и др.);
- увеличение количества просроченных работ, нарушений и ошибок в производственном процессе;
- слабый контроль готовности оборудования к эксплуатации, недостаточный контроль результатов ремонта и технического обслуживания;

- высокий уровень износа зданий, оборудования; отсутствие указателей и знаков опасности;
- низкий уровень трудовой дисциплины;
- устаревшая нормативная документация (инструкции, регламенты и др.) по вопросам производственной безопасности и др.

На уровне декларируемых целей и ценностей ослабление культуры безопасности сопровождается следующими симптомами:

- недостаточное внимание руководства к выявленным проблемам безопасности, слабое взаимодействие руководителя с работниками по вопросам обеспечения безопасности;
- несоблюдение планов действий и мероприятий по обеспечению безопасности;
- отсутствие системного подхода к формированию и развитию культуры безопасности (отсутствие планов по повышению уровня безопасности, развитию системы менеджмента безопасности, ограничение ресурсов и др.);
- низкий уровень мотивации персонала в вопросах соблюдения норм безопасности.

На уровне глубинных представлений наиболее существенными признаками ослабления культуры безопасности являются:

- неэффективные коммуникации, отсутствие обратной связи, коммуникационные барьеры, информационная изолированность сотрудников;
- слабое взаимодействие структурных подразделений в решении вопросов безопасности, конфликтные и предвзятые отношения и др.;
- формализм руководства и работников к соблюдению норм безопасности;
- сокрытие фактов и обстоятельств нарушений норм безопасности;
- отсутствие внимания руководства к условиям труда, охраны здоровья, социально-бытовым условиям работников;
- низкий уровень нравственной культуры, наличие случаев хищения, коррупции и пр.;
- несоблюдение норм ведения документации по вопросам безопасности и др.

Управление культурой производственной безопасности требует значительных усилий и высокой степени ответственности со стороны руководства. Недостаточное внимание к вопросам безопасности приводит к тяжелейшим последствиям, включая жизнь и здоровье людей. Своевременно принятые меры по устранению признаков ослабления культуры производственной безопасности – основа эффективности промышленного производства.

Процесс управления безопасностью предусматривает комплексную интеллектуальную деятельность руководителя по разработке и реализации управленческих решений. Управленческое решение трактуется как осознанный выбор варианта действий, направленный на достижение целей промышленного предприятия в целом, и целей безопасности, в частности. Управленческое решение осуществляет руководитель промышленного предприятия, наделённый определёнными обязанностями, ответственностью, полномочиями и обладающий соответствующими компетенциями. Процесс принятия решений в области безопасности, как правило, представляет собой совместную, коллективную деятельность. Но исключительную долю ответственности за коллегиально принятое решение несёт руководитель промышленного предприятия.

Сущность управленческого решения по вопросам производственной безопасности характеризуется в аспекте системного и процессного подходов. В системном, содержательном плане выделяются организационный, психологический, правовой, информационный, экономический, социальный аспекты принятия управленческих решений. При разработке и реализации управленческих решений существенное

значение имеет специфика этапа управления культурой производственной безопасности.

Управленческая деятельность по вопросам развития культуры производственной безопасности предусматривает целостность и непрерывность трёх этапов:

1. Разработка и внедрение регламентирующей и регулирующей базы, определяющей совокупность обязательных требований, стандартов, норм, правил, инструкций в области производственной безопасности.

2. Обоснование и обеспечение (планирование и реализация, мониторинг и контроль) комплексной безопасности как ценностного приоритета и организационной цели промышленного производства.

3. Непрерывное совершенствование культуры производственной безопасности промышленного производства при вовлечении всех участников производственных процессов.

Первый этап формирования культуры производственной безопасности промышленных предприятий характеризуется тенденциями, направленными на улучшение технических систем и регламентов, обязательное соблюдение всех норм, правил и требований безопасности в условиях жёсткого контроля со стороны руководства. В коллективе организаций, находящихся на этом этапе развития культуры безопасности, преобладает убеждение, что обеспечение безопасности – это обязанность и ответственность руководства.

На этом этапе управления культурой производственной безопасности определение требований промышленной безопасности предусматривает наличие заявления о политике в области промышленной безопасности, раскрывающего цели, нормы и правила, ресурсы обеспечения экономической, экологической и социальной безопасности промышленного производства. Осуществляется нормативное закрепление обязанностей, полномочий и ответственности должностных лиц в области обеспечения производственной безопасности и выполнения требований международного и российского законодательства в сфере безопасности промышленного производства.

На втором этапе управления культурой производственной безопасности закрепляются концептуальные основы, организационные цели и задачи формирования системы менеджмента безопасности промышленного производства; уделяется существенное внимание структуре и содержанию процесса управления безопасностью. Принимаются действенные, целенаправленные меры по предупреждению рисков и угроз безопасности. Проводится активная работа по обучению персонала в области безопасности промышленного производства. Первостепенное внимание уделяется документированию информации по вопросам безопасности. Однако комплексно вопросами безопасности занимаются специально назначенные должностные лица. В системе управления безопасностью преобладают методы, направленные на обеспечение технических, технологических и административных аспектов безопасности. Постепенно высшее руководство в вопросах безопасности осознаёт своё единство и действует в процессе управления безопасностью как команда. Осознаётся необходимость интеграции всех сотрудников организации в сфере обеспечения безопасности промышленного производства.

На этом этапе управления безопасностью в целом, и культурой безопасности, в частности, целесообразна организация интегрированной системы менеджмента безопасности, включающей в себя систему менеджмента промышленной безопасности, систему менеджмента качества, систему экологического менеджмента, систему менеджмента безопасности труда и охраны здоровья, систему управления культурой производственной безопасности. Приверженность руководства целям производственной безопасности является фактором перехода организации на третий этап развития культуры производственной безопасности.

На третьем этапе управления культурой производственной безопасности реализуется концепция непрерывного совершенствования культуры безопасности, разрабатывается и реализуется стратегия безопасности промышленного производства. На этой стадии особое внимание уделяется когнитивным аспектам культуры безопасности, закрепляется личностная идентификация сотрудников с ценностями и стратегическими приоритетами безопасности, осознанно поддерживаются модели безопасного поведения в условиях безопасности труда. Исключительно значимую роль приобретает этические аспекты бизнеса и культуры производственной безопасности, качество коммуникаций, развивается культура доверия и сотрудничества, совершенствуется стиль управления. Приверженность целям безопасности проявляется на всех уровнях (на политическом, на уровне руководства, на индивидуальном). Актуализируются экономические, социальные, экологические цели развития промышленного производства посредством «самообучающейся организации с самоподдерживающейся культурой безопасности» [4].

Оценка эффективности управления культурой производственной безопасности неразрывно связана с процессами контроля. Процессы контроля управления культурой производственной безопасности – значительная часть деятельности руководства. Контролю подвергаются все планируемые показатели в области управления культурой производственной безопасности: процессы, сроки, стоимость, качество, коммуникации, риски и др. Систему контроля необходимо разработать на самых начальных этапах организации и планирования деятельности, обеспечив высокую степень его адаптивности к вероятным изменениям.

Обеспечение эффективного контроля процесса управления культурой производственной безопасности связано с решением следующих *задач*:

- организация оперативного мониторинга и регулярный сбор информации о ходе выполнения намеченных планов и достижения определённых показателей в области культуры безопасности, что отражает учётную функцию контроля;
- формирование эффективной системы управления изменениями в процессе развития культуры производственной безопасности промышленных предприятий, что обеспечивает выполнение корректирующей и прогнозирующей функций контроля;
- анализ текущего состояния культуры производственной безопасности и степень отклонений относительно целевых показателей;
- анализ причин, вызвавших отклонения в процессе функционирования системы безопасности промышленного производства;
- прогнозирование перспективных показателей развития культуры производственной безопасности (сроков реализации, достижения целей, используемых ресурсов, оценки качества и др.);
- анализ рисков и необходимых корректирующих воздействий для профилактики нежелательных отклонений от ключевых показателей обеспечения безопасности промышленного производства;
- документационное обеспечение управления культурой производственной безопасности и др.

Следует отметить, что процессы координации деятельности по формированию и совершенствованию культуры производственной безопасности содержат определённые контрольные функции. Тем не менее, требуется система контроля процессов для обеспечения полноценного и эффективного мониторинга работ в сфере безопасности, своевременного выявления отклонений от плановых показателей обеспечения производственной безопасности. Процессы мониторинга и контроля культуры производственной безопасности – процессы, связанные с выявлением показателей, отслеживанием процесса реализации функций культуры производственной безопасности и необходимыми мерами корректирующего воздействия. Анализ и

регулирование достижения целевых показателей – неотъемлемая стадия процесса управления культурой производственной безопасности, на которой происходит сравнение фактического с запланированным, анализ отклонений, прогноз их влияния на результаты производственных процессов, разработка комплекса мер корректирующего воздействия.

Соответственно, контроль – сравнение фактического исполнения с запланированным, анализ отклонений, оценка тенденций для оказания влияния на улучшение процесса, оценка альтернатив и рекомендация при необходимости корректирующих действий в области формирования и совершенствования культуры производственной безопасности.

Систематический контроль процесса управления результативностью культуры производственной безопасности включает широкий комплекс мероприятий управленческого воздействия: сбор отчётности о реализации деятельности в области развития культуры производственной безопасности; мониторинг и контроль выполнения намеченных планов; управление изменениями; контроль содержания процессов, контроль сроков, ресурсов, рисков, коммуникаций, качества и др.

Основной целью процесса сбора необходимой отчётности о процессе управления культурой производственной безопасности является обеспечение руководства объективной, полной, достоверной информацией о состоянии дел. Задача руководства промышленных предприятий заключается в определении периодичности отчётности, разработке форм и различных шаблонов отчётов, своевременности сбора всех сведений о реализации планов, программ, принятии соответствующих управленческих решений.

Целью процесса мониторинга и контроля деятельности по управлению культурой производственной безопасности признаётся понимание текущего состояния дел на основе фактической информации. Непрерывный мониторинг обеспечивает выявление отклонений от плановых параметров по срокам реализации, стоимости, качеству и др. Основным результатом процесса мониторинга и контроля деятельности является корректировка и адаптация планов к возникающим изменениям, сведение отклонений фактических показателей качества культуры производственной безопасности к минимуму от запланированных.

Целью процесса управления изменениями культуры производственной безопасности является их выявление, документирование, анализ, а также своевременное принятие обоснованных решений для достижения высокой результативности процесса управления культурой производственной безопасности. Основная задача управления изменениями культурой производственной безопасности связана с профилактикой негативных тенденций, сбор полных сведений о реализации планов и ключевых показателях безопасности, об отклонённых и реализованных изменениях.

Целью процесса контроля содержательных аспектов культуры производственной безопасности (в частности аспектов культуры промышленной безопасности, культуры безопасности труда и охраны здоровья) считается выявление степени соответствия фактически достигнутых результатов базовым запланированным параметрам, своевременное выявление, предотвращение, при необходимости, устранение отклонений в процессе производственной деятельности. Основными задачами контроля содержательных аспектов культуры безопасности следует признать выявление текущего состояния дел, сравнение сложившейся ситуации с планируемыми показателями, прогнозирование деятельности по улучшению процессов и результатов, корректировка содержания работ, изменение плановых показателей деятельности в связи с объективной картиной изменений и др.

Важнейшим процессом обеспечения эффективности реализации деятельности по формированию и совершенствованию культуры производственной безопасности

является контроль сроков выполнения планов, реализации программ. Основная цель процесса контроля сроков состоит в определении степени соответствия фактических сроков выполнения плановым, своевременное выявление и предотвращение отклонений по срокам. Ключевыми задачами контроля сроков реализации планов являются сбор информации о фактических сроках выполнения работ, сравнение текущего положения дел с запланированным, прогнозирование выполнения планов, принятие своевременных мер для устранения задержек в реализации планов, корректировка планов деятельности для предотвращения возможных отклонений по срокам реализации.

Наряду с обозначенными показателями эффективность управления культурой производственной безопасности определяется рациональным подходом к использованию финансовых ресурсов. Соответственно значимая роль в производственной деятельности отводится процессу контроля стоимости реализации планов, программ и мероприятий по развитию культуры безопасности. Основная цель данного процесса заключается в определении степени соответствия фактически затраченных финансовых средств на выполнение работ плановым затратам, зафиксированным в бюджете промышленных предприятий, а также своевременное выявление и предотвращение отклонений по стоимости работ, устранение причин и негативных последствий отклонений от стоимостных параметров. Важно отметить, что основными задачами контроля стоимости работ следует признать сбор информации о фактических затратах на деятельность по развитию культуры производственной безопасности, сравнение фактических затрат с планами финансовых расходов, корректировка отклонений стоимости мероприятий, изменение планов деятельности для предотвращения отклонений от бюджета промышленных предприятий.

Кроме финансовых, на эффективность производственной деятельности по развитию культуры безопасности оказывают влияние человеческие и другие ресурсы. Целью контроля человеческих и прочих ресурсов является определение степени обеспеченности выполнения работ, предотвращение ситуаций, связанных с дефицитом ресурсов. Согласно указанной цели формируется блок задач, обеспечивающих контроль персонала и других ресурсов, направленных на развитие культуры безопасности промышленных предприятий. В частности, актуализируется сбор информации о фактических трудозатратах исполнителей при наличии всех необходимых ресурсов, анализ эффективности использования ресурсов, сравнение фактических затрат ресурсов на выполнение работ с утверждёнными ресурсными планами, выполнение корректирующих воздействий, в том числе планов, процессов, мероприятий, для предотвращения перерасхода запланированных ресурсов, сведение отклонений к минимуму.

В процесс выполнения планов производственной деятельности по вопросам безопасности нередко приходится сталкиваться с ситуациями повышенного риска и неопределённости. При реализации работ необходимо обеспечивать адекватный *контроль рисков*. Целью данного процесса является обеспечение своевременного реагирования на изменения и эффективных антикризисных мероприятий. Главная задача процесса контроля рисков состоит в оценке эффективности антикризисных мероприятий, выработка соответствующего плана реагирования на возникшие и возможные риски и угрозы безопасности.

Нередко возникновение рисков производственной безопасности связано с процессом выполнения обязательств сторон. Поэтому требуется обеспечение эффективного администрирования контрактов. Основная цель данного процесса – обеспечение полного выполнения принятых обязательств. Данная цель предусматривает комплекс направлений деятельности: организация системы контроля контрактов, формирование отчётности и учёта выполнения работ по контракту,

выявление несоответствий выполненных работ с предусмотренными договором, мониторинг и контроль платежей за исполнением работ, контроль качества работ, изменение условий и положений контракта при согласии сторон, досрочное завершение работ и разрыв контрактов в случаях некомпетентности подрядчиков или нарушения условий договора и др.

Существенное место в системе контроля управления результативностью культуры производственной безопасности занимает контроль коммуникаций. Целью процесса контроля коммуникаций является оценка эффективности процессов информационного обмена, обеспечение качества процесса коммуникаций, выявление проблем и барьеров взаимодействия в ходе обеспечения производственной безопасности. Основной задачей контроля данного процесса считается своевременное выявление и устранение проблем коммуникативного характера. Базовые задачи этого процесса ориентированы на проверку выполнения плана коммуникаций (периодичность совещаний, качество информации, соблюдение норм работы с информацией и др.), оценку удовлетворённости заинтересованных сторон качеством и оперативностью информации, анализ проблем коммуникативного взаимодействия в процессе реализации деятельности по обеспечению безопасности, анализ необходимости изменений системы коммуникаций с целью обеспечения безопасности промышленного производства.

Важнейшими показателями эффективности являются показатели качества процессов по формированию и совершенствованию культуры производственной безопасности. Однако необходимо различать процессы обеспечения качества производственной безопасности и процессы контроля качества производственной безопасности. Обеспечение качества – это управленческий процесс проектирования деятельности, который должен гарантировать качество результата. Контроль качества – процессы мониторинга определённых результатов деятельности в целях установления их соответствия нормам и стандартам качества, выработки корректирующих воздействий для устранения причин и последствий неудовлетворительного выполнения плановых показателей, в частности в области производственной безопасности. То есть контроль качества культуры производственной безопасности характеризуется, прежде всего, как техническая функция сравнения плановых показателей качества с фактическими и корректировки отклонений от плановых показателей. Центральными задачами процесса контроля качества культуры производственной безопасности являются сравнение фактических результатов производственных процессов в области безопасности со стандартами и предъявляемыми требованиями, техническая оценка и измерение показателей качества процессов и продукции, систематический мониторинг соответствия результатов контроля качества действующим нормативам и требованиям, фиксирование основных отклонений от показателей качества продукции, разработка и выполнение мер корректирующего воздействия для обеспечения качества производственных процессов, в том числе обеспечения качества культуры безопасности и др.

Оценка качества культуры производственной безопасности предусматривает разработку системы показателей, включающих совокупность реактивных и проактивных (опережающих) индикаторов. Реактивные показатели фиксируются на основе информации о прежних результатах функционирования системы безопасности для оценки текущих показателей безопасности и характеристики динамики ситуации. Проактивные показатели оценки культуры безопасности разрабатываются на основе установленных норм безопасности с учётом перспективных планов развития интегрированной системы менеджмента безопасности промышленных предприятий.

Целенаправленная работа в области управления результативностью и оценки качества культуры производственной безопасности предусматривает три категории

оценки: текущие, целевые и периодические оценки качества культуры производственной безопасности промышленных предприятий.

Текущие оценки (самооценки) качества культуры безопасности являются непрерывным процессом и осуществляются на индивидуальном уровне каждым сотрудником, включая руководителей промышленных предприятий. Основным методом в данном случае является наблюдение (самонаблюдение) за практикой индивидуального и группового поведения с целью выявления проблем и рисков в области культуры безопасности и принятием своевременных мер реагирования на ситуацию. Основной задачей целевых оценок культуры безопасности, осуществляемых целенаправленно по необходимости, является обоснование связи установленных нарушений норм безопасности с культурой безопасности, и разработка соответствующих мероприятий по корректировке в сфере культуры производственной безопасности. Периодические оценки (самооценки) состояния культуры производственной безопасности рекомендуются при подготовке годовых отчётов о функционировании интегрированной системы менеджмента безопасности, при проведении производственных инспекций, осуществляемых компетентными уполномоченными структурами, в плановом режиме и др. Периодические оценки культуры производственной безопасности необходимо обеспечивать во всех структурных подразделениях и для всех категорий работников, используя методы анализа эксплуатационной и иной документации, наблюдения за спецификой индивидуального и группового поведения, а также анкетирования, интервью и др. особого внимания требует разработка показателей качества культуры производственной безопасности [4].

Таким образом, основным результатом исследования является систематизация теоретических и практических основ организации контроля в процессе управления культурой производственной безопасностью. Контроль качества культуры производственной безопасности должен осуществляться на основе систематического сбора информации, которая поможет достичь запланированных результатов, своевременно принимать управленческие решения, сформировать эффективное руководство, содействовать профессиональному развитию сотрудников в сфере безопасности промышленного производства.

С целью обеспечения эффективности управления культурой производственной безопасности контролю должны быть подвержены все запланированные показатели безопасности: сроки, стоимость, качество, коммуникации, риски и пр. Эффективность процессов управления культурой производственной безопасности обеспечивается системностью производственного контроля в данной сфере. Систему контроля управления культурой производственной безопасностью следует выработать на первом этапе планирования деятельности по развитию культуры производственной безопасности. Система контроля развития культуры производственной безопасности должна обеспечивать возможность адаптации производственных процессов к изменениям внутренней и внешней среды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Армстронг, М.* Управление результативностью. Система оценки результатов в действии / М. Армстронг, А. Бэрон; пер. с англ. – Москва : Альпина Паблишер, 2012.
2. *Кокинз, Г.* Управление результативностью: как преодолеть разрыв между объявленной стратегией и реальными процессами / Г. Кокинз; пер. с англ. – Москва : Альпина Паблишер, 2016. – 318 с.
3. *Лыскова, И.Е.* Приверженность руководства целям производственной безопасности как фактор формирования интегрированной системы менеджмента безопасности промышленных предприятий / И.Е. Лыскова // Глобальная ядерная безопасность. – 2021. № 4 (41). – С. 73-91.

4. Лыскова, И.Е. Методологические основы управления результативностью культуры производственной безопасности промышленных предприятий / И.Е. Лыскова // Экономическая безопасность. – 2022. – Том 5, № 2. – URL : <https://1economic.ru/lib/114521>.
5. Лютенс, Ф. Организационное поведение / Ф. Лютенс; пер. с англ. – Москва : ИНФРА-М, 1999.
6. РБ-047-16. Руководство безопасности при использовании атомной энергии. Методика оценки культуры безопасности на предприятиях топливного цикла. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. 2016. – URL : <https://www.gosnadzor.ru/> (дата обращения: 28.03.2022).
7. РБ-129-17. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по формированию и поддержанию культуры безопасности на атомных станциях и эксплуатирующихся организациях атомных станций. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. 2016. – URL : <https://www.gosnadzor.ru/> (дата обращения: 28.03.2022).
8. INSAG-4. МАГАТЭ. Международная консультативная группа по ядерной безопасности. Культура безопасности. Серия изданий по безопасности, 1991. №75-INSAG-4. МАГАТЭ, Вена. – URL: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/> (дата обращения: 18.02.2022).
9. INSAG-15. МАГАТЭ. Международная консультативная группа по ядерной безопасности. Ключевые вопросы практики повышения культуры безопасности. 2015. INSAG-15. МАГАТЭ, Вена. – URL : <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/> (дата обращения: 18.02.2022).
10. INSAG-13. МАГАТЭ. Международная консультативная группа по ядерной безопасности. Менеджмент эксплуатационной безопасности на атомных электростанциях. 2015. INSAG-13. МАГАТЭ, Вена. – URL : <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/> (дата обращения: 18.02.2022).
11. Шейн, Э.Х. Организационная культура и лидерство / Э.Х. Шейн; пер. с англ; под ред. В.А. Спивака. – Санкт-Петербург : Питер, 2002.
12. WANO Principles 2013-1. Особенности здоровой культуры ядерной безопасности. – URL : <https://www.wano.info> (дата обращения: 28.03.2022).
13. Beer M., Ruh R.A. Employee growth through performance management // Harvard Business Review. – 1976. – № 4. – p. 59-66.
14. WANO GL 2006-02. 2006. WANO Principles for a Strong Nuclear Safety Culture. Guideline WANO GL 2006-02. – URL : <https://www.wano.info> (дата обращения: 28.03.2022).

REFERENCES

- [1] Armstrong M., Beron A. (2012). Upravlenie rezultativnostyu. Sistema otsenki rezultatov v deystvii [Performance management. Results evaluation system in action]. Moskva: Alpina Publisher [Moscow: Alpina Publishing House] (in Russian).
- [2] Kokinz G. (2016). Upravlenie rezultativnostyu: kak preodolet razryv mezhdu obyavlennoy strategiy i realnymi protsessami [Performance management: how to bridge the gap between the announced strategy and real processes]. Moskva: Alpina Publisher [Moscow: Alpina Publishing House] (in Russian).
- [3] Lyskova, I.E. Priverzhennost' rukovodstva celyam proizvodstvennoj bezopasnosti kak faktor formirovaniya integrirovannoj sistemy menedzhmenta bezopasnosti promyshlennyh predpriyatij [Commitment of the management to industrial safety goals as a factor in integrated management system formation for industrial enterprise safety]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2021. No. 4 (41). P. 73-91 (in Russian).
- [4] Lyskova, I.E. Metodologicheskie osnovy upravleniya rezul'tativnost'yu kul'tury proizvodstvennoj bezopasnosti promyshlennyh predpriyatij [Methodological bases for managing the performance of occupational safety culture in industrial enterprises]. Ekonomicheskaya bezopasnost [Economic Safety] 2022. Vol. 5. № 2. doi: 10.18334/ecsec.5.2.114521 (in Russian).
- [5] Lyutens, F. Organizacionnoe povedenie [Organizational behavior]. Moscow: INFRA-M (in Russian).
- [6] RB-047-16. Rukovodstvo bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoj energii. Metodika ocenki kul'tury bezopasnosti na predpriyatiyah toplivnogo cikla. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru [RB-047-16. Safety guidelines of atomic energy use. Methodology of safety culture assessing at fuel cycle enterprises (RB-047-16). Federal service of environmental, technological and nuclear supervision]. Moscow, 2016. URL: <https://www.gosnadzor.ru/> (reference date 28.03.2022) (in Russian).
- [7] RB-129-17. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoj energii. Rekomendacii po formirovaniyu i podderzhaniyu kul'tury bezopasnosti na atomnyh stanciyah i ekspluatiruyushchih organizatsiyah atomnyh stancij. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i

- atomnomu nadzoru [RB-129-17. Safety guidelines in the use of atomic energy. Recommendations for formation and maintenance of safety culture at nuclear power plants and operating organizations of nuclear power plants. Federal service of ecological, technological and nuclear supervision]. 2016. URL: <https://www.gosnadzor.ru/> (reference date 28.03.2022) (in Russian).
- [8] №75-INSAG-4. MAGATE Mezhdunarodnaya konsul'tativnaya gruppa po yadernoj bezopasnosti. Kul'tura bezopasnosti. Seriya izdanij po bezopasnosti [INSAG-4. IAEA. International nuclear safety advisory group. Safety culture. Safety issue series]. №75-INSAG-4. MAGATE, Vena, 1991. URL: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/> (reference date 28.03.2022) (in Russian).
- [9] INSAG-15. MAGATE Mezhdunarodnaya konsul'tativnaya gruppa po yadernoj bezopasnosti. Klyuchevye voprosy praktiki povysheniya kul'tury bezopasnosti [INSAG-15. IAEA. International nuclear safety advisory group. Key issues of safety culture improvement practices]. INSAG-15. MAGATE, Vena, 2015. URL: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/> (reference date 28.03.2022) (in Russian).
- [10] INSAG-13. MAGATE Mezhdunarodnaya konsul'tativnaya gruppa po yadernoj bezopasnosti. Menedzhment ekspluatacionnoj bezopasnosti na atomnyh elektrostanciyah [INSAG-13. IAEA. International nuclear safety advisory group. Operational safety management in nuclear power plants]. INSAG-13. MAGATE, Vena, 2015. URL: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/> (reference date 28.03.2022) (in Russian).
- [11] Schein E.H. Organizatsionnaya kultura i liderstvo [Organizational culture and leadership]. 2002. SPb.: Piter [Saint-Petersburg: Piter] (in Russian).
- [12] WANO Principles 2013-1. Osobennosti zdorovoj kul'tury yadernoj bezopasnosti [WANO Principles 2013-1. Features of a healthy nuclear safety culture]. URL: <https://www.wano.info> (reference date 28.03.2022) (in Russian).
- [13] Beer M., Ruh R.A. Employee Growth Through Performance Management // Harvard Business Review. 1976. № 4. p. 59-66 (in English).
- [14] WANO GL 2006-02. 2006. WANO Principles for a Strong Nuclear Safety Culture. Guideline WANO GL 2006-02. URL: <https://www.wano.info> (reference date 28.03.2022) (in English).

Management Decision Implementation Monitoring in the Process of Managing Culture of Industrial Enterprise Production Safety

Irina E. Lyskova

*The Komi Republican Academy of State Service and Administration, Syktyvkar, Russia, 167000
IrinaLyskova@mail.ru, ORCID iD: 0000-0003-2748-2794, WoS ResearcherID: T-1644-2018*

Received by the editorial office on 13/04/2022

After revision on 27/04/2022

Accepted for publication 05/05/2022

Abstract. The paper actualizes the theoretical foundations and practical aspects of managing the culture of industrial safety of industrial enterprises. The structural and substantive aspects of the organization of monitoring the implementation of management decisions in the process of managing the culture of industrial safety are revealed. A general analysis of the regulatory framework defining the basis for monitoring and evaluating the culture of industrial safety on the example of nuclear industry enterprises is proposed.

Keywords: production safety, production safety culture, management of production safety culture, control of the implementation of management decisions.

For citation: Lyskova I.E. Control of the implementation of management decisions in the process of managing the culture of industrial safety of Industrial Enterprises // Global nuclear safety. 2022 Vol. 2(43). P. 79-92. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-08>

**КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ И
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**
SAFETY CULTURE AND SOCIO-ECONOMIC ASPECTS
DEVELOPMENT OF PLACEMENT TERRITORIES
NUCLEAR INDUSTRY FACILITIES

УДК 378.147:811.111
doi: 10.26583/gns-2022-02-09

**ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ И ЭТИКИ ОБЩЕНИЯ В
ДИСТАНЦИОННОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ
ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ-АТОМЩИКОВ**

© 2022 Захарова Любовь Васильевна¹, Зарочинцева Ирина Викторовна²,
Лупиногина Юлия Анатольевна³, Кикинчук Ольга Анатольевна⁴

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

¹zakharova11@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1496-3935>

²michael.mus.2000@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6412-8714>

³matashonok@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4327-1172>

⁴OAKikinchuk@mephi.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2542-7732>

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы формирования культуры и этики общения в дистанционном образовательном процессе при подготовке специалистов атомщиков, основные принципы и методы общения студенческой молодежи он-лайн, анализируются вопросы этики и коммуникативной толерантности студентов.

Ключевые слова: культура и этика общения, дистанционное образование, коммуникативная толерантность.

Для цитирования: Захарова Л.В., Зарочинцева И.В., Лупиногина Ю.А., Кикинчук О.А. Формирование культуры и этики общения в дистанционном образовательном процессе при подготовке специалистов-атомщиков // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 2(43). – С. 93-101. – <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-09>

Поступила в редакцию 28.03.2022

После доработки 29.04.2022

Принята к печати 12.05.2022

Интернет-общение и коммуникация охватывают сегодня не только социальные сети, электронные издания, чаты и форумы, но и сегмент дистанционного образования [1]. Формируется новая образовательная среда с возрастающей ролью дистанционных технологий обучения, что влечет за собой ускоренное включение студенческой молодежи в сферу цифровых технологий [2]. Возникает объективная необходимость обучения и образования с целью освоения этой новой социальной реальности, выработки определенных правил и норм поведения в ней, требующих этического осмысления. Культура и этика общения в дистанционном образовательном процессе представляет собой новое направление формирования теоретической и практической базы освоения новой социальной реальности.

В структуре культуры будущего специалиста культура и этика общения должны занимать особое место. Это обусловлено необходимостью повышения качества подготовки специалистов атомщиков. Усвоение и применение студентами этических ценностей и реализация их непосредственно в общении способствуют личностному,

духовному, социальному и профессиональному развитию потенциала будущего специалиста [3]. Именно поэтому вопросам формирования культуры и этики общения на кафедре иностранных языков ВИТИ НИЯУ МИФИ уделяют большое внимание.

В соответствии с государственным образовательным стандартом, современный выпускник высшего учебного заведения должен обладать многими знаниями и умениями в области культуры общения. Одной из форм культуры дистанционного общения студентов авторы данной статьи рассматривают этикет, а именно сетевой, актуальность и значимость овладения которым подтверждается как нормами культуры, так и требованиями работодателей к выпускникам вузов. Среди этих требований не только квалификационные, но и общекультурные требования, в частности культуры и этики общения.

Всем известно, что от искусства делового общения зависит успешная деятельность организации, поэтому в последние годы активно разрабатываются проблемы служебного и административного этикета [4]. Так, в 2016 г. с целью «предупреждения рисков, возникающих в связи с нарушением законодательства и этических принципов поведения работников» был утвержден Кодекс этики и служебного поведения работников Госкорпорации «Росатом» и создан Совет по этике Госкорпорации «Росатом». Этот документ транслирует ценности корпорации, определяет основанные на них этические принципы и правила поведения работников [5]. Чтобы выявить, насколько студенты ВИТИ соответствуют требованиям Госкорпорации, владеют культурой общения и знают деловой этикет, на кафедре было проведено исследование, в котором студенты оценивали эффективность обучения в дистанционном формате, исследовались основные трудности социального, психофизиологического, технологического характера, с которыми столкнулось студенческое сообщество в период активного освоения нового, отличного от традиционного, формата обучения.

Эмпирической базой исследования послужили данные опроса, проведенного среди студентов технических направлений подготовки ВИТИ НИЯУ МИФИ. Следует указать, что при разработке критериев культуры и этики общения студентов, обучающихся в условиях применения ДОТ, авторы исходили из требований Федерального государственного образовательного стандарта. Наличие сформированных критериев означает, что выпускник вуза овладел универсальной компетенцией УК-4 – способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах).

В исследовании приняли участие 112 студентов 1-5 курсов факультета атомной энергетики и машиностроения. Цель нашего исследования состояла в том, чтобы выявить особенности культуры и этики общения студентов в дистанционном образовательном процессе. Для проведения исследования использовались следующие методики: анкета «Изучение культуры и этики общения студентов в дистанционном обучении» и тест «Коммуникативная толерантность» В.В. Бойко. Первой методикой исследования являлся письменный опрос – анкета, которая включала в себя ряд вопросов, ответы на которые позволили выявить уровень социальной адаптивности студентов в новых условиях обучения. Адаптацию в данном случае мы рассматриваем как преодоление трудностей, связанных с новизной деятельности. Это объективно необходимый процесс вхождения индивида в новую социальную среду и ее освоения.

Выяснилось, что 48,1% студентов ВИТИ были отлично адаптированы, а 40,7% – хорошо к условиям дистанционного обучения. Мы полагаем, что такой высокий показатель адаптивности связан с привычным для молодых людей интернет-общением, охватывающим сегодня социальные сети, электронные издания, чаты и форумы, он-лайн игры, справочно-информационные службы, он-лайн магазины, блоги и т.д. По результатам нашего анкетирования 77,8% студентов находятся в социальных сетях

каждый день по несколько часов. Есть и любители виртуального общения – 13% респондентов проводят все свое свободное время в социальных сетях.

Следует подчеркнуть, что уровень мотивации к изучению иностранного языка в рамках дистанционной формы, как показывает опрос, не изменился – 67,6%, а у 19,4% даже увеличился. Можно предположить, что увеличение мотивации происходит у тех студентов, кто использует социальные сети для общения на английском языке. Таких по данным опроса 13, 9%, а 23, 1% студентов используют английский язык для поиска информации в интернете. Еще 21,3% смотрят фильмы и ролики и 45,4% слушают музыку на иностранном языке в интернете. Можно сделать вывод, что дистанционный формат обучения рассматривается студентами как возможность освоить современные технологии и форматы общения, при этом обозначаются его явные преимущества перед традиционным.

В настоящее время в сети уже сложились определенные нормы общения и коммуникации: существуют правила чатов, электронной переписки, видеоконференций и т.п. Эти базовые элементы имеют непосредственное отношение к этическим аспектам образования и к практической деятельности коммуникаторов, от которых, по большому счету, зависит поддержание комфортной коммуникативной среды, но сетевой этикет весьма неоднороден и нельзя говорить о его единстве [6]. Должны ли существовать определенные правила поведения (сетевой этикет) в дистанционном обучении? Этот вопрос мы задали студентам, и 92,6% респондентов ответили утвердительно: да, сетевой этикет регулирует правила общения в интернете, пространство которого позволяет людям общаться между собой, работать, учиться, развлекаться. Все эти действия, совершаемые в пространстве интернета, требуют применения этикетных правил, например, общение по электронной почте, участие в образовательных онлайн-проектах, общение с официальными лицами и т. п. [6].

Итак, мы выяснили, что определенные правила поведения должны существовать, но нужно ли соблюдать этикет в условиях дистанционного обучения? То, что это необходимо, 50,9% студентов ответили положительно, а 49,1% добавили, что этикет нужно соблюдать всегда и не только в дистанционном обучении.

Было интересно узнать мнение студентов, отличаются ли нормы поведения на онлайн-уроках от обычного этикета. Большая часть опрошенных – 54,6% – не видят отличия между нормами поведения на онлайн-уроках и обычным этикетом, 28,7% считают, что нормы разные и 16,7% не смогли дать ответ на этот вопрос, что и явилось поводом задуматься. Давайте подробнее рассмотрим, как формируется этикет.

По мнению специалистов, процесс формирования навыков этикета начинается с пространства семьи и учреждений дошкольного образования, продолжается в средней школе. В высшей школе формирование этикета происходит в условиях культурно-образовательной среды вуза, где педагогическими условиями совершенствования этикета выступает среда вуза [7].

Этикет – это не однородное явление, он разделяется на разные виды и формы: общегражданский, деловой, дипломатический, воинский, педагогический и др. В данной статье авторы рассматривают речевую форму студенческого этикета. Речевой этикет – это разработанные правила речевого поведения, система речевых формул общения, характер которых зависит от особенностей общения. Речевой этикет формируется под воздействием ряда факторов. По мнению Л.А. Введенской [8] таковыми являются: социальный статус субъекта и адресата общения, их место в служебной иерархии, их профессии, национальности, вероисповедания, возраста, пола, характера. Речевой этикет определяется ситуацией, в которой происходит общение. Это может быть научная конференция, совещание, презентация, юбилей и т.д. Учет факторов, которые формируют и определяют речевой этикет, знание и соблюдение форм речевого этикета создают благоприятный климат для взаимоотношений, способствуют эффективности, результативности деловых отношений [4].

Речевой этикет во многом способствует культуре общения. Проблема общения студентов технического вуза подробно рассматривалась авторами в статьях «Культура речи как условие эффективного общения будущих инженеров» [9] и «Культура делового общения как важный фактор профессионального становления специалистов» [10]. В данном случае общение мы рассматриваем как коммуникативный процесс, объединяющий людей между собой, а культуру общения как свод правил, соблюдение которых является обязательным для людей в цивилизованном обществе. Без культуры общения невозможно налаживать деловые контакты и вести бизнес.

Чтобы правильно общаться, необходимо соблюдать этикет, в частности, речевые этикетные нормы, к которым относятся формулы вежливости, приветствия, благодарности. На кафедре иностранных языков ВИТИ уделяется большое внимание изучению этикетных речевых норм – преподаватели кафедры использует наиболее эффективную методику обучения иностранным языкам – коммуникативную [The Communicative Approach], о чем более детально изложено в статье авторов «Коммуникативные компетенции в процессе обучения иностранному языку в техническом вузе» [11]. Основным учебником для обучения иностранному языку является *Navigate*, Oxford University Press. Учебник содержит интересные тексты, современные глобальные темы, снабжен прекрасной электронной платформой для преподавателя с видео- и аудио-заданиями, тестами, дополнительными материалами. Авторы учебника предлагают формулы речевого этикета в формальном и неформальном общении. Такие темы, как пригласить или самим организовать встречу, поговорить о своих планах, праздниках, образовании, объяснить в ресторане с официантом, описать ситуацию и свои чувства и др., – требуют знаний определенных речевых формул. Работа с партнером позволяет отработать и закрепить в устных диалогах и письменных упражнениях формулы приветствия, благодарности, вежливости и т.д. Студенты учатся писать e-mail, текстовые сообщения, соблюдая правила общения и уважительного отношения к партнеру, в процессе общения понимая, что речевая коммуникация это своего рода искусство, которому нужно терпеливо и настойчиво учиться.

Культура дистанционного общения студентов демонстрирует, насколько сформированы у них отдельные специфические умения и навыки общения, а также как соблюдаются нормы письменного и устного речевого этикета. Среди основных правил дистанционного формата обучения есть правило грамотного письма, т.е. писать нужно грамотно, нормы орфографии и пунктуации следует соблюдать всегда, и это подтвердили 85,2% респондентов ВИТИ, отвечая на вопрос «Считаете ли вы, что нормы орфографии и пунктуации следует соблюдать всегда при обучении онлайн?». Ответ на следующий вопрос «Исправляете ли вы слова, которые редактор подчеркивает красным цветом?» уже был предсказуем – 69,4% заботятся о грамотности своих текстов, 27,8% не всегда это делают, видимо, полагая, что если это не влияет на смысл написанного, то можно не исправлять ошибки.

Среди правил речевого этикета есть запрещающие нормы, такие как: нельзя оскорблять других, вступать в ссоры, выбирать нечитаемые псевдонимы, общаться на посторонние темы, использовать бранные слова и выражения. Было решено узнать у студентов технического вуза, можно ли, по их мнению, использовать бранные слова и выражения в чатах. 76,9% ответили отрицательно. 7,4% студентов не видят в этом ничего предосудительного, однако, по правилам сетевого этикета даже намеренное искажение бранных слов не делает их цензурными и не освобождает от ответственности; и всего лишь 7% студентов вообще не используют бранную лексику.

Опыт работы в дистанционном обучении показывает, что не только в чатах можно увидеть ненормативную лексику, но и услышать на занятиях онлайн, если студент забывает выключить микрофон, поэтому мы поинтересовались, как студенты относятся к употреблению ненормативной лексики во время занятий. Категорически против

оказались – 66,7%, считая, что это оскорбительно для них, 23,1% студентов не обращают на это внимание. Подобная индифферентная позиция говорит о низкой культуре общения, неуважительном отношении к окружающим. Авторы статьи считают, что необходимо выработать единые требования к подобным проявлениям неуважительного отношения к преподавателю и сокурсникам.

Итак, мы видим, что формирование культуры и этики общения является насущной потребностью нашего времени, необходимой предпосылкой эффективной профессиональной деятельности, одним из важнейших условий развития личности. Однако культуру общения нельзя рассматривать без такого понятия как коммуникативная толерантность, являющаяся профессионально важным качеством личности будущего специалиста. Навык толерантности, как характеристика образованного человека, способствует спокойному освоению любого знания и корректному участию в любой коммуникации. Коммуникативная толерантность в данном контексте будет рассматриваться как способность взаимодействовать с другими людьми с целью обеспечения продуктивной профессиональной деятельности специалистов атомщиков [12]. Чтобы выявить уровень развития толерантных установок личности, проявляющихся в процессе общения, мы использовали опросник коммуникативной толерантности В.В. Бойко [13]. Студентам предстояло ответить на 45 вопросов, поделенных на 9 блоков, позволяющих выявить:

- 1) неприятие или непонимание индивидуальности человека;
- 2) использование себя в качестве эталона при оценке других;
- 3) категоричность или консерватизм в оценках людей;
- 4) неумение скрывать или сглаживать неприятные чувства;
- 5) стремление переделать, перевоспитать партнера по общению;
- 6) стремление подогнать других участников коммуникации под себя;
- 7) неумение прощать другому ошибки;
- 8) нетерпимость к дискомфортным состояниям партнера по общению;
- 9) неумение приспосабливаться к другим участникам общения.

По результатам опроса первого блока было выяснено, что 26,4% студентов обладают высоким уровнем толерантности, т.е. умеют принимать и понимать индивидуальные особенности других людей, такие как медлительность, суетливость, шумливость, нестандартность в поведении, перфекционизм. Средний уровень толерантности наблюдается у 36,4% студентов, низкий уровень составляет 24,8% и отсутствует толерантность, т.е. наблюдается полное неприятие окружающих, у 12,3%.

Рассмотрим результаты тестирования второго блока опросника, где исследовалось использование себя в качестве эталона при оценках других людей. Высокая степень толерантности наблюдается у 35,2%, т.е. эти студенты способны уважительно общаться с людьми иного интеллектуального и культурного уровня, их не выводит из равновесия несообразительный попутчик или любитель поговорить. Средний уровень толерантности незначительно превышает высокий – 37%, низкий уровень толерантности – 17,3% и уровень отсутствия толерантности порадовал своим низким процентом – 9,6%.

Третий блок рассматривает категоричность или консерватизм в оценках людей, т.е. насколько нашим студентам хватает гибкости и широты кругозора в общении с людьми. Респонденты более или менее равномерно на всех уровнях регламентируют проявление индивидуальности партнеров: высокий уровень – 29,3%, средний – 25,2%, низкий – 23,2% и отсутствие толерантности – 22,3% студентов, требующих от партнеров предпочтительного для себя однообразия, которое соответствует их внутреннему миру – сложившимся ценностям и вкусам.

В четвертом блоке рассматривается умение скрывать или сглаживать неприятные чувства, возникающие при столкновении с некоммуникабельными качествами у партнеров. Высокий уровень толерантности показали 34,6%, средний – 39,3%. Это

достаточно высокий процент общей коммуникативной толерантности, демонстрирующий способность будущих специалистов ВИТИ управлять отрицательными реакциями в ответ на некоммуникабельные качества партнера. Низкий уровень и отсутствие толерантности показали 17,1% и 9% соответственно, этим людям трудно скрывать неприятие в других некоммуникабельные черты и манеры общения.

Пятый блок рассматривает стремление переделать, перевоспитать партнера. 45% респондентов не стремятся изменить, переподчинить или заменить ту или иную подструктуру личности, демонстрируя высокий уровень толерантности. 30,4% – средний уровень – могут, возможно, в мягкой форме требовать соблюдать правила поведения и сотрудничества, делать замечания по разным поводам. 15,2% и 9,4% – студенты с низким уровнем и отсутствием толерантности, вероятно, предпримут попытки перевоспитать партнера в жесткой форме, по привычке будут читать мораль, поучать, укорять в нарушении правил и этики.

Шестой блок – это желание подогнать партнера под себя, сделать его удобным. 36,8% и 32,5% – высокий и средний уровень толерантности – способны уважать и принимать чужую точку зрения, что весьма важно и необходимо уметь делать в деловом общении, а 18,2% и 12,5% – люди с низким уровнем или отсутствием толерантности стремятся регламентировать поступки партнера, добиться схождения с собой, оценивают партнера, исходя из своих обстоятельств.

Седьмой блок характеризует способность прощать другому ошибки, непреднамеренные неприятности. Высокий уровень толерантности присущ значительному числу наших студентов – 38,9% умеют прощать ошибки, 26,9% – средний уровень – все же имеют тенденцию обидеться на делового партнера, если будет непреднамеренно задето самолюбие, или прозвучат бестактные шутки. 20,6% и 13,6% – низкий уровень или отсутствие толерантности соответственно – это значительный процент не умеющих прощать, что, по мнению специалистов, является источником взаимных обид, усложнению отношений с партнером. В образовательном процессе это проявляется во взаимоотношениях преподаватель-студент, когда студент, считая оценку своих знаний неадекватной, вступает в конфликт с преподавателем, проявляя грубость, агрессивность по отношению к преподавателю. В основе культуры взаимоотношений между преподавателем и студентом должен находиться диалог. Диалоговая форма взаимодействия, включающая этический компонент, более всего подходит в процессе формирования нравственных отношений.

В восьмом блоке исследовался вопрос о нетерпимости к дискомфортным состояниям партнера по общению. Результаты показали высокий уровень толерантности – 49,3% – к дискомфортным состояниям партнера по общению – это может быть плохое самочувствие или просто усталость, возможно, у человека плохое настроение. Выяснилось, что студенты ВИТИ способны внимательно выслушивать исповеди друзей, проявлять сочувствие и внимание. 26,2% студентов – со средним уровнем толерантности – в основном стараются избегать беседы о неудачной семейной жизни, могут осуждать людей, которые плачутся в чужую жилетку. 16,5 и 8,4% – низкий уровень или отсутствие толерантности – нетерпимы к физическому и психическому дискомфорту партнера по общению, подобное состояние партнера их раздражает, при этом они игнорируют то, что сами тоже могут находиться в подобных состояниях и рассчитывать на понимание и поддержку окружающих. Подобная форма общения деструктивна и приводит к коммуникативным неудачам.

В девятом блоке рассматривалось умение приспосабливаться к другим участникам общения, их привычкам и притязаниям. Высокий и средний уровень толерантности показали практически одинаковый процент опрошенных – 34,3% и 34,5%. Это хороший показатель для студентов технического вуза, демонстрирующий высокие адаптационные умения: они способны легко приспосабливаться к новым партнерам, идти на уступки партнерам по совместной деятельности. Неумение

адаптироваться к характерам, привычкам, установкам или притязаниям других продемонстрировали 9,8%. Для этой группы людей функционально важнее адаптация к самому себе, они будут стараться менять и переделывать партнера, что приведет к коммуникативным неудачам.

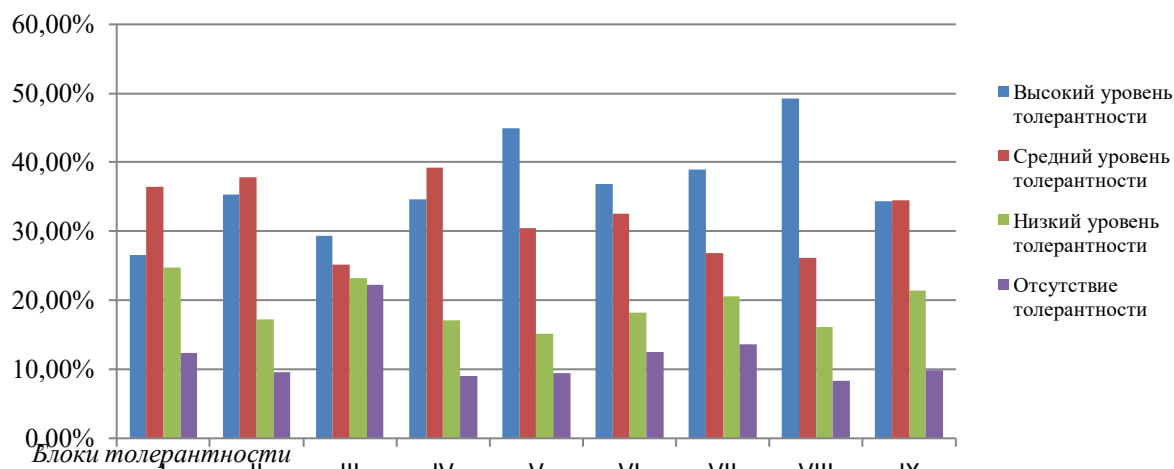


Рисунок 1 – Уровни сформированности коммуникативной толерантности у студентов ВИТИ МИФИ [Levels of communicative tolerance among VITI MEPhI students]

Исходя из полученных показателей, можно сделать вывод, что большинство студентов ВИТИ обладают высоким и средним уровнем коммуникативной толерантности, ведь для специалиста атомщика очень важно уметь конструктивно реагировать в напряженных, конфликтных ситуациях, уметь контролировать собственные эмоции, сохранять уверенность в себе и управлять эмоциями партнера по общению при решении совместных профессиональных задач.

Низкий уровень и полное отсутствие коммуникативной толерантности, представленные на графике (рис. 1), свидетельствуют об абсолютной нетерпимости к окружающим и высокой вероятности конфликтов, это говорит о том, что надо развивать данное качество – коммуникативную толерантность – в образовательной среде высшего профессионального образования, внедрить в учебно-воспитательный процесс мероприятия, помогающие откорректировать и раскрыть уровень коммуникативной толерантности. Одной из форм повышения коммуникативной толерантности авторы считают формирование культуры и этики общения на занятиях по дисциплинам «Иностранный язык» и «Основы профессиональной коммуникации на иностранном языке».

Итак, результаты проведенных авторами исследований позволяют сделать вывод, что правила речевого этикета находятся в процессе формирования, происходит трансформация традиционных этикетных средств и появление нового интернет-этикета, который характеризуется свободой самовыражения, стремлением к речетворчеству, уменьшением количества коммуникативных барьеров. Несмотря на удаленный формат работы, этикет необходимо соблюдать, сохраняя нормы и правила живого общения: быть тактичными и вежливыми, уважать себя и других людей, не оскорблять и не игнорировать собеседников, не злоупотреблять анонимностью, общаться грамотно, не отходить от темы в процессе общения. Соблюдение этих правил позволит студентам лучше усваивать материал на занятиях и сделает процесс дистанционного обучения эффективнее.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Моисеева, Н.И. Предпосылки формирования коммуникационной этики: деонтологические основания / Н.И. Моисеева. – 2013. – № 11(267). – URL :

- <http://www.relga.ru/Environ/WebObjects/tgu-www.woa/wa/Main?textid=3633&level1=main&level2=articles>.
2. Легостаева, И.В. Отношение студенческой молодежи к дистанционному формату обучения в условиях пандемии: социологический анализ / И.В. Легостаева // Мир науки. Социология, филология, культурология. – 2021. – № 2. – URL : <https://sfk-mn.ru/PDF/17SCSK221.pdf> [доступ свободный].
 3. Оноприенко, Ю.В. Культура общения студентов как актуальный вопрос образования / Ю.В. Оноприенко, Т.В. Третьякова. – URL : <https://scienceforum.ru/2012/article/2012001728>.
 4. Борзунова, А.К. Коммуникативные неудачи как следствие нарушения речевого этикета / А.К. Борзунова. // Молодой ученый. – 2012. – № 8(43). – С. 79-83. – URL : <https://moluch.ru/archive/43/5176/>.
 5. Кодекс этики и служебного поведения работников Госкорпорации «Росатом». – URL : <https://rosatom.ru/upload/iblock/d08/d08a5dc6dedea5cf251f81e14f8742d7.pdf>.
 6. Кронгауз, М.А. Русский язык на грани нервного срыва / М.А. Кронгауз. – URL: <http://philology.by/uploads/logo/krongauz2008.pdf>
 7. Дорофеев, А.А. Этикет в повседневной культуре студентов / А.А. Дорофеев // Педагогика высшей школы. – 2016. – № 3(6). – С. 18-21. – URL: <https://moluch.ru/th/3/archive/43/1349/>.
 8. Введенская, Л.А. Русский язык и культура речи. Справочное пособие. / Л.А. Введенская, Л.Г. Павлова, Е.Ю. Кашаева. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2002 – 384 с.
 9. Захарова, Л.В. Культура речи как условие эффективного общения будущих инженеров / Л.В. Захарова, И.В. Зарочинцева, Л.А. Гунина, Ю.А. Лупиногина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Гуманитарные науки. – 2018. – № 6-2. – С. 102-106.
 10. Захарова, Л.В. Культура делового общения как важный фактор профессионального становления специалистов / Л.В. Захарова, Л.А. Гунина // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Русский и иностранные языки и методика их преподавания. – 2016. – № 4. – С. 156-165.
 11. Захарова, Л.В. Коммуникативные компетенции в процессе обучения иностранному языку в техническом вузе / Л.В. Захарова, Л.А. Гунина // Иностранные языки: лингвистические и методические аспекты :межвуз. сб. науч. тр. – Тверь, 2015. – Вып. 30. – С. 66-74.
 12. Гришук, В.М. Формирование коммуникативной толерантности у студентов гуманитарных специальностей в вузе: автореф. дис. ... канд. пед. наук / В.М. Гришук. – Киров, 2005. – 20 с.
 13. Бойко, В.В. Коммуникативная толерантность: метод. пособие / В.В. Бойко. – Санкт-Петербург : СПбМАПО, 2015. – 365 с.

REFERENCES

- [1] Moiseeva N.I. Predposylki formirovaniya kommunikacionnoj etiki: deontologicheskie osnovaniya [Prerequisites for communication ethics: deontological foundations]. 2013. №11(267). URL: <http://www.relga.ru/Environ/WebObjects/tgu-www.woa/wa/Main?textid=3633&level1=main&level2=articles> (in Russian).
- [2] Legostaeva I.V. Otnoshenie studencheskoj molodezhi k distancionnomu formatu obucheniya v usloviyah pandemii: sociologicheskij analiz [Student attitudes towards distance learning in a pandemic: sociological analysis]. Mir nauki. Sociologiya, filologiya, kul'turologiya [World of Science. Sociology, Philology, Cultural Studies]. 2021. №2. URL : <https://sfk-mn.ru/PDF/17SCSK221.pdf> (in Russian).
- [3] Onoprienko Yu.V., Tret'yakova T.V. Kul'tura obshcheniya studentov kak aktual'nyj vopros obrazovaniya [Culture communication students as actual question of education] URL: <https://scienceforum.ru/2012/article/2012001728> (in Russian).
- [4] Borzunova A.K. Kommunikativnye neudachi kak sledstvie narusheniya rechevogo etiketa [Communicative failures as a consequence of speech etiquette breaches]. Molodoy uchenyj [Young Scientist]. 2012. №8(43). P.79-83. URL: <https://moluch.ru/archive/43/5176/> (in Russian).
- [5] Kodeks etiki i sluzhebnogo povedeniya rabotnikov Goskorporacii «Rosatom» [Code of ethics and business conduct of ROSATOM Employees]. URL: <https://rosatom.ru/upload/iblock/d08/d08a5dc6dedea5cf251f81e14f8742d7.pdf> (in Russian).
- [6] Krongauz M.A. Russkij yazyk na grani nervnogo sryva [The Russian language is on the point of nervous breakdown]. URL: <http://philology.by/uploads/logo/krongauz2008.pdf> (in Russian).
- [7] Dorofeev A.A. Etiket v povsednevnoj kul'ture studentov [Etiquette in the daily culture of students]. Pedagogika vysshej shkoly [Pedagogy of Higher Education]. 2016. №3(6). P.18-21. URL: <https://moluch.ru/th/3/archive/43/1349/> (in Russian).
- [8] Vvedenskaya L.A., Pavlova L.G., Kashaeva E.Yu. Russkij yazyk i kul'tura rechi. Spravochnoe posobie. Seriya «Vysshij ball» [Russian language and culture of speech. Reference book. «A-Level

- Results» series]. Rostov-na-Donu: Feniks [Rostov-on-Don: Phoenix]. 2002. 384 p. (in Russian).
- [9] Zaharova L.V., Zarochintseva I.V., Gunina L.A., Lupinogina Yu.A. Kul'tura rechi kak uslovie effektivnogo obshcheniya budushchih inzhenerov [Speech culture as a prerequisite for effective communication of future engineers]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Gumanitarnye nauki* [Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Humanitarian sciences]. 2018. № 6-2. P. 102-106 (in Russian).
- [10] Zaharova L.V., Gunina L.A. Kul'tura delovogo obshcheniya kak vazhnyj faktor professional'nogo stanovleniya specialistov [The culture of business communication as an important factor in the professional development]. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Russkij i inostrannye yazyki i metodika ih prepodavaniya* [Bulletin of peoples' friendship university of Russia. series: russian and foreign languages and their teaching methodology]. 2016. № 4. P. 156-165 (in Russian).
- [11] Zaharova L.V., Gunina L.A. Kommunikativnye kompetencii v processe obucheniya inostrannomu yazyku v tekhnicheskom vuze [Communicative competences in foreign language teaching in a technical university]. *Inostrannye yazyki: lingvisticheskie i metodicheskie aspekty: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Foreign languages: linguistic and methodological aspects: interuniversity collection of scientific works]. Tver, 2015. Issue 30. P. 66-74 (in Russian).
- [12] Grishuk V.M. Formirovanie kommunikativnoj tolerantnosti u studentov gumanitarnyh special'nostej v vuze: avtoref. dis. ... kand. ped. Nauk [Formation of communicative tolerance in humanities students at higher education institution: Thesis Abstract of PhD in Education]. Kirov, 2005. – 20 p. (in Russian).
- [13] Bojko V.V. Kommunikativnaya tolerantnost': metod. posobie [Communicative tolerance: methodological guide]. SPb.: SPbMAPO [St Petersburg Medical Academy of Postgraduate Education]. 2015. 365 p. (in Russian).

Culture and Ethics of Communication in the Distance Educational Process when Training Nuclear Specialists

**Lyubov V. Zakharova¹, Irina V. Zarochintseva², Yulia A. Lupinogina³,
Olga A. Kikinchuk⁴**

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

¹*zakharova11@mail.ru, ORCID iD: 0000-0003-1496-3935, WoS Researcher ID: M-3905-2018*

²*michael.mus.2000@mail.ru, ORCID iD: 0000-0001-6412-8714, WoS Researcher ID: M-3835-2018*

³*matashonok@mail.ru, ORCID iD: 0000-0002-4327-1172, WoS Researcher ID: M-3826-2018*

⁴*OAKikinchuk@mephi.ru, ORCID iD: 0000-0003-2542-7732, WoS Researcher ID: CAG-0140-2022*

Received by the editorial office on 28/03/2022

After completion on 29/04/2022

Accepted for publication on 12/05/2022

Abstract. The paper considers the problems of formation of culture and ethics of communication in the distance learning process when training nuclear specialists, the basic principles and methods of communication of students online, analyzes the issues of ethics and communicative tolerance of students.

Keywords: culture and ethics of communication, distance education, communicative tolerance.

For citation: Zakharova L.V., Zarochintseva I.V., Lupinogina Yu.A., Kikinchuk O.A. Formation of culture and ethics of communication in the distance educational process during the training of nuclear specialists // *Global nuclear safety*. 2022 Vol. 2(43). P. 93-101.
<http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-09>

AUTHOR INDEX

<i>Arsentieva E.S.</i>	55
<i>Davtyan A.R.</i>	24
<i>Fetisova Yu.A.</i>	15
<i>Golovko M.V.</i>	68
<i>Gorskaya O.I.</i>	15
<i>Hakobyan M.T.</i>	5
<i>Kalashnikov M.V.</i>	55
<i>Kikinchuk O.A.</i>	93
<i>Ksenofontov A.I.</i>	5
<i>Lapkis A.A.</i>	55
<i>Lupinogina Yu.A.</i>	93
<i>Lyskova I.E.</i>	79
<i>Muzafarov A.R.</i>	42
<i>Nakhabov A.V.</i>	24
<i>Nikiforov V.N.</i>	55
<i>Povorov P.V.</i>	55
<i>Razuvaev A.V.</i>	34
<i>Savander V.I.</i>	42
<i>Setrakov A.N.</i>	68
<i>Tomilin S.A.</i>	68
<i>Zakharova L.V.</i>	93
<i>Zarochintseva I.V.</i>	93

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

<i>Акобян М.Т.</i>	5
<i>Арсентьева Е.С.</i>	55
<i>Головко М.В.</i>	68
<i>Горская О.И.</i>	15
<i>Давтян А.Р.</i>	24
<i>Зарочинцева И.В.</i>	93
<i>Захарова Л.В.</i>	93
<i>Калашников М.В.</i>	55
<i>Кикинчук О.А.</i>	93
<i>Ксенофонтов А.И.</i>	5
<i>Лапкис А.А.</i>	55
<i>Лупиногина Ю.А.</i>	93
<i>Лыскова И.Е.</i>	79
<i>Музафаров А.Р.</i>	42
<i>Нахабов А.В.</i>	24
<i>Никифоров В.Н.</i>	55
<i>Поваров П.В.</i>	55
<i>Разуваев А.В.</i>	34
<i>Савандер И.В.</i>	42
<i>Сетраков А.Н.</i>	68
<i>Томилин С.А.</i>	68
<i>Фетисова Ю.А.</i>	15

NOTES FOR AUTHORS

The full text of article intended for publication should be signed by authors, it has to be followed by a certificate of material verification through the anti-plagiarism program (permissible borrowing and self-citation - no more than 20%), an application from the institution in which the work was performed, and an expert resolution on publication possibility.

One file consists of one paper which has the following:

- UDC index;
- the title in Russian and English;
- the structured abstract (200-250 words) in Russian and English;
- keywords in Russian and English (not less than 10 speech units);
- the list of references in Russian and English;
- information about the authors in Russian and English (a surname, a name, a middle name, a work place, a position, an academic degree, a rank and E-mail address, contact phone number);
- ORCID и Researcher ID index of each author (<http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com>).

The article should be structured: introduction (review of problems, objective of work); theory of the issue; a detailed presentation of the methods of conducting experiments, a description of materials and methods of analysis, statistical processing is desirable; the discussion of the results; conclusion. It is enough to describe the objective of the work and the results obtained for articles of a production nature.

The article should contain only the most necessary formulas, it is desirable to abandon the intermediate calculations. The equation editor of Equation 3.0 is recommended to record the formulas. All formulas are aligned to the center of the page, numbered in parentheses on the right and referred to in the text of the article. Inclusion of tables in the article should be appropriate. Tables should be numbered and headings in Russian and English (10 pf). It is desirable that the tables do not exceed one page of text. Figures should be clear when printing in black and white, numbered, figure captions in Russian and English (10 pf), have links in the text and be accompanied by justifications and conclusions. The units of measurement should be given in accordance with the International System (SI).

An article should be processed in the Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 format, 12 point font Times New Roman; print – 1 interval. Please do not use signs of forced transfer and additional gaps. Page parameters: all sides are 2,5 cm. The volume of article has to be no more than 15 pages of the typewritten text, including tables, drawings (no more than 10) and the list of references (12-20 sources). If the text of the article is less than 2500 type characters, it may not be considered.

In order to improve the quality and objectivity of publications, the authors are intended to reflect the advanced scientific experience of foreign countries, Russia and the CIS on the subject matter in the articles. The bibliography should be in accordance with State Standard Specification (GOST) 7.0.100-2018 «Bibliographic Record and Bibliographic Description. General Requirements and Drafting rules». References should include at least 12 sources (no more than 3 references to your own articles). There should be obligatory at least 5 sources later than 2016, and at least 4 references to foreign studies of recent years (from foreign countries, outside the former USSR). References are given at the end of article in order they mentioned. References are highlighted with square brackets. References to foreign sources are given in the original language and are accompanied, in case of translation into Russian, with indication of the translation. Textbooks, reference books, guidelines and recommendations are not included in the list of references. References are provided separately (see the guidelines in

«The List of References Standard in English»). The bibliography in English should be issued according to Scopus standard specification. Indicate article DOI if it in the presence.

To accept an article in the journal you should provide the following materials by e-mail **oni-viti@mephi.ru**:

- an article file in Word format;
- the same file in pdf format signed by the author;
- a certificate of material verification for anti-plagiarism
- an application from the institution where the work is made;
- an expert resolution on publication possibility.

THE LIST OF REFERENCES STANDARD IN ENGLISH

For journals:

- [1] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Analiz i predstavlenie sredy deystviya v sisteme proektirovaniya tehnologii demontazha oborudovaniya pri vyvode iz ekspluatatsii bloka AES [The analysis and representation of the action environment in system of technology design of equipment dismantle during NPP unit taking out of operation] [Global nuclear safety]. 2014. № 1(10). P. 25-31 (in Russian).
- [2] Lobkovskaya N.I., Evdoshkina Yu.A. Professional'noe celepolaganie kak sostavlyayushhaya kul'tury' bezopasnosti budushhego specialista-atomshhika [Professional Goal-Setting as a Component of the Safety Culture of a Future Nuclear Specialist]. Sovremennoe obrazovanie [Modern Education]. 2017. № 1. P. 32-38. URL: http://e-notabene.ru/pp/article_22498.html (in Russian).

For books:

- [3] Mogilev V.A., Novikov S.A., Faykov Yu.I. Tekhnika vzryvnogo eksperimenta dlya issledovaniya mekhanicheskoy stoykosti konstruktsiy. [Explosive experiment techniques for research of mechanical firmness of designs]. Sarov. FGUP «RFYaTs-VNIIEF» [Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics]. 2007. 215 p. (in Russian).

For web-resources:

- [4] Strategia razvitiya transportnogo kompleksa Rostovskoy oblasti do 2030 goda [Development strategy of a transport complex of the Rostov region till 2030]. Oficialnij sait Ministerstva transporta Rostovskoy oblasti [Official site of the Transport Ministry of Rostov region]. 2015. URL: <http://mindortrans.donland.ru/Default.aspx?pageid=107384> (in Russian).

For foreign references:

- [5] Gulyaev M., Bogorovskaia S., Shapkina T. The Atmospheric air condition in Rostov Oblast and its effect on the population health // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. CA. USA. B&M Publishing. 2014. P. 56-60.

For materials of conferences:

- [6] Gerasimov S.I., Kuzmin V.A. Issledovaniye osobennostey initsirovaniya svetochuvstvitelny vzryvchatykh sostavov nekogerentnym izlucheniym [Research of features of initiation are photosensitive explosive structures incoherent radiation] [Works of the International conference «16 Haritonov's scientific readings»]. Sarov. FGUP «RFYaTs-VNIIEF» [Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics]. 2014. P. 90-93 (in Russian).

For materials of conferences (foreign references):

- [7] Ishikawa M. et al. Reactor decommissioning in Japan: Philosophy and first programme. «N power performance and safety. Conference proceedings. Vienna, 28 September – 2 october 1987. V. 5. Nuclear Fuel Cycle». IAEA. Vienna. 1988. P. 121-124.

Editorial office address (for sending printed correspondence):

347360, Russia, Rostov region, Volgodonsk, Lenin Street, 73/94

Editorial office of «Global Nuclear Safety» journal

*E-mail: **oni-viti@mephi.ru***

Tel: +79281883628

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Полный текст статьи, предназначенной для опубликования, должен быть подписан авторами, сопровождаться справкой о проверке материала через программу антиплагиата (допустимые заимствования и самоцитирование – не более 20%), представлением от учреждения, в котором выполнена работа, и экспертным заключением о возможности опубликования.

В одном файле помещается одна статья, частями которой являются:

- индекс УДК;
- название на русском и английском языках;
- структурированная аннотация (200-250 слов) на русском и английском языках;
- ключевые слова (не менее 10-и речевых единиц) на русском и английском языках;
- список литературы на русском и английском языках;
- сведения об авторах (ФИО, место работы, должность, ученая степень, звание, электронный адрес, телефон) на русском и английском языках;
- индексы ORCID и Researcher ID для каждого автора (<http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com>).

Статья должна быть структурирована: введение (обзор проблем, цель работы); теория вопроса; подробное изложение методики проведения опытов, описание материалов и методов анализа, желательна статистическая обработка; обсуждение результатов; заключение. Для статей производственного характера достаточно описать цель работы» и полученные результаты.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться. Для записи формул рекомендуется применять редактор Equation 3.0. Все формулы выравниваются по центру страницы, нумеруются в круглых скобках по правому краю и упоминаться в тексте статьи. Включение таблиц в статью должно быть целесообразным. Таблицы должны иметь нумерацию и заголовки на русском и английском языках (10 пт). Желательно, чтобы таблицы не превышали одной страницы текста. Рисунки должны быть понятными при черно-белой печати, с нумерацией, подписями на русском и английском языках (10 пт), иметь ссылки в тексте и сопровождаться обоснованиями и выводами. Единицы измерения следует давать в соответствии с Международной системой (СИ).

Статья оформляется в Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 через 1 интервал, шрифтом Times New Roman, размером 12 пт, без знаков принудительного переноса и дополнительных пробелов. Поля со всех сторон – 2,5 см. Желательный объем статьи – не более 15 страниц машинописного текста, включая таблицы и рисунки (не более 10-и), список литературы (12-20 источников). Если в тексте статьи менее 2500 знаков, статья может не рассматриваться.

С целью повышения качества и объективности публикаций авторы призваны отражать в статьях передовой научный опыт стран дальнего зарубежья, России и СНГ по рассматриваемой проблематике. Библиография оформляется согласно ГОСТу 7.0.100-2018 (дата введения – 01.07.2019) «Библиографическая запись и библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Список литературы включает в не менее 12-и источников (из них не более 3-х ссылок на собственные работы), с обязательным включением как минимум 5-и источников позднее 2017 г., и не менее 4 ссылок на зарубежные (из стран дальнего зарубежья, за пределами бывшего СССР) исследования последних лет. Список литературы приводится в конце статьи в порядке упоминания в тексте в квадратных скобках номера источника. Ссылки на иностранные источники даются на языке оригинала и сопровождаются, в случае перевода на русский язык, указанием на перевод. Учебники, учебные пособия, академические методические указания и рекомендации не включаются в список литературы. References приводятся после списка литературы на

русском языке (правила оформления см. в разделе The list of references standard in English). Библиография на английском языке должна быть оформлена в соответствии со стандартом Scopus. Укажите артикул DOI, если он есть.

Для принятия статьи в номер журнала необходимо предоставить следующие материалы по электронной почте oni-viti@mephi.ru:

- файл со статьей в формате Word;
- этот же файл в формате pdf с подписью авторов;
- справка о проверке материала на антиплагиат;
- представление от учреждения, в котором выполнена работа;
- экспертное заключение о возможности опубликования.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Для книг с одним автором:

Кесслер, Г. Ядерная энергетика / Г. Кесслер ; перевод с английского Ю.И. Митяев. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 264 с.

Для книг с двумя и более авторами:

Емельянов, И.Я. Управление и безопасность ядерных энергетических реакторов / И.Я. Емельянов, П.А. Гаврилов, Б.Н. Селивестров. – Москва : Атомиздат, 1975. – 280 с.

Для журналов в статье с одним автором:

Пантелей, Д.С. Атомная энергетика как неотъемлемый компонент энергетического комплекса Российской Федерации / Д.С. Пантелей // Наукоедение. – 2017. – Т. 9, № 6. – С. 39.

Для журналов в статье с более четырех авторами:

Обогащение регенерированного урана в двойном каскаде газовых центрифуг с его максимальным возвратом в производство топлива / А.Ю. Смирнов, В.Е. Гусев, Г.А. Сулаберидзе, В.А. Невиница, П.А. Фомиченко // Вестник национального ядерного университета «МИФИ». – 2018. – Том 7, № 6. – С. 449-457.

Для диссертаций:

Беликов, С.О. Разработка методов интенсификации акустических резонансов и снижения уровня вибраций в главном паропроводе АЭС с ВВЭР-1000 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / С.О. Беликов. – Москва, 2013. – 30 с.

Для депонированных работ:

Кондраш, А.Н. Пропаганда книг / А.Н. Кондраш. – Москва, 1984. – 21 с. – Депонировано в НИЦ «Информпечать» 25.07.84. ФН 176.

Описание архивных материалов:

Харитон, Ю.Б. Письмо Б.Л. Ванникову о лаборатории для разработки атомных бомб // ЧУ «Центратомархив». Фонд № 1, опись № 1/с, дело № 228, л. 76-79. – URL : http://elib.biblioatom.ru/text/carhiv_001-1s-228_076/go,0/ (дата обращения : 26.03.2022).

Список ученых, участвующих в работе по использованию атомной энергии. 17 января 1946 // Атомная программа СССР : архивные документы. – ж URL : http://elib.biblioatom.ru/text/arhiv_akademik-artsimovich_2009_386/go,0/ (дата обращения : 03.04.2022).

Материалы конференций:

Сулаберидзе, Г.А. О некоторых разделительных проблемах при вовлечении регенерированного урана в топливный цикл / Г.А. Сулаберидзе, В.Д. Борисевич, Се Цюаньсинь // Сборник докладов IX Всероссийской (Международной) научной конференции «Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул», Россия, Звенигород, 4-8 октября. – Троицк : ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2004. – С. 78.

Шишков, Ю. Россия и мировой рынок: структурный аспект / Ю. Шишков // Социальные приоритеты и механизмы преобразований в России : материалы международной конференции, Москва, 12-13 мая 1998 г. – Москва : Магма, 1993. – С. 19-25.

Для патентов:

Патент 2187888 Российская Федерация, МПК7 Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство : заявитель и патентообладатель Воронежский научно-исследовательский институт связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Чугаева В.И. – 3 с.

Для электронных ресурсов:

Дирина, А.И. Право военнослужащих РФ на свободу ассоциаций / А.И. Дирина // Военное право : сетевой журнал – 2010. – № 2. – URL : <http://voennoepravo.ru/node/2149> (дата обращения: 01.08.2018).

Адрес редакции журнала:

347360, Россия, Ростовская область, г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94. Редакция журнала «Глобальная ядерная безопасность», e-mail: oni-viti@mephi.ru, тел.: +79281883628, Лобковская Надежда Ивановна

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2022, 2(43)

Главный редактор – М.Н. Стриханов, доктор физико-математических наук, профессор

Сдано в набор 06.06.2022 г.

Компьютерная верстка Казак Ю.Ю.

Подписано к печати 15.06.2022 г.

Бумага «Снегурочка» 80 г/м². Объем 7,87 печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ (ф) НИЯУ МИФИ

Цена свободная