

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

GLOBAL NUCLEAR SAFETY

2021, 1(38)

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*)

Denis Flory, Deputy CEO of IAEA (*Austria*)

Liu Daming, Professor of the Chinese Nuclear Power Institute, CIAE (*China*)

Nancy Fragoyannis, Senior Counsellor of the USA Nuclear Regulation Commission (*USA*)

Abdel-Monem Mohamed El-Batahy, Doctor of Technical sciences, Professor (*Egypt*)

Buhach Andrzej, Doctor of Technical sciences, Professor (*Poland*)

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

A.D. Malyarenko, Doctor of Technical sciences, Professor (*Belarus*)

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

P.D. Kravchenko, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

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

A.V. Chernov, 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.V. Palamarchuk, PhD Technical sciences (*Russia*)

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

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

V.P. Povarov, PhD Physics and Mathematics (*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

2021, 1(38)

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 (№ 759)

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)

Дэнис Флори, заместитель генерального директора МАГАТЭ (Австрия)

Лю Дамин, проф. Китайского института ядерной энергетики (Китай)

Нэнси Фрагояннис, старший советник Комиссии по ядерному регулированию США (США)

Абдель-Монем Мохамед Эл-Батахи, д-р техн. наук, проф. (Египет)

Бухач Анджей, д-р техн. наук, проф. (Польша)

М.К. Скаков, д-р физ.-мат. наук, проф. (Казахстан)

А.Д. Маляренко, д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

С.Э. Гоок, к-т техн. наук (Германия)

П.Д. Кравченко, д-р техн. наук, проф. (Россия)

А.П. Елохин, д-р техн. наук, проф. (Россия)

А.В. Чернов, 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.В. Паламарчук, к-т техн. наук (Россия)

А.А. Сальников, к-т техн. наук (Россия)

В.Е. Шукинунов, д-р техн. наук, проф. (Россия)

В.П. Поваров, к-т физ.-мат. наук (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

2021, 1(38)

THE PROBLEMS OF NUCLEAR, RADIATION AND ECOLOGICAL SAFETY

Increase in Purge Modes of the Rostov NPP Water Cooler in Connection with No. 3 and 4 Power Unit Start-Up
O.I. Gorskaya, I.V. Medulka.....7

Justification of System Shape of Technical Diagnostics of Mobile Nuclear- and Radiation Hazardous Objects, Exposed to Unscheduled Impacts
O.A. Gubeladze, A.R. Gubeladze.....18

RESEARCH, DESIGN, CONSTRUCTION AND INSTALLATION OF NUCLEAR FACILITIES MANUFACTURING EQUIPMENT

Methodology Specific Features of Underground Water Thermomonitoring at the Bucher-1 NPP Site in the Islamic Republic of Iran
V.Yu. Ulyanov.....26

Study of Welded Joint Metal Structure under Pulsed Impact on Arc Discharge
S.M. Burdakov, M.B. Damaskina, D.I. Zheletskiy.....38

New Approaches to the Calculation of Round and Annular Plate Bending, as Well as Estimation of Their Lowest Natural Frequencies
A.S. Kravchuk, S.A. Tomilin, A.I. Kravchuk, S.F. Godunov, A.F. Smaliuk.....44

NUCLEAR FACILITIES EXPLOITATION

Research of Secondary Circuit Welded Connections of the Engine Room by the Method of Scanning Contact Potentiometry
A.K. Adamenkov, M.I. Malakhov, V.D. Ozhereliev, V.I. Surin.....57

Operational Reliability of Plate Heat Exchangers Used in NPP
S.A. Kuzin, N.A. Boldyreva, S.B. Kravets.....82

Analysis of WWER-1000 Fuel Deformation Using the Refueling Machine Control System
A.A. Lapkis, A.N. Bezmateva, E.A. Abidova.....84

SAFETY CULTURE, SOCIO AND LEGAL ASPECTS OF TERRITORIAL DEVELOPMENT OF NUCLEAR FACILITIES LOCATION

Strategic Objectives of Industrial Enterprises ' Production Safety in the Aspect of National and Economic Security Priorities of the Russian Federation <i>I.E. Lyskova</i>	94
Issue of Compliance Control Efficiency at Nuclear Industry Enterprises in Economic Crisis Conditions <i>M.V. Golovko, A.N. Setrakov, A.V. Antsibor, S.P. Agapova, I.A. Ukhulina, N.A. Efimenko</i>	110
Independent Work Peculiarities in the Process of Foreign Language Study in Blended Learning Environment While Training Young Specialists for the State Corporation «Rosatom» <i>L.V. Zakharova, N.V. Bunames, I.V. Zarochintseva, Yu.A. Lupinogina M.A. Melkikh</i>	118
Radical Islamism Hazards in Issues of Safety of Nuclear Industry Facility Construction and Operation <i>A.N. Nedorubov1, N.I. Lobkovskaya</i>	127
Author Index of vol. 1, 2021	134

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 1(38), 2021

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Увеличение режимов продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС в связи с пуском энергоблоков № 3 и 4
О.И. Горская, И.В. Медулька7
- Обоснование облика системы технической диагностики подвижных ядерно- и радиационноопасных объектов, подверженных нерегламентированным воздействиям
О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе18

ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

- Особенности методики проведения термомониторинга подземных вод на площадке АЭС Бушер-1 в исламской республике Иран
В.Ю. Ульянов26
- Исследование структуры металла сварных соединений при импульсном воздействии на дуговой разряд
С.М. Бурдаков, М.Б. Дамаскина, Д.И. Желецкий38
- Новые подходы к расчету на изгиб круглых и кольцевых пластин, а также вычисления их низших собственных частот
А.С. Кравчук, С.А. Томилин, А.И. Кравчук, С.Ф. Годунов, А.Ф. Смалюк44

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

- Исследование сварных соединений трубопровода второго контура машинного зала методом сканирующей контактной потенциометрии
А.К. Адаменков, М.И. Малахов, В.Д. Ожерельев, В.И. Сурин57
- Эксплуатационная надежность пластинчатых теплообменников, применяемых на АЭС
С.А. Кузин, Н.А. Болдырева, С.Б. Кравец75
- Анализ деформированного состояния активной зоны ВВЭР-1000 с помощью системы управления машины перегрузочной
А. А. Лапкис, А.Н. Безматьева, Е.А. Абидова84
-

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

Стратегические цели производственной безопасности промышленных предприятий в аспекте приоритетов национальной и экономической безопасности Российской Федерации

И.Е. Лыскова 94

К вопросу об эффективности комплаенс-контроля на предприятиях атомной отрасли в условиях экономического кризиса

*М.В. Головки, А.Н. Сетраков, А.В. Анцибор, С.П. Агапова, И.А. Ухалина,
Н.А. Ефименко* 110

Особенности организации самостоятельной работы в процессе изучения иностранных языков в условиях смешанного обучения при подготовке молодых специалистов для ГК «Росатом»

*Л.В. Захарова, Н.В. Бунамес, И.В. Зарочинцева, Ю.А. Лупиногина,
М.А. Мелких* 118

Риски радикального исламизма в вопросах безопасности строительства и эксплуатации объектов атомной отрасли

А.Н. Недорубов, Н.И. Лобковская 127

Авторский указатель номера 1(38), 2021 133

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.311.25 : 502.51

**УВЕЛИЧЕНИЕ РЕЖИМОВ ПРОДУВКИ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ
РОСТОВСКОЙ АЭС В СВЯЗИ С ПУСКОМ
ЭНЕРГОБЛОКОВ № 3 И 4**

© 2021 О.И. Горская, И.В. Медулька

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

Объектом исследования является водоем-охладитель Ростовской АЭС и приплотинный участок Цимлянского водохранилища. В работе проведена разработка оптимального варианта продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС в круглогодичном режиме для обеспечения нормализации его минерализации, при соблюдении экологических требований по термическому и гидрохимическому загрязнению приплотинного участка Цимлянского водохранилища. Применение современного метода численного моделирования гидродинамики и тепло- и массопереноса, а также метода расчета солевых балансов, основанного на законе сохранения массы, позволило определить наиболее оптимальный режим осуществления продувки водоема-охладителя в круглогодичном режиме, который обеспечит нормализацию и поддержание минерализации воды в водоеме-охладителе при минимальном объеме его продувки и, соответственно, наименьшей степени влияния на термический и гидрохимический режимы приплотинного участка Цимлянского водохранилища.

Ключевые слова: Ростовская АЭС, водоем-охладитель, минерализация воды, Цимлянское водохранилище, приплотинный участок, градирня, продувка, расчет гидрохимического режима, солевой баланс, годовой объем.

Поступила в редакцию 15.02.2021

После доработки 24.02.2021

Принята к печати 04.03.2021

Ростовская атомная станция расположена в Ростовской области, на берегу Цимлянского водохранилища, в 13,5 км от города Волгодонска (рис. 1).



Рисунок 1 – Вид на Ростовскую АЭС с водоема-охладителя
[View of the Rostov NPP from the cooling pond]

Ростовская АЭС относится к серии унифицированных проектов АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000. Строительство станции начато в октябре 1979 года. Начало эксплуатации станции и работы водоема-охладителя приурочено к 2000 году.

Первой очередью строительства станции было предусмотрено сооружение двух энергоблоков №№ 1 и 2 с реакторной установкой типа В-320, мощностью до 1000 МВт. Второй очередью строительства станции предусмотрено сооружение еще двух энергоблоков – №№ 3 и 4 – с реакторной установкой типа В-320, мощностью до 1070 МВт.

Энергоблок № 1 введен в промышленную эксплуатацию в 2001 г., энергоблок № 2 – в 2010 г., энергоблок № 3 – 17 сентября 2015 году, энергоблок № 4 – 28 сентября 2018 года. Ростовская АЭС является одним из крупнейших предприятий энергетики на Юге России. Атомная станция обеспечивает более 50% производства электроэнергии в Ростовской области. Суточная выработка составляет свыше 100 млн. кВт*ч.

Система технического водоснабжения Ростовской АЭС для охлаждения основного оборудования (конденсаторов турбин, конденсаторов ТПН и вспомогательных потребителей машзала) блоков №№ 1 и 2 организована по оборотной схеме, с использованием в качестве охладителя водоема-охладителя Ростовской АЭС, который представляет собой искусственный водоем отсечного типа, образованный путем возведения земляной плотины в мелководной левобережной части приплотинного плеса Цимлянского водохранилища (рис. 2).



Рисунок 2 – Место сброса продувочных вод из водоема-охладителя в Цимлянское водохранилище
[Place of discharge of blowdown water from the cooling reservoir into the Tsimlyansk reservoir]

Система технического водоснабжения основного оборудования (конденсаторов турбин, конденсаторов ТПН и вспомогательных потребителей машзала) энергоблоков №№ 3 и 4 организована по оборотной схеме, в качестве охладителя используются две градирни (по одной на каждый энергоблок). Технологической особенностью системы технического водоснабжения энергоблоков № 3 и № 4 и водохозяйственного баланса водоема-охладителя [1] является сброс вод, поступающих от продувки градирен, в водоем-охладитель. Таким образом, гидрохимический режим водоема-охладителя Ростовской АЭС формируется за счет:

- концентрации солей при испарении воды из водоема-охладителя;
- поступления в водоем-охладитель солей:
 - а) с подпиточной водой из Цимлянского водохранилища,
 - б) при продувке градирен блоков №№ 3 и 4,
 - в) поверхностных стоков с водосборной площади прилегающей территории,
 - г) нормативно очищенных поверхностных стоков с территории станции, нормативно очищенных бытовых стоков, нейтрализованных соледержащих стоков химической водоочистки (ХВО) с учетом ее модернизации;
- уноса солей из водоема-охладителя:
 - а) с фильтрационной водой через земляную плотину,
 - б) при осуществлении продувки водоема-охладителя.

Ввиду планомерно увеличивающейся и значительной минерализации воды в водоеме-охладителе, начиная с 2010 по 2018 год включительно осуществлялась его

ежегодная продувка в течение 62 суток – с 31 марта по 31 мая – в объеме 8,57 млн. м³ [2]. Осуществление сброса продувочных вод градирни энергоблока № 3 усугубило гидрохимический режим водоема-охладителя. Так, по состоянию на начало 2018 года гидрохимический режим водоема-охладителя Ростовской АЭС характеризовался превышением ПДК_{рыб} – минерализация воды в водоеме-охладителе превышала допустимое значение 1000 мг/дм³. Пуск энергоблока № 4 в конце 2018 года в промышленную эксплуатацию и сброс продувочных вод градирни четвертого энергоблока еще более усугубил гидротермический и гидрохимический режимы водоема-охладителя Ростовской АЭС [3].

В 2019 г. Ростовской АЭС был осуществлен переход на новый, рекомендованный АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», режим продувки водоема-охладителя, осуществление продувки расходом 1,6 м³/с с апреля по ноябрь (244 дня в году). Однако, в связи с возникшими причинами технического свойства, осуществление продувки ВО в объеме 33,7 млн. м³ в 2019 году не было осуществлено: фактический объем продувки составил всего 20,7 млн. м³.

Однонаправленное воздействие двух факторов: ввод в промышленную эксплуатацию в сентябре 2018 года энергоблока № 4 и невозможность осуществления продувки водоема-охладителя в 2019 году в требуемом объеме обусловило усугубление ситуации по его гидрохимическому режиму: минерализация воды в водоеме-охладителе по состоянию на 2020 год составляла 1350 мг/дм³.

Эксплуатация водоема-охладителя Ростовской АЭС по гидрохимическим условиям без осуществления его продувки невозможна, так как в условиях постоянного поступления солей с подпиточной водой из Цимлянского водохранилища, продувочной водой градирен энергоблоков №№ 3 и 4 и прочих сбросов в водоем-охладитель, а также значительной величины естественного и дополнительного испарения с водной поверхности водоема-охладителя в нем происходит планомерное постоянное накопление солей.

Нормализация гидрохимического режима водоема-охладителя без осуществления его продувки невозможна. Следует особо отметить, что накопление солей происходило даже в условиях отсутствия сбросов продувочных вод градирен энергоблоков №№ 3 и 4 только по причине постоянного выпаривания воды ВО (пресная вода испаряется, а минерализация увеличивается).

Ввиду вышеуказанных обстоятельств в 2020 году стал актуальным вопрос обоснования нового режима продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС с увеличенным годовым объемом продувки, который позволит нормализовать минерализацию воды в нем и при этом будет оказывать наименьшее влияние на гидротермических и гидрохимический режимы приплотинного участка Цимлянского водохранилища [4].

Выполненные в 2018 году АО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б.Е. Веденеева» исследования по рассмотрению различных вариантов продувки, позволили сделать выводы, что термические режимы водоема-охладителя Ростовской АЭС и приплотинного участка Цимлянского водохранилища в современных условиях эксплуатации не являются лимитирующим обстоятельством для вариантов осуществления продувки в круглогодичном режиме с расходом продувочных вод в диапазоне значений 1,0 ÷ 1,6 м³/с, в этих случаях контролю подлежит только гидрохимический режим водоема-охладителя и приплотинного участка Цимлянского водохранилища.

Оценка возможности осуществления продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС в круглогодичном режиме, а также разработка оптимального варианта продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС для обеспечения нормализации минерализации воды в нем при наименьшей нагрузке на термический и

гидрохимический режимы приплотинного участка Цимлянского водохранилища была проведена в 2020 году АО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б.Е. Веденеева».

При расчетах солевых балансов водоема-охладителя Ростовской АЭС начальная минерализация воды, а также начальная концентрация сульфатов и меди в нем принимались равными 1350 мг/дм³, 400 мг/дм³ и 0,0060 мг/дм³ соответственно.

Для водоема-охладителя Ростовской АЭС при выборе варианта его продувки по гидрохимическим показателям критерием является удержание показателя по минерализации не выше значения ПДК_{рыб.} = 1000 мг/дм³.

Для выполнения численного моделирования распространения гидрохимического загрязнения в приплотинном участке Цимлянского водохранилища при осуществлении продувки водоема-охладителя использовалась разработанная АО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б.Е. Веденеева» трехмерная математическая модель гидродинамики с модулем тепло- и массопереноса, в которой, в том числе, применяются современные $k-\epsilon$ и $k-\omega$ модели турбулентности [5-11]. Полнообъемные сведения об описании используемой численной модели, ее тестированию и верификации представлены в [12].

Алгоритм выполнения расчетов при рассмотрении каждого варианта продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС в круглогодичном режиме включает в себя:

- расчет солевого баланса водоема-охладителя (по концентрациям сульфатов и меди) для среднего по гидрометеорологическим условиям года ($P = 50 \%$) и для жаркого маловодного года ($P = 95 \%$);

- прогноз изменения концентраций сульфатов и меди в воде водоема-охладителя на перспективу работы станции в 40 лет (чередование 18-ти лет со средними гидрометеорологическими условиями и 4-х жарких и маловодных года) при мощности 4000 МВт;

- численное моделирование дисперсии химических примесей в приплотинной части Цимлянского водохранилища при выпуске продувочных вод из водоема-охладителя для среднего по гидрометеорологическим условиям года ($P = 50 \%$) и для жаркого маловодного года ($P = 95 \%$);

- расчет величин концентрации сульфатов и меди в 500-метровых створах от точки выпуска продувочных вод водоема-охладителя в приплотинную часть Цимлянского водохранилища на перспективу работы станции в 40 лет (чередование 18-ти лет со средними гидрометеорологическими условиями и 4-х жарких и маловодных года) при мощности 4000 МВт.

На основании проведенных расчетов [13] выполняется анализ полученных результатов на предмет соблюдения экологических требований по гидрохимическому загрязнению приплотинного участка Цимлянского водохранилища при выпуске продувочных вод из водоема-охладителя Ростовской АЭС и делается вывод о возможности реализации рассматриваемого варианта продувки водоема-охладителя.

Были рассмотрены два варианта осуществления круглогодичной продувки водоема-охладителя:

Вариант № 1 предусматривает осуществление круглогодичной продувки водоема-охладителя с постоянной величиной продувки, равной 1,6 м³/с, годовой объем продувки ВО по Варианту № 1 составляет 50,5 млн. м³.

Анализ прогноза изменения минерализации воды в водоеме-охладителе Ростовской АЭС при осуществлении его продувки по Варианту № 1 позволяет сделать следующие выводы:

- нормализация минерализации воды в водоеме-охладителе прогнозируется через 3 года осуществления его продувки: среднегодовая минерализация воды в нем составит около 935 мг/дм³, а ее максимальное годовое значение – около 990 мг/дм³;

- в первые 4 года осуществления продувки водоема-охладителя минерализация воды в нем интенсивно снижается и стабилизируется к 6-му году: после 5-ти лет осуществления продувки водоема-охладителя среднегодовая минерализация воды в нем прогнозируется в размере около 920 мг/дм^3 , а ее максимальное годовое значение – около 980 мг/дм^3 ;

- с первого года 4-летнего маловодного жаркого периода среднегодовая минерализация воды в водоеме-охладителе возрастает до 970 мг/дм^3 , а ее максимальное годовое значение – до 1045 мг/дм^3 . После завершения 4-летнего маловодного и жаркого периода среднегодовая минерализация воды в водоеме-охладителе прогнозируется в размере 1010 мг/дм^3 , а ее максимальное годовое значение – 1080 мг/дм^3 ;

- после маловодного жаркого 4-летнего периода нормализация минерализации воды в водоеме-охладителе прогнозируется через 2 года, а ее стабилизация – через 3 года.

Вариант № 2 предусматривает осуществление круглогодичной продувки водоема-охладителя с переменной величиной продувки, годовой объем продувки по Варианту № 2 составляет $42,6 \text{ млн. м}^3$.

Анализ прогноза изменения минерализации воды в водоеме-охладителе Ростовской АЭС при осуществлении его продувки по Варианту № 2 позволяет сделать следующие выводы:

- нормализации минерализации воды в водоеме-охладителе не наступает: если среднегодовая минерализация воды в водоеме-охладителе прогнозируется в размере около 995 мг/дм^3 после 3-х лет продувки, то ее максимальное годовое значение со временем опустится только до значения 1020 мг/дм^3 ;

- в первые четыре года осуществления продувки водоема-охладителя минерализация воды в нем интенсивно снижается и стабилизируется к 6-му году: после 5-ти лет продувки водоема-охладителя среднегодовая минерализация воды в нем прогнозируется в размере около 975 мг/дм^3 , а ее максимальное годовое значение – около 1020 мг/дм^3 ;

- с первого года наступления 4-летнего маловодного и жаркого периода среднегодовая минерализация воды в водоеме-охладителе возрастает до 1025 мг/дм^3 , а ее максимальное годовое значение – до 1080 мг/дм^3 . После завершения 4-летнего маловодного и жаркого периода среднегодовая минерализация воды в водоеме-охладителе прогнозируется в размере 1075 мг/дм^3 , а ее максимальное годовое значение – 1120 мг/дм^3 ;

- после окончания маловодного жаркого 4-летнего периода, нормализация минерализации в водоеме-охладителе до среднегодового значения 990 мг/дм^3 прогнозируется через 2 года, при этом ее максимальное годовое значение будет по-прежнему превышать $\text{ПДК}_{\text{рыб}} 1000 \text{ мг/дм}^3$.

Подводя итоги рассмотрения данных вариантов, можно сказать, что только Вариант № 1 может рассматриваться как возможный для нормализации минерализации воды в водоеме-охладителе. Однако, даже при таком варианте продувки, при наступлении жарких маловодных лет, минерализация воды в водоеме-охладителе будет превышать $\text{ПДК}_{\text{рыб}}$, но это превышение будет незначительным – около 10 %.

По результатам проведенных расчетов гидрохимического режима приплотинного участка Цимлянского водохранилища при осуществлении продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС в круглогодичном режиме по Варианту № 1, с расходом продувочной воды $1,6 \text{ м}^3/\text{с}$ (равномерно в течение года), были сделаны выводы:

1. Для годовых периодов, как со средними гидрометеорологическими условиями, так и для жарких маловодных лет, в 500-метровых створах от точки выпуска продувочных вод из водоема-охладителя Ростовской АЭС при его продувке по Варианту № 1 будет наблюдаться превышение $\text{ПДК}_{\text{рыб}}$ как по сульфатам, так и по меди.

2. Выраженная внутригодовая неравномерность по концентрации сульфатов и меди в акватории приплотинного участка Цимлянского водохранилища свидетельствует о необходимости перераспределения годового объема продувки водоема-охладителя с целью снижения его влияния на гидрохимический режим Цимлянского водохранилища в зимние месяцы.

3. Ввиду отмеченных обстоятельств, был выполнен ряд дополнительных расчетов с целью определения оптимального объема продувки для нормализации минерализации воды в водоеме-охладителе и ее поддержания на перспективу, а также минимально возможного влияния на гидрохимический режим приплотинного участка Цимлянского водохранилища во все фазы годового гидрологического цикла водного объекта.

Таким образом, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» был предложен к рассмотрению третий дополнительный вариант круглогодичной продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС с переменной в разрезе года величиной расхода продувки (табл. 1).

Таблица 1 – Величина продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС в разрезе водохозяйственного года и ее годовой объем по дополнительному Варианту № 3 [The amount of blowdown of the cooling pond of the Rostov NPP in the context of the water management year and its annual volume according to the additional Option No. 3]

Месяц	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	Годовой объем продувки V, млн.м ³
Величина продувки Q, м ³ /с	0,4	1,6	3,2	3,2	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	0,4	0,4	0,4	46,3

Как видно из таблицы 1, величина продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС в зимние месяцы (декабрь-март) уменьшена в 4 раза – с 1,60 м³/с до 0,40 м³/с. При этом, чтобы сохранить необходимый годовой объем продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС, величина продувки в половодные месяцы (май-июнь) увеличена в 2 раза – с 1,60 м³/с до 3,20 м³/с. Также отметим, что годовой объем продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС по дополнительному Варианту № 3 составляет 46,3 млн. м³ и является оптимальным (минимально допустимым) объемом продувки ВО для нормализации минерализации ВО и ее поддержания на перспективу эксплуатации АЭС при мощности 4000 МВт с учетом незначительного превышения ПДК_{рыб} в период жарких маловодных лет.

Такой режим продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС позволяет снизить нагрузку на гидрохимический режим приплотинного участка Цимлянского водохранилища при осуществлении продувки водоема-охладителя в зимние месяцы (в период ледостава) и в целом сбалансировать нагрузку на гидрохимический режим внутри года.

Анализ водохозяйственных балансов водоема-охладителя Ростовской АЭС позволяет констатировать, что при осуществлении его продувки по дополнительному Варианту № 3 возможность поддержания НПУ в водоеме-охладителе при его подпитке из Цимлянского водохранилища в жаркие маловодные годы сохраняется. В годы со средними гидрометеорологическими условиями из-за низкой величины продувки водоема-охладителя в зимние месяцы, уровень воды в нем весной будет достигать до 36,13 м абс., что незначительно превышает НПУ.

При анализе прогноза изменений минерализации воды в водоеме-охладителе Ростовской АЭС при осуществлении его продувки по дополнительному Варианту № 3 можно сделать следующие выводы:

– нормализация минерализации воды в водоеме-охладителе прогнозируется через 3 года осуществления его продувки: среднегодовая минерализация воды в нем составит около 970 мг/дм^3 , а ее максимальное годовое значение – около 1000 мг/дм^3 ;

– в первые 4 года осуществления продувки водоема-охладителя минерализация воды в нем интенсивно снижается и стабилизируется к 6-му году: после 5-ти лет продувки водоема-охладителя среднегодовая минерализация воды в нем прогнозируется в размере около 950 мг/дм^3 , а ее максимальное годовое значение – около 985 мг/дм^3 ;

– с первого года наступления маловодного жаркого 4-летнего периода среднегодовая минерализация воды в водоеме-охладителе возрастает до 995 мг/дм^3 , а ее максимальное годовое значение – до 1040 мг/дм^3 . После 4-го года среднегодовая минерализация воды в водоеме-охладителе прогнозируется в размере 1050 мг/дм^3 , а ее максимальное годовое значение – 1075 мг/дм^3 ;

– после завершения маловодного жаркого 4-летнего периода нормализация минерализации воды в водоеме-охладителе прогнозируется через 2 года, а ее стабилизация – через 4 года.

Таким образом, по критерию нормализации минерализации в водоеме-охладителе и удержания ее при эксплуатации Ростовской АЭС на перспективу 40 лет при мощности 4000 МВт, Вариант № 3 оказался наиболее оптимален к реализации.

Анализ прогноза изменения содержания сульфатов и меди в водоеме-охладителе Ростовской АЭС, а также их превышения ПДК_{рыб} в акватории приплотинного участка Цимлянского водохранилища при осуществлении продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС по дополнительному Варианту № 3 позволяет сделать следующие выводы:

По концентрации сульфатов:

– в первый год осуществления продувки водоема-охладителя среднегодовая концентрация сульфатов в акватории приплотинного участка Цимлянского водохранилища (в 500-метровых створах от точки выпуска продувочных вод водоема-охладителя) прогнозируется в размере около $110\text{--}115 \text{ мг/дм}^3$ (превышение ПДК_{рыб} на 10,0-15,0 %), а ее максимальные за год среднедекадные значения – около $125\text{--}135 \text{ мг/дм}^3$ (превышение ПДК_{рыб} на 25,0-35,0 %);

– через 4 года осуществления продувки водоема-охладителя концентрация сульфатов в воде приплотинного участка Цимлянского водохранилища стабилизируется: среднегодовая концентрация сульфатов будет составлять около 105 мг/дм^3 (превышение ПДК_{рыб} на 5,0 %), а ее максимальные за год среднедекадные значения – около $110\text{--}115 \text{ мг/дм}^3$ (превышение ПДК_{рыб} на 10,0-15,0 %);

– при наступлении маловодного жаркого 4-летнего периода, среднегодовая концентрация сульфатов в акватории приплотинного участка Цимлянского водохранилища возрастает до $105\text{--}115 \text{ мг/дм}^3$ (превышение ПДК_{рыб} на 5,0-15,0 %), а ее максимальные за год среднедекадные значения – до $120\text{--}140 \text{ мг/дм}^3$ (превышение ПДК_{рыб} на 20,0-40,0 %);

– после окончания маловодного жаркого 4-летнего периода концентрация сульфатов в воде приплотинного участка Цимлянского водохранилища восстанавливается до стабильных значений примерно через 3 года.

По концентрации меди:

– в первый год осуществления продувки водоема-охладителя среднегодовая концентрация меди в воде приплотинного участка Цимлянского водохранилища (в 500-метровых створах от точки выпуска продувочных вод водоема-охладителя) прогнозируется в размере около $0,0012\text{--}0,0013 \text{ мг/дм}^3$ (превышение ПДК_{рыб} на 20,0-30,0 %), а ее максимальные за год среднедекадные значения – около $0,0014\text{--}0,0017 \text{ мг/дм}^3$ (превышение ПДК_{рыб} на 40-70 %);

– через 3 года осуществления продувки водоема-охладителя концентрация меди в воде приплотинного участка Цимлянского водохранилища стабилизируется: среднегодовая концентрация меди будет составлять около 0,0012-0,0013 мг/дм³ (превышение ПДК_{рыб} на 20,0-30,0 %), а ее максимальные за год среднедекадные значения – около 0,0014-0,0015 мг/дм³ (превышение ПДК_{рыб} на 40,0-50,0 %);

– при наступлении жаркого маловодного 4-летнего периода, который следует после стабилизации концентрации меди в воде приплотинного участка Цимлянского водохранилища, среднегодовая концентрация меди в нем возрастает до 0,0013-0,0015 мг/дм³ (превышение ПДК_{рыб} на 30,0-50,0 %). Максимальные за год ее среднедекадные значения – до 0,0017-0,0021 мг/дм³ (превышение ПДК_{рыб} на 70,0-110 %);

– после окончания маловодного жаркого 4-летнего периода, концентрация меди в воде приплотинного участка Цимлянского водохранилища восстанавливается до стабильных значений через 2 года.

Итоговые выводы для дополнительного Варианта № 3 осуществления продувки в круглогодичном режиме следующие:

1. В целом, для годовых периодов, как со средними гидрометеорологическими условиями, так и для жарких маловодных лет, в 500-метровых створах от точки выпуска продувочных вод из водоема-охладителя Ростовской АЭС при его продувке по дополнительному Варианту № 3 будет наблюдаться превышение ПДК_{рыб} как по сульфатам, так и по меди.

2. Однако, в сравнение с Вариантом № 1, дополнительный Вариант № 3 продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС существенно конкурентнее практически по всем параметрам. Ниже представлено детальное сравнение Варианта № 3 с Вариантом № 1 для 40-летнего периода перспективы эксплуатации РоАЭС при мощности 4 000 МВт.

В течение 18-летнего периода со средними по гидрометеорологическим параметрам условиями для гидрохимического режима приплотинного участка Цимлянского водохранилища характерно:

первый год продувки водоема-охладителя:

– среднегодовое превышение ПДК_{рыб} сульфатов снижается на 5 % по сравнению с Вариантом № 1, а по ионам меди – на 20 %;

– максимальные среднедекадные превышения ПДК_{рыб} сульфатов за год снижаются на 35 % по сравнению с Вариантом № 1, а меди – на 60 %;

– период характеризуется относительно равномерным распределением нагрузки на гидрохимический режим приплотинного участка Цимлянского водохранилища, без продолжительных периодов превышения ПДК_{рыб} по содержанию сульфатов и меди;

период стабильного гидрохимического режима (примерно с 4-го года в ряду 18-летнего периода со средними гидрометеорологическими условиями):

– среднегодовые превышения ПДК_{рыб} сульфатов снижены на 5 % по сравнению с Вариантом № 1, а меди – на 10 %;

– максимальные среднедекадные превышения ПДК_{рыб} сульфатов за год снижены на 10 % по сравнению с Вариантом № 1, а меди – на 30 %;

– относительно ровное внутригодовое распределение нагрузки на гидрохимический режим, без затяжных периодов с максимальным превышением ПДК_{рыб} сульфатов и меди.

В течение 4-летнего жаркого и маловодного периода для гидрохимического режима приплотинного участка Цимлянского водохранилища характерно:

– среднегодовые превышения ПДК_{рыб} сульфатов снижены по сравнению с Вариантом № 1 на 5 %, а меди – на 10 %;

– максимальные среднедекадные превышения ПДК_{рыб} по содержанию сульфатов по сравнению с Вариантом № 1 сопоставимы, а меди – увеличены на 15 %.

– относительно равномерное внутригодовое распределение нагрузки на гидрохимический режим, без продолжительных периодов с максимальным превышением ПДК_{рыб} по содержанию сульфатов и меди.

3. При рассмотрении результатов расчетов по Варианту № 3, в части содержания меди и превышения по ПДК_{рыб} в акватории приплотинного участка Цимлянского водохранилища, необходимо учитывать, что этот показатель относится к малым величинам, не превышает точность проведения измерений, а также возможного обеспечения точности численного моделирования. Так, например, превышение ПДК_{рыб} по меди на 40 % означает, что в абсолютных значениях это составляет всего 0,0004 мг/дм³.

4. Дополнительный Вариант № 3 продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС с переменной в разрезе года величиной продувочных вод (от 0,40 м³/с до 3,2 м³/с) является наиболее оптимальным из всех возможных вариантов при существующей технологической схеме осуществления продувки водоема-охладителя. Вариант № 3 предполагает минимально допустимый годовой объем продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС для нормализации минерализации воды в нем, а также позволяет получить относительно равномерную (внутри года) и наименьшую из возможных в рассматриваемых условиях нагрузку на гидрохимический режим приплотинного участка Цимлянского водохранилища при осуществлении продувки водоема-охладителя.

Учитывая все вышеизложенные факторы Ростовской АЭС был принят Вариант № 3 осуществления продувки в круглогодичном режиме с переменной в разрезе года величиной расхода продувки. 01.09.2020 года Донским бассейновым водным управлением Федерального агентства водных ресурсов Ростовской АЭС было выдано Решение о предоставлении водного объекта в пользование на осуществление круглогодичной продувки водоема-охладителя с разрешенным объемом сброса продувочных вод 46344,96 тыс. м³/год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водный баланс водоема-охладителя Ростовской АЭС, 2020 г. // Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция». – 2020. – 3 с.
2. Горская, О.И. Обеспечение экологически приемлемого состояния системы оборотного водоснабжения атомной станции при применении технологии «продувки» водоема-охладителя Ростовской АЭС / О.И. Горская // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 2(19). – С. 16-28.
3. Отчет о качестве сточных, чистых (без очистки) и поверхностных вод Ростовской АЭС, 2019 г. // Эколого-аналитический центр Филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция». – 2020. – 72 с.
4. Правила использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища. Утверждены приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 114 от 02.06.2016 г. – Москва. – 2016. – 105 с.
5. РД 153-34.2-21.144-2003 Методические указания по технологическим расчетам водоемов-охладителей // ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». – Санкт-Петербург, 2004. – 55 с.
6. Churuksaeva V, Starchenko A. Mathematical modeling of a river stream based on a shallow water approach. *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 66, pp. 200-209.
7. Fe J., Navarrina F., Puertas J., Vellando P., Ruiz D. Experimental validation of two depth averaged turbulence models. *International journal for numerical methods in fluids*, 2000.
8. Vazquez-Cendon M.E., Cea L., Puertas J. The shallow water model: the relevance of geometry and turbulence. *Monografias de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza*, 2009, 31, pp. 217-236.
9. Rodriguez-Cuevas C., Couder-Castaneda C., Flores-Mendez E., Herrera-Diaz I.E., Cisneros-Almazan R. Modelling Shallow Water Wakes Using a Hybrid Turbulence Model. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Applied Mathematics*, 2014, article ID 714031, 10 p.
10. Вольцингер, Н.Е. Длинноволновая динамика прибрежной зоны / Н.Е. Вольцингер, К.А. Клеванный, Е.Н. Пелиновский. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. – 272 с.

11. Боуден, К. Физическая океанография прибрежных вод / К. Боуден : пер. с англ. – Москва : Мир, 1988. – 324 с.
12. Научно-технический отчет «Определение влияния продувки градиентных блоков 3,4 на гидрохимический режим водоема-охладителя РОАЭС блоков №№ 1, 2 и Цимлянское водохранилище, определение оптимального объема продувки водоема-охладителя, согласование увеличения квоты сброса продувочных вод водоема-охладителя с Федеральным агентством водных ресурсов», 2018 г. // АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». – Санкт-Петербург, 2018. – 117 с.
13. Научно-технический отчет «Оценка влияния продувки градиентных блоков №№ 3 и 4 в круглогодичном режиме на гидрохимический режим водоема-охладителя РОАЭС (Блоки №№ 1 и 2) и Цимлянское водохранилище», 2020 г. // АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». – Санкт-Петербург, 2020. – 114 с.

REFERENCES

- [1] Vodnyy balans vodoyoma-okhladitelya Rostovskoy AES, 2020 g. [Water Balance of the Cooling Pond of Rostov NPP, 2020]. Filial AO «Kontsern Rosenergoatom» «Rostovskaya atomnaya stantsiya» [«Rostov nuclear power plant» Branch of Rosenergoatom Concern JSC]. 2020. 3 p. (in Russian).
- [2] Gorskaya O.I. Obespecheniye ekologicheskoy priyemlemogo sostoyaniya sistemy oborotnogo vodosnabzheniya atomnoy stantsii pri primeneniі tekhnologii «produvki» vodoyema-okhladitelya Rostovskoy AES [Ensuring an Environmentally Acceptable State of the Recycling Water Supply System of the Nuclear Power Plant When Using the «Blowdown» Technology of the Cooling Pond of the Rostov NPP]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2016. №2(19). P. 16-28 (in Russian).
- [3] Otchet o kachestve stochnykh, chistyykh (bez ochistki) i poverkhnostnykh vod Rostovskoy AES, 2019 g. [Report on the Quality of Waste, Clean (without Treatment) and Surface Waters of the Rostov NPP, 2019]. Ekologo-analiticheskiy tsentr Filiala AO «Kontsern Rosenergoatom» «Rostovskaya atomnaya stantsiya» [Ecological and Analytical Center of the Branch of Rosenergoatom Concern JSC «Rostov Nuclear Power Plant»]. 2020. 72 p. (in Russian).
- [4] Pravila ispol'zovaniya vodnykh resursov Tsimlyanskogo vodokhranilishcha. Utverzhdeny prikazom Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii № 114 ot 02.06.2016 g. [Rules for the Use of Water Resources of the Tsimlyansk Reservoir. Approved by order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation No. 114 dated 02.06.2016]. Moskva [Moscow]. 2016. 105 p. (in Russian).
- [5] RD 153-34.2-21.144-2003 Metodicheskiye ukazaniya po tekhnologicheskim raschotam vodoyomov-okhladiteley xRD 153-34.2-21.144-2003 Guidelines for Technological Calculations of Cooling Reservoirs]. OAO «VNIIG im. B.Ye. Vedeneyeva» [JSC «VNIIG im. B.E. Vedenev»]. St. Petersburg, 2004. 5 p. (in Russian).
- [6] Vladislava Churuxaeva, Alexander Starchenko. Mathematical Modeling of a River Stream Based on a Shallow Water Approach. Procedia Computer Science, 2015, vol. 66, pp. 200-209 (in English).
- [7] J. Fe, F. Navarrina, J. Puertas, P. Vellando, D. Ruiz. Experimental Validation of Two Depth Averaged Turbulence Models. International Journal For Numerical Methods in Fluids, 2000 (in English).
- [8] M. Elena Vazquez-Cendon, Luis Cea, Jeronimo Puertas. The Shallow Water Model: Relevance of Geometry and Turbulence. Monografias de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza, 2009, 31, pp. 217-236 (in English).
- [9] Clement Rodriguez-Cuevas, Carlos Couder-Castaneda, Esteban Flores-Mendez, Israel Enrique Herrera-Diaz, Rodolfo Cisneros-Almazan. Modelling Shallow Water Wakes Using a Hybrid Turbulence Model. Hindawi Publishing Corporation Journal of Applied Mathematics, 2014, article ID 714031, 10 p. (in English).
- [10] Volzinger N.Ye., Klevanny K.A., Pelinovsky Ye.N. Dlinnovolnovaya dinamika pribrezhnoy zony [Long-Wave Dynamics of the Coastal Zone]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1989. 272 p. (in Russian).
- [11] Bouden K. Fizicheskaya okeanografiya pribrezhnykh vod: perevod s angliyskogo [Physical Oceanography of Coastal Waters: Translation from English]. Moscow: Mir [Moskva: Mir]. 1988. 324 p. (in Russian).
- [12] Nauchno-tekhnicheskiy otchet «Opredeleniye vliyaniya produvki gradirentnykh blokov 3,4 na gidrokhimicheskiy rezhim vodoyoma-okhladitelya RoAES blokov №№ 1, 2 i Tsimlyanskoye vodokhranilishche, opredeleniye optimal'nogo ob'yoma produvki vodoyoma-okhladitelya, soglasovaniye uvelicheniya kvoty sbrosa produvochnykh vod vodoyoma-okhladitelya s Federal'nym agentstvom vodnykh resursov», 2018 g. [Scientific and technical report «Determination of the Effect

- of Blowing Cooling Towers of Blocks 3,4 on the Hydrochemical Regime of the Cooling Pond of RoNPP of Blocks 1, 2 and Tsimlyansk Reservoir, Determination of the Optimal Volume of Blowdown of the Cooling Pond, Approval of an Increase in the Quota of Blowdown Water Discharge of the Cooling Pond with the Federal Agency for Water Resources», 2018]. AO «VNIIG im. B.Ye. Vedeneyeva» [VNIIG im B.E. Vedeneev]. Sankt Peterburg [St. Petersburg]. 2018. 117 p. (in Russian).
- [13] Nauchno-tekhnicheskiy otchet «Otsenka vliyaniya produvki gradiren blokov №№ 3 i 4 v kruglogodichnom rezhime na gidrokhimicheskiy rezhim vodoyoma-okhladitelya RoAES (Blok № 1 i 2) i Tsimlyanskoye vodokhranilishche», 2020 g. [Scientific and Technical Report «Assessment of the Effect of Blowing Cooling Towers of Blocks No. 3 and 4 in a Year-Round Mode on the Hydrochemical Regime of the Cooling Pond of RoNPP (Blocks No. 1 and 2) and Tsimlyanskoe Reservoir», 2020]. AO «VNIIG im. B.Ye. Vedeneyeva» [VNIIG im B.E. Vedeneev]. Sankt Peterburg [St. Petersburg]. 2020. 114 p. (in Russian).

Increase in Purge Modes of the Rostov NPP Water Cooler in Connection with No. 3 and 4 Power Unit Start-Up

O.I. Gorskaya¹, I.V. Medulka²

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

¹ORCID iD: 0000-0003-3377-4654

¹e-mail: gorskaya-oi@vdpnp.rosenergoatom.ru

²e-mail: medulka-iv@vdpnp.rosenergoatom.ru

Abstract – The object of research is the cooling pond of the Rostov NPP and the dam section of the Tsimlyansk reservoir. This work carries out the development of the optimal variant of blowing the cooling pond of the Rostov NPP in a year-round mode to provide the normalization of its mineralization, while observing the environmental requirements for thermal and hydrochemical pollution of the dam section of the Tsimlyansk reservoir. The use of a modern method of numerical modeling of hydrodynamics and heat and mass transfer as well as a method for calculating salt balances based on the law of conservation of mass, made it possible to determine the most optimal mode of blowing a cooling reservoir in a year-round mode which will provide the normalization and maintenance of water salinity in the cooling reservoir with the minimum volume of its blowdown and, accordingly, the least degree of influence on the thermal and hydrochemical regimes of the near-dam section of the Tsimlyansk reservoir.

Keywords: Rostov NPP, cooling pond, water salinity, Tsimlyansk reservoir, dam section, cooling tower, blowdown, hydrochemical regime calculation, salt balance, annual volume.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 623.454:681.518.5

**ОБОСНОВАНИЕ ОБЛИКА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ
ДИАГНОСТИКИ ПОДВИЖНЫХ ЯДЕРНО- И
РАДИАЦИОННООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ
НЕРЕГЛАМЕНТИРОВАННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

© 2021 О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе

Донской государственный технический университет (ДГТУ), Ростов-на-Дону, Россия

Разработка и создание перспективных систем технической диагностики, позволяющих проводить периодический и непрерывный контроль (мониторинг) характеристик и параметров ядерной энергетической установки на подвижном агрегате без непосредственного участия персонала является актуальной задачей. В статье рассматривается возможность создания подобных систем, которые позволят не только выдавать информацию о состоянии объекта, но и способствовать предотвращению аварийных ситуаций.

Ключевые слова: ядерная энергетическая установка, контейнер, подвижный агрегат, нерегламентируемые воздействия, техническая диагностика, контролируемые параметры.

Поступила в редакцию 16.12.2020

После доработки 11.01.2021

Принята к печати 19.01.2021

Технические объекты, в процессе эксплуатации которых при соответствующих обстоятельствах может быть причинен ущерб человеку и окружающей среде, являются потенциально опасными объектами (ПОО). К таким объектам безусловно относятся ядерно- и радиационноопасные объекты (ЯРОО), том числе ядерные энергетические установки (ЯЭУ): атомные электростанции, ЯЭУ судов; космические и летательные аппараты с ядерными источниками энергии; транспортные средства с ЯЭУ; сооружения и комплексы с промышленными, экспериментальными и исследовательскими ядерными реакторами, критическими и подкритическими ядерными стендами, сооружения, комплексы, полигоны, установки и устройства с ядерными зарядами для использования в мирных целях; сооружения, комплексы, установки для производства, использования, переработки, транспортирования ядерного топлива и ядерных материалов; ядерные боеприпасы, входящие в состав ядерных оружейных объектов.

Рассматривая ЯРОО как сложную систему, можно выделить элементы, влияющие на исход аварийной ситуации (АС) в случае нерегламентированных воздействий (НВ) на них [1-4]. Под НВ будем понимать воздействия на объекты внешних факторов с уровнями, превышающими допустимые в условиях нормальной эксплуатации. Основными видами нерегламентированных воздействий на ЯРОО являются: тепловые, ударные, ударно-тепловые, ударно-волновые, химические, электромагнитные, ионизирующие, технологические (рис. 1).

Различают две категории опасности ЯЭУ в составе ЯРОО: I категория – без повышенной взрывоопасности; II – повышенной взрывоопасности. Вообще категория опасности ЯЭУ – есть совокупность качественной и количественной характеристик ее технического состояния, которое свою очередь также разбивается по категориям (табл. 1). На рисунке 2 представлен алгоритм исходов, который использован для

создания системы технической диагностики (СТД) и системы поддержки принятия решения (СППР).



Рисунок 1 – Нерегламентированные воздействия на подвижный ЯРОО [Unregulated impacts on a mobile nuclear and radiation hazardous object]

Таблица 1 – Категории технического состояния [Categories of technical condition]

Категория	Состояние объекта
A	Исправные ЯЭУ, эксплуатируемые в полном соответствии с эксплуатационной документацией
B	ЯЭУ, подвергшиеся нерегламентированным воздействиям, пригодные к использованию по назначению без ограничений
C	ЯЭУ, подвергшиеся нерегламентированным воздействиям, пригодные к использованию по назначению с ограничениями
D	Подвергшиеся нерегламентированным воздействиям неисправные (неработоспособные) ЯЭУ с повреждениями (отказами), устранимыми по эксплуатационной документации
E	Подвергшиеся нерегламентированным воздействиям неисправные (неработоспособные) ЯЭУ с повреждениями (отказами), устранимыми ремонт не предусмотренным эксплуатационной документацией
F	ЯЭУ, подвергшиеся нерегламентированным воздействиям, имеющие повреждения, не допускающие их использование по назначению, но не повышающие их взрывоопасность
G	ЯЭУ, подвергшиеся нерегламентированным воздействиям, имеющие повреждения, повышающие их взрывоопасность. Подлежат обезвреживанию (уничтожению)

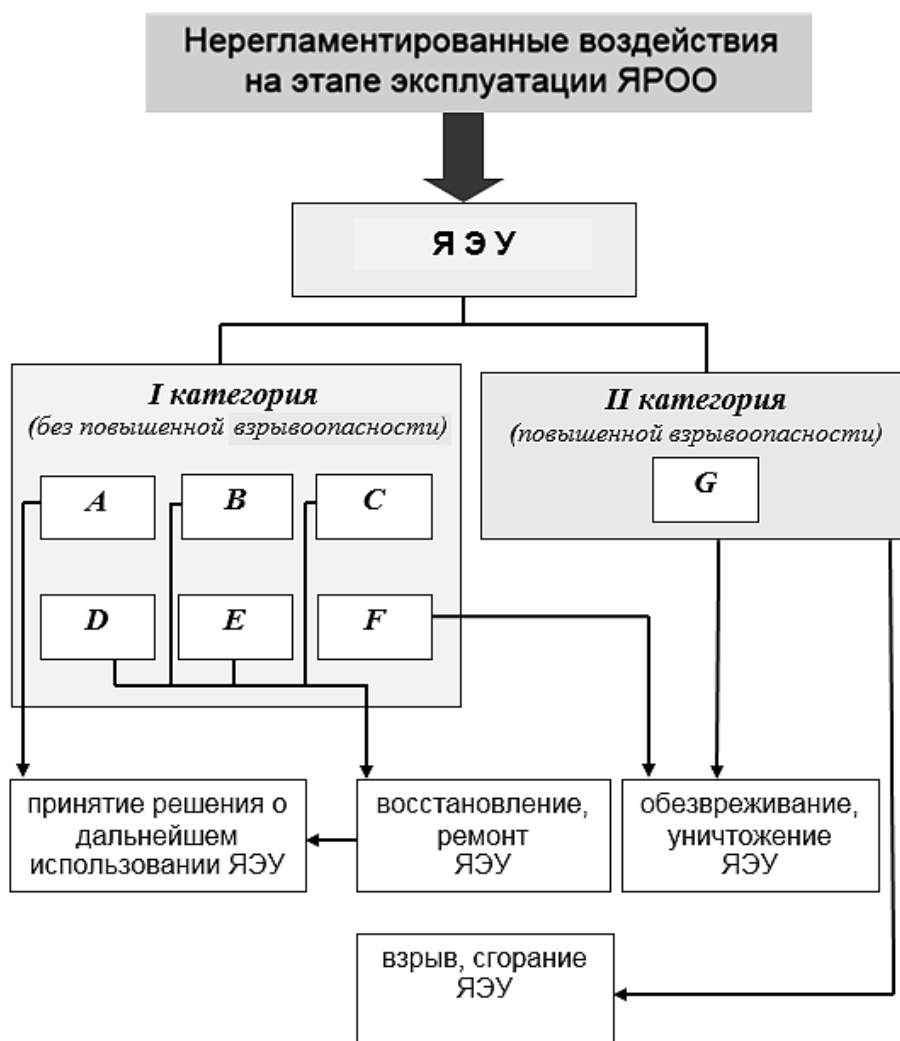


Рисунок 2 – Алгоритм исходов [Algorithm outcomes]

Таким образом, кроме выявления взрывоопасных в обращении ЯЭУ основной целью первичного категорирования является определение возможности дальнейшей эксплуатации и применения установки, подвергшейся НВ. Окончательное категорирование проводится для уточнения категории поврежденного объекта. Однако, сведения о количественных критериях повреждений, сравнение с которыми параметров действительных повреждений позволит установить категорию аварийной ЯЭУ, нуждаются в дополнении и конкретизации. Мероприятия, проводимые при категорировании аварийной установки без радиационного заражения местности, представлены в таблице 2.

Оценка состояния ЯЭУ существующими системами диагностирования, которые удовлетворяют требованиям в период периодических проверок, в аварийной ситуации после НВ во многом будет носить субъективный характер. Это обусловлено тем, что ряд элементов не подлежит проверкам на работоспособность. Особенно сложным будет оценить состояние ЯЭУ, не имеющей заметных повреждений. Серьезную проблему представляет проведение категорирования в условиях радиационного заражения местности. Поэтому разработка и создание перспективных систем технической диагностики, позволяющих проводить периодический контроль характеристик и непрерывный контроль (мониторинг) параметров ЯЭУ без непосредственного участия персонала является актуальной задачей.

Таблица 2 – Мероприятия непосредственной работы с аварийной ЯЭУ [Measures of direct work with an emergency nuclear power plant]

№ п/п	Мероприятия
1.	Выяснение обстоятельств, опрос свидетелей
2.	Оценка аварийной ситуации на месте
3.	Выполнение мероприятий по устранению причин, усугубляющих последствия аварии
4.	Оборудование пункта управления
5.	Расстановка техники и подготовка рабочих мест
6.	Проведение дозиметрического контроля
7.	Уточнение границ зон заражения
8.	Осмотр агрегата, определение порядка доступа к ЯЭУ
9.	Уточнение по формуляру точного количества пожаро- и взрывоопасных элементов в комплектации ЯЭУ
10.	Составление акта осмотра места аварии, его утверждение
11.	Обеспечение устойчивого положения ЯЭУ
12.	Демонтаж отдельных узлов агрегата для извлечения ЯЭУ
13.	Осмотр ЯЭУ и уточнение группы ее аварийности
14.	Установка предохранительных устройств на узлы
15.	Разборка ЯЭУ
16.	Укладка элементов на место выполнения работ
17.	Установление мест повреждения элементов
18.	Принятие решения о проведении в рамках окончательного категорирования экспресс-оценки состояния элементов ЯЭУ
19.	Предварительная оценка по внешним признакам возможных последствий повреждений
20.	Составление перечня узлов элементов ЯЭУ, получивших повреждения
21.	Категорирование ЯЭУ
	21.1 Визуальное обследование – оценка параметров повреждений внешнего покрытия элементов ЯЭУ (форма дефекта, ориентация скола, глубина, диаметр)
	21.2 Применение технических средств неразрушающего контроля для уточнения технического состояния элементов ЯЭУ
22.	Оформление результатов оценки технического состояния ЯЭУ
23.	Оформление результатов проведения работ
24.	Принятие решения о дальнейшем использовании ЯЭУ

Для обоснования состава перспективных СТД необходимо задать совокупность исходных данных и характеристик, связанных с параметрами НВ, а также воздействий, реализуемых в процессе нормальной эксплуатации. Значения характеристик внешних воздействующих факторов определяются из анализа опыта эксплуатации ЯРОО (для регламентированных воздействий), а также выполненного анализа ранее происшедших аварий и проведенных экспериментальных и теоретических исследований возможных инцидентов (для НВ).

Предлагается следующий порядок проведения анализа инцидентов:

1. Установление перечня и интенсивности инцидентов с объектом.
2. Анализ причин и условий НВ на объект.
3. Определение характеристик деструктивных факторов (ДФ).
4. Анализ последствий НВ.
5. Привязка характеристик инцидентов к этапам строительства (эксплуатации).
6. Формирование исходных данных для задания требований к СТД.

В процессе формирования исходных данных должны учитываться даже незначительные воздействия, которые в конечном итоге могут ухудшить характеристики объекта. Однако главным является определение критических воздействий, существенно понижающих уровень ядерной взрывобезопасности [5, 6]. Таким образом, полученные результаты позволяют сформулировать перечень основных требований к создаваемым системам, а в последующем провести выбор необходимого и достаточного состава СТД и их характеристик.

Основные направления исследований по разработке новых методов оценки состояния ЯЭУ заключаются в создании и усовершенствовании средств регистрации характеристик воздействующего фактора, размещаемых на наиболее опасных узлах или в непосредственной близости от них с учетом ограничений, накладываемых требованиями ядерной взрывобезопасности. В частности, это касается размещения в составе ЯЭУ постоянно действующего источника питания и электрических элементов, постоянно находящихся под напряжением.

На настоящий момент проведено моделирование (математическое и физическое) НВ на ЯЭУ в составе подвижного ЯРОО [7-10]. В частности разработаны: математические модели высокотемпературного воздействия в зоне пожара на подвижный ЯРОО; математические модели для исследования взаимодействия со слабodeформируемой преградой при падении (опрокидывание подвижного ЯРОО; падение малогабаритной ЯЭУ); модель комплексного воздействия (тепловое от пожара и ударное от высокоскоростных ударников) на ЯРОО с взрывчатым веществом; модель для исследования глубины проникания ударника в транспортно-упаковочный комплект с ЯРОО с учетом влияния угла подхода; модель определения закона движения корпуса объекта при детонации заряда. С целью подтверждения адекватности моделей проведены экспериментальные исследования.

Создаваемая СТД (рис. 3) проводит два вида контроля [11, 12]:

- непрерывный контроль, проводимый непрерывно или путем опроса соответствующего числа параметров с целью оперативного определения характера и места неисправности объекта контроля (информация о параметрах поступает непрерывно в процессе работы);

- периодический контроль, проводимый по заранее намеченному плану или программе (анализ каждого параметра выполняется через установленные интервалы времени в течение определенного срока эксплуатации).

СТД включает в себя блок непрерывно контролируемых параметров (НКП), блок периодически контролируемых параметров (ПКП) и объединяющий блок. Кроме того, она должна быть интегрирована с информационно-аналитическими СППР.

Назначение СППР для управления безопасностью и ликвидации последствий аварии с подвижными ЯРОО состоит в решении следующего комплекса задач:

- непрерывный автоматизированный мониторинг показателей обеспечения безопасности (условий транспортирования, сохранности ЯРОО и т.д.) с целью контроля и комплексного анализа текущей ситуации на федеральном и региональном уровне;

- анализ территориальной информации и выявление тенденций и закономерностей в накапливаемых данных о транспортируемом ЯРОО;

- прогнозирование состояния транспортируемых ЯРОО и выделение диспропорций в их состоянии;

- анализ влияния факторов различной природы на транспортируемые ЯРОО;

- системное моделирование ЯРОО на основе комплекса взаимосвязанных имитационных и оптимизационных моделей;

- информационно-аналитическая поддержка процесса принятия управленческих решений для оценки последствий аварий с ЯРОО при транспортировке, включающая выполнение многовариантных расчетов сценарного и целевого типа и оценку последствий принятия решения на основе оптимального.

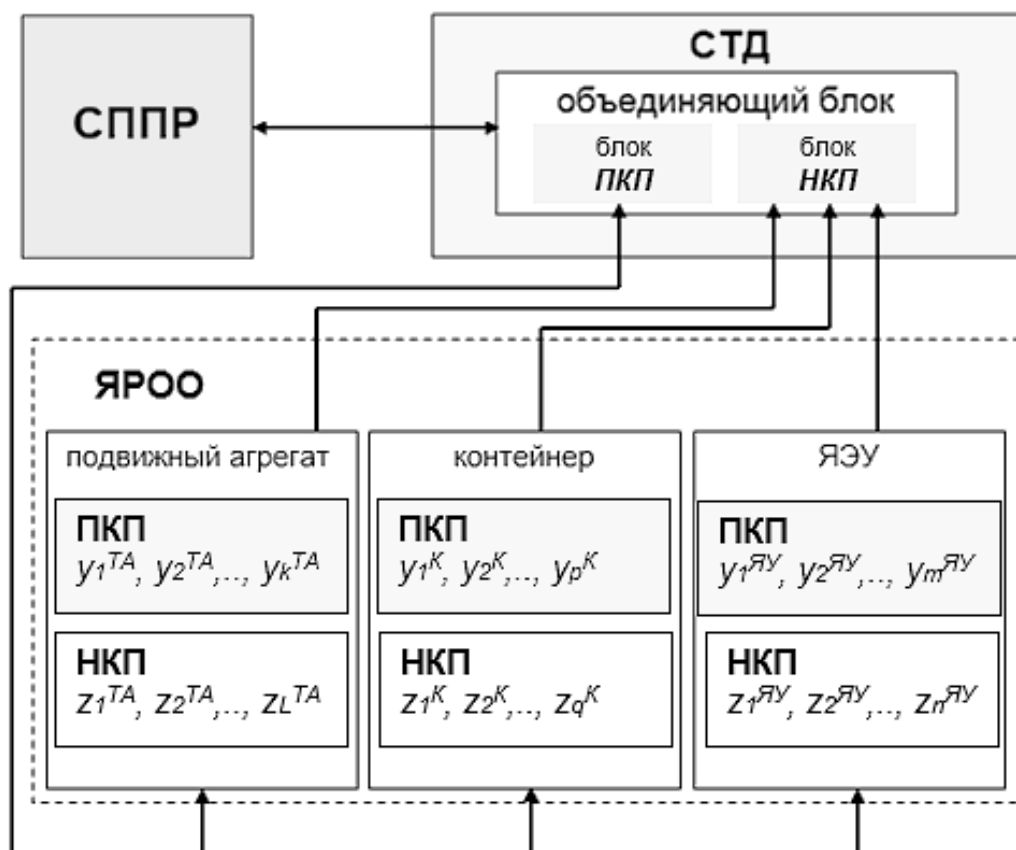


Рисунок 3 – Структура системы диагностики [Structure of the diagnostic system]

Чтобы СППР могла моделировать процесс принятия решения им необходимо придать свойства интеллектуальности (способность к выводу, генерации и конструированию решения, а также решение проблемы нечеткости самого процесса принятия решения). Поэтому в ее состав необходимо включить следующие подсистемы:

- ввода и распознавания необходимой информации;
- обработки полученной информации (подсистема обучения);
- накопления и хранения необходимой информации;
- выработки и принятия решений (подсистема целеполагания);
- общения;
- поддержания целостности системы;
- реализации принятых решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов, В.Н. Безопасность ядерного оружия России / Под ред. В.Н. Михайлова. – Москва : Мин. по атомной энергии. – 1998. – 148 с.
2. Денисов, О.В. Комплексная безопасность населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Проблемы и решения / О.В. Денисов, О.А. Губеладзе, Б.Ч. Месхи, Ю.И. Булыгин; под общ. ред. Ю.И. Булыгина. – Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2016. – 278 с.
3. Радаев, Н.Н. Элементы теории риска эксплуатации потенциально опасных объектов / Н.Н. Радаев. – Москва : ВА РВСН, 1999. – 324 с.
4. Андросюк, В.Н. Перевозки радиоактивных материалов железнодорожным транспортом / В.Н. Андросюк. – Москва : Маршрут, 2004. – 345 с.
5. Приказ Ростехнадзора от 07.06.2013 №248 (ред. от 22.09.2015) Об утверждении Административного регламента по исполнению Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору государственной функции по федеральному государственному надзору в области использования атомной энергии (Зарегистрировано в

- Минюсте России 25.07.2013 №29174). – URL : https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_150393.
6. ГОСТ 26656-85 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. (Утвержден Постановлением Госстандарта России № 362 от 26.12.1994). – URL : <https://internet-law.ru/gosts/gost> – 27.10.2020.
 7. Губеладзе, О.А. Экспресс-оценка результатов нерегламентированных деструктивных воздействий на ядерно- и радиационноопасный объект / О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 4. – С. 24-30.
 8. Губеладзе, О.А. Оценка последствий воздействия кинетических ударников на взрывоопасный объект с малогабаритной ядерной энергетической установкой / О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 3. – С. 33-40.
 9. Губеладзе, О.А. Определение ударных ускорений на элементах конструкции малогабаритной ядерной энергетической установки при ее падении на поверхность / О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2020. – № 1. – С. 7-16.
 10. Губеладзе, О.А. Исследование движения высокоскоростного ударника в многофункциональном покрытии перспективной конструкции контейнера с установкой, содержащей ядерноопасные делящиеся материалы / О.А. Губеладзе, С.В. Федоренко, П.О. Губеладзе // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2010. – № 5 (спецвыпуск). – С. 134-136.
 11. Тюрин, Р.Л. Предложения по созданию системы мониторинга транспортируемых ядерно- и радиационноопасных объектов / Р.Л. Тюрин // Проблемы обеспечения безопасности потенциально опасных объектов : сборник научных трудов. – Москва : ВА РВСН, 2006. – С. 51-62.
 12. ГОСТ 20911-89 Межгосударственный стандарт. «Техническая диагностика» (Утвержден Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 26.12.89 N 4143. Переиздание ноябрь 2009 г.). – URL : <https://internet-law.ru/gosts/gost/50555/> – 17.09.2020.

REFERENCES

- [1] Malinovskiy G.N. Zapiski raketichika [Notes of a rocket]. Moskva: Ministerstvo po atomnoy energii [Moscow: Ministry of Atomic Energy]. 1999. 207 p. (in Russian).
- [2] Denisov O.V., Gubeladze O.A., Meskhi B.Ch., Bulygin Yu.I. Kompleksnaya bezopasnost' naseleniya i territoriy v chrezvychnykh situatsiyax. Problemy i resheniya: monografiya [Complex Safety of the Population and Territories in Emergency Situations. Problems and Solutions.]. Rostov-na-Donu: Izdatel'skiy tsentr DGTU [Rostov-on-Don: Publishing center Don State Technical University]. 2016. 278 p. (in Russian).
- [3] Radaev N.N. Elementy teorii riska expluatacii potencialno opasnykh ob'ektov [Elements of Risk Theory of Operation of Potentially Dangerous Objects]. Moskva: VA RVSН [Moscow: VA Strategic Missile Forces]. 1999. 324 p. (in Russian).
- [4] Androsjuk V.N. Perevozki radioaktivnykh materialov geleznodorognym transportom [Transportation of Radioactive Materials by Rail]. Moskva: Marshrut [Moscow: Marshrut]. 2004. 345 p. (in Russian).
- [5] Prikaz Rostekhnadzora ot 07.06.2013 №248 (red. ot 22.09.2015) Ob utverzhdenii Administrativnogo reglamenta po ispolneniiu Federalnoi sluzhboi po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru gosudarstvennoi funktsii po federalnomu gosudarstvennomu nadzoru v oblasti ispolzovaniia atomnoi energii (Zaregistrovano v Miniuste Rossii 25.07.2013 №29174) [Order of Rostekhnadzor from 6/7/2013 № 248 (an edition from 9/22/2015) «Approval of Administrative Regulations on Execution of State Function by Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision on Federal State Supervision in the Field of Atomic Energy Use» (It is registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 7/25/2013 № 29174)]. Ofitsialnyi sait kompanii Konsultant Plus [Official site of the Consultant Plus company]. URL: https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_150393 (in Russian).
- [6] GOST R 22.0.05-94 Bezopasnost v chrezvychnykh situatsiyah. Tehnogennye i chrezvychnye situatsii. Terminy i opredeleniya [Safety in Emergencies. Technogenic Emergencies. Terms and Definitions]. Utverzhden Postanovleniyem Gosstandarta Rossii № 362 ot 26.12.1994 [Russian Federation Gosstandart No. 362 of December 26, 1994]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost> (in Russian).
- [7] Gubeladze O.A., Gubeladze A.R. Express-otsenka rezul'tatov nereglementirovannykh destruktivnykh vozdeystviy na yaderno- i radiatsionnoopasnyy ob'ekt [Express Assessment of Results of Independent Destructive Impacts on Nuclear and Radiation-Hazardous Object]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2018. №4 (29). P. 24-30 (in Russian).

- [8] Gubeladze O.A., Gubeladze A.R. Otsenka posledstviy vozdeystviya kineticheskikh udarnikov na vzryvoopasnyj ob'ekt s malogabaritnoj yadernoj energeticheskoj ustanovkoj [Assessment of the Influence Consequence of Kinetic Impactors at Explosive Object with Small-Scale Nuclear Power Facility]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2019. №3 (32). P. 33-40 (in Russian).
- [9] Gubeladze O.A., Gubeladze A.R. Opredelenie udarnyh uskorenij na elementah konstrukcii malogabaritnoj yadernoj energeticheskoj ustanovki pri ee padenii na poverhnost [Determination of Shock Accelerations on a Small Nuclear Power Plant Structural Elements in the Event of Fall to the Surface]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2020. №1 (34). P. 7-16 (in Russian).
- [10] Gubeladze O.A., Fedorenko S.V., Gubeladze P.O. Issledovanie dvigenija vysokoskorostnogo udarnika v mnogofunktsionalnom pokrytii perspektivnoj konstruktsii kontejnera s ustanovkoj, sodergashchej jadernoopasnye deljashchiesja materialy [Study of High-Speed Traffic Drummer in Multifunctional Coating Prospective Container Design to Installation, Contains the Nuclear-Dangerous Fissile Materials] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskiye nauki* [Scientific Educational and Applied Journal. University News North-Caucasian Region. Technical science series. Application, 2010, Special Issue]. ISSN 0321-3005. P. 134-136 (in Russian).
- [11] Tjurin R.L. Predlogeniya po sozdaniyu sistemy monitoring transportiruemykh yaderno- i radiatsionnoopasnykh ob'ektov [Proposals for the Creation of a Monitoring System for Transported Nuclear and Radiation-Hazardous Facilities]. *Problemy obespecheniya bezopasnosti potentsial'no opasnykh ob'yektov : sbornik nauchnykh trudov* [Problems of Ensuring the Safety of Potentially Dangerous Objects. Collection of scientific papers]. Moskva: VA RVSN [Moscow. VA Strategic Missile Forces]. 2006. P. 51-62 (in Russian).
- [12] GOST 20911-89 Meggosudarstvennyj standart. «Tehnicheskaja diagnostika» [Interstate Standard. Technical Diagnostics. Terms and Definitions]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/50555/> (in Russian).

Justification of System Shape of Technical Diagnostics of Mobile Nuclear- and Radiation Hazardous Objects, Exposed to Unscheduled Impacts

O.A. Gubeladze¹, A.R. Gubeladze²

Don State Technical University, Gagarin square 1, Rostov-on-Don, Russia, 344000

¹ORCID iD: 0000-0001-6018-4989

WoS Researcher ID: F-6921-201

e-mail: buba26021966@yandex.ru

²ORCID iD: 0000-0002-6966-6391

WoS Researcher ID: F-7215-2017

e-mail: buba26021966@yandex.ru

Abstract – Development and creation of technical diagnostics promising systems allowing periodic and continuous characteristics and parameters monitoring of nuclear power plant on a moving unit without direct participation of staff is a priority task. The article discusses the possibility of creating monitoring systems, which will allow not only giving object state information and helping to prevent accidental situations.

Keywords: nuclear power plant, container, mobile unit, unregulated impacts, technical diagnostics, controlled parameters.

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

УДК 551.49:621.039.1

**ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ
ТЕРМОМОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПЛОЩАДКЕ АЭС
БУШЕР-1 В ИСЛАМСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ ИРАН**

© 2021 В.Ю. Ульянов

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры (ПГАСиА), Днепр, Украина

В статье представлены некоторые возможности термометрии при проведении мониторинга подземных вод на АЭС Бушер-1. Рассмотрены возможные источники локальных аномалий температурного поля, регистрируемого в скважинах. Показано, что температурные измерения позволяют в т.ч. определять и важные особенности эксплуатации скважин системы мониторинга, их конструктивные характеристики, целостность обсадных колонн и источники питания водоносных горизонтов. А в условиях площадки АЭС «Бушер-1», находящейся, как известно, в сложной сеймотектонической обстановке, температурный мониторинг имеет особое дополнительное значение. Мониторинговые температурные измерения в скважинах позволяют получить больше информации об изменениях гидрогеодинамического поля перед тектоническими событиями по сравнению с традиционными измерениями уровня столба жидкости. По этой причине температурный мониторинг на площадке АЭС «Бушер» должен стать частью специализированного сейсмониторинга, имеющего целью безопасную эксплуатацию АЭС в сложных сеймотектонических условиях зоны Загрос и прилегающей части иранского побережья Персидского залива.

Ключевые слова: Исламская Республика Иран, АЭС, мониторинг подземных вод, термомониторинг, скважинная термометрия, гидрогеологические скважины.

Поступила в редакцию 11.01.2021
После доработки 26.02.2021
Принята к печати 05.03.2021

Введение

Ускоренное развитие атомной энергетики и индустрии, увеличение мощностей АЭС и строительство крупных энергетических комплексов, как правило, приводят к выведению из хозяйственного оборота значительных площадей. К тому же, в процессе эксплуатации АЭС используются большие объемы водных ресурсов, возникают дополнительные тепловые и радиационные воздействия на окружающую среду, в результате чего возможна и активизация некоторых опасных геодинамических процессов, зачастую приводящих к характерным изменениям в различных звеньях среды. По совокупности факторов в районах размещения АЭС формируются особые природно-техногенные комплексы, отличающиеся определенными тенденциями изменений геологической среды, иногда приводящими и к негативным эколого-экономическим последствиям. Усилия, положенные на восстановление естественного равновесия в таких комплексах, обычно бывают чрезвычайно затратными и не всегда приводят к позитивным результатам. По этой причине организация многофакторного мониторинга геологической среды районов размещения АЭС требует пристального внимания и специально разработанных методик [1-3].

В задачи мониторинга геологической среды районов расположения АЭС, как правило, входят:

а) прогноз развития геологической среды;

б) разработка рекомендаций по оптимизации функционирования природно-техногенных комплексов;

в) повышение экологической безопасности самих АЭС.

Многолетние наблюдения за работой АЭС, как в России, так и за рубежом показывают, что объектам атомной энергетики присуща ярко выраженная совокупность свойственных только им техногенных воздействий на геологическую среду, которая обязательно должна приниматься во внимание при организации мониторинга. Эти воздействия по своим последствиям условно можно выделить в несколько типовых групп:

- приводящих к нарушению водного баланса;
- приводящих к изменению состояния и свойств грунтов основания;
- приводящих к значительному увеличению активности тепломассопереноса;
- приводящих к загрязнению окружающей среды радиоактивными элементами.

Материалы и методы

Как известно, техногенное тепловое воздействие является одним из важных и практически постоянных факторов влияния на геологическую среду площадок АЭС. Данный тип воздействия возникает по причине относительного многообразия конструктивных схем устройства атомных станций и систем охлаждения ядерных реакторов. В результате этого с изменением водного и теплового баланса верхней зоны грунтового разреза площадок АЭС происходит повышение активности тепломассопереноса и формируется т.н. ореол теплового взаимодействия объектов атомных станций с геологической средой. Большинство объектов АЭС характеризуется значительным тепловыделением в окружающую среду в основном путем сброса термальных вод из систем охлаждения целевого оборудования, которое становится еще более значимым в южной климатической зоне, в которой в настоящее время РФ сооружает атомные объекты (Иран, Индия, Турция, Египет, Бангладеш, Китай). Повышение температуры сбросных вод, путем инфильтрации смешивающихся с естественными водоносными горизонтами, является основной причиной развития устойчивых процессов тепломассопереноса, также иногда меняющих состояние и свойства грунтов оснований АЭС. Таким образом, в наблюдательную сеть мониторинга геологической среды территорий АЭС должны обязательно включаться температурные наблюдения и контроль за процессами тепломассопереноса [4].

Как уже указывалось, основную долю в тепловыделении АЭС в окружающую среду составляет сбросное тепло (по отдельным подсчетам, в среднем до 65-70%). На современных АЭС вода используется в качестве главного теплоотводящего элемента в сетях производственно-технического водоснабжения, бассейнах-охладителях, градирнях и др. В то же время утечки и инфильтрация нагретых техногенных вод (с температурой до 45-50°C, а иногда и выше) не исключаются из-за конструктивных, а также и из-за строительных недоработок. В результате вокруг АЭС формируется устойчивое техногенное тепловое поле – своеобразная температурная аномалия, протяженность которой в плане определяется теплофизическими свойствами пород и гидрогеологическими условиями территории. Некоторые данные о влиянии тепловых источников АЭС на нагрев грунтовых вод представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Нагрев грунтовых вод территории АЭС на различном расстоянии от источника [Groundwater heating of the NPP territory at different distances from the source]

Параметр	Номера термометрических скважин							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Расстояние от источника нагрева, м	25	75	100	125	150	650	750	1000
Повышение температуры грунтовых вод, °C	11.0	3.5	2.2	1.5	1.2	1.0	0.7	0.5

Следует иметь ввиду, что активному развитию процессов теплопереноса в районах размещения АЭС чаще всего способствуют следующие основные факторы, а именно:

- заглубленность тепловыделяющих элементов энергетического комплекса в грунтовое основание, особенно при наличии протяженных сбросных коммуникаций, предназначенных для сброса термальных вод с АЭС, расположенных в прибрежной зоне морей;
- техногенное усиление инфильтрационного питания грунтовых вод, сопровождающееся локальным или повсеместным подъемом их уровней и изменением скоростей фильтрации;
- повышенным водопотреблением АЭС по сравнению с другими объектами (по отдельным оценкам в среднем около 2.0 м³/сек против 1,1 м³/сек на ТЭС при безвозвратных потерях т.е. 1 м³/сек на каждые 1000 мВт).

Проведенными Яковлевым Е.А., Графским Б.В., Собоновичем Э.В. и др. наблюдениями было установлено, что максимально высокие температуры грунтовых вод регистрируются в основном в зоне брызгальных бассейнов и градирен промплощадки, а также пруда-охладителя АЭС. Свои особенности имеются и на площадках АЭС в южной климатической зоне, особенно расположенных в непосредственной близости от морских акваторий, используемых для целей охлаждения целевого оборудования, и зачастую находящихся в районах повышенной сейсмичности. В зоне интенсивного водообмена, как правило, ограниченного в разрезах местным или региональным водупором, наблюдается относительная равномерность прогрева грунтовых вод. Кроме того, часто наблюдается близость к плоскорадиальному распределению поля устойчивого повышения температуры грунтовых вод от внешнего контура промплощадки и до зоны естественного движения грунтового потока (область конвективного переноса тепла). Наряду с этим прослеживается тесная связь режима развития теплового поля с геофильтрационными параметрами подстилающих грунтов, проявляющаяся в похожем характере изменения градиентов уровней и температур [5]. Локальные же температурные аномалии природного характера должны быть выявлены и исследованы еще на стадии инженерных изысканий.

В настоящее время основой термомониторинга на площадках АЭС является скважинная термометрия, представляющая собой измерение температуры скважинной жидкости. Для практических целей скважинная термометрия реализуется в двух вариантах: как метод исследований естественного теплового поля Земли, носящего стационарный характер, и как метод изучения нестационарных тепловых полей, имеющих искусственное (техногенное) происхождение. В первом случае измерения температуры производятся в скважинах с установившимся или практически установившимся тепловым режимом. При этом измеряемым и интерпретируемым параметром является естественная температура пород, слагающих разрез скважины, а метод обычно именуют геотермией [6-8]. Особенностью геотермических исследований является возможность прогнозирования тектонического строения территории, определение областей питания подземных вод и пр. [9]. Для второго случая, помимо скважин сети мониторинга дополнительно выполняются измерения в поверхностных водоемах и сбросных технологических каналах, использующих термальную воду, а также в галереях и колодцах дренажных систем, прочих водопунктах.

АЭС «Бушер-1» в ряду объектов, созданных при участии РФ за рубежом, от отечественных АЭС отличается как конструктивной схемой, так и особенностями обеспечения работы оборудования в южной климатической зоне, т.е. в условиях, ранее почти не встречавшихся в отечественной практике. Это же относится и к организации мониторинга подземных вод, в котором термометрии было уделено повышенное

внимание, учитывая в т.ч. структурно-тектонические условия площадки и района расположения АЭС в целом.

Результаты

В период проведения масштабных геотехнических исследований 1998-1999 гг. измерение температуры подземных вод на площадке АЭС проводились иранской фирмой «Mahab Ghodss consulting engineers» («MG») совместно с ОАО «Атомэнергопроект» (ОАО «АЭП») по сети пробуренных геотехнических скважин. Из графиков термометрии в наиболее глубоких скважинах С-1, С-2, С-3, расположенных вокруг здания реактора 1 блока и пройденных до 100 м, следовало, что наибольшие сезонные изменения температуры касались слоев до глубины 10-12 м. К глубине 30 м значения температуры по скважинам С-1, С-2, С-3, а также по скважинам G-1, G-3, IB-14, IB-15, IB-17, IB-18, стабилизировались и находились в пределах 27-27.5°C.

С глубиной фиксировался равномерный рост температуры до значений 29-29.5°C на глубине 85 м (температурный градиент $\text{Grad} = 0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$). На поверхности грунтовых вод температура колебалась от 25°C до 28.5 °C, что связано с режимом нагрева и охлаждения вод Персидского залива и относительным местоположением самих скважин. В этот же период было выполнено математическое моделирование температурного режима площадки. По результатам которого был сделан вывод о том, что влияние бетонных сооружений АЭС на температурный режим грунтового основания невелико: температура будет увеличиваться не более чем на 2-3°C на расстоянии, не превышающем 10 м от фундаментов. Влияние циркуляционных водоводов на температурный режим их грунтового основания также будет ограничивается малой зоной. В частности, в окрестностях труб и на расстоянии 30 м от отводящих водоводов температура грунта, по мнению разработчиков модели, не превысит 35°C.

После завершения масштабных геотехнических исследований 1998-1999 гг. постоянные измерения температур подземных и поверхностных вод на площадке АЭС были возобновлены российской стороной только в мае 2010 года с началом работы группы гидрогеологического мониторинга при УС БАС ЗАО «Институт Оргэнергострой» (ЗАО «ИОЭС»). Число объектов термометрии при осуществлении мониторинга постоянно увеличивалось, причем измерения температур производились уже не только в существовавших ранее, но уже и в новых режимных скважинах, частью оборудованных по настоянию российской стороны, а также в дренажных колодцах у турбинных зданий обоих блоков. Дополнительные измерения температур проводились в открытых сбросных гидротехнических сооружениях, пожарном водоеме и проч. сооружениях площадки 1 блока. После пуска АЭС и начала сброса термальных вод через систему заглубленных технологических трубопроводов и каналов большого сечения число объектов термометрии вновь увеличилось, достигнув к концу 2012 года 34 единиц. Но и этого оказалось, как выяснилось впоследствии, недостаточным.

За период 2010-2012 года выявленные ранее температурные тенденции верхней части горизонта подземных вод в целом сохранились, за исключением участка в центральной части площадки. Температурный фон на периферийных участках на протяжении 2010-2012 года составлял в среднем от 27°C до 28°C. В центральной части площадки, особенно на участке размещения зданий и сооружений т.н. «ядерного острова», после пуска АЭС температурный фон верхнего горизонта подземных вод определялся в большей степени условиями функционирования системы «реактор-турбоагрегат». В частности, в период работы турбоагрегата был отмечен факт влияния сброса термальных технологических вод через заглубленный закрытый сбросной канал на температурный режим скважин № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, R16 и даже удаленных PI_7, PI_12, основной частью расположенных между т.н. «ядерным островом» и береговыми

насосными станциями. Так, в период постоянной работы турбоагрегата температура верхней части грунтового водоносного горизонта на участке скважин № 5 и № 6, расположенных в непосредственной близости от закрытого сбросного канала со стороны здания реактора, за короткое время достигла значений 32°C с явной тенденцией к дальнейшему повышению. Несомненно, на температурный режим подземных и поверхностных вод в пределах площадки влияли также и климатические факторы (нагрев и охлаждение Персидского залива, особенно в прибрежной части), а также утечки из напорных и безнапорных водонесущих коммуникаций, утечки из различных сооружений и емкостей, функционирующие дренажные системы. Карта гидроизотерм в период работы турбоагрегата выявила наличие утечек из открытого сбросного канала по направлению к пожарному водоему и далее к подводящему каналу, ведущему к береговым блочным насосным станциям. Вне зоны влияния сбросных сооружений в местах постоянных или временных техногенных утечек температурный фон обычно снижался до значений 24.0...24.5°C и менее, причем вне всякой связи с сезонными климатическими факторами. Эти выводы подтверждались и анализами химического состава подземных вод в местах выявленных температурных аномалий.

Предварительных анализ данных термомониторинга настоятельно потребовал дальнейшего расширения перечня объектов наблюдений, как и количества режимных скважин. В рамках планировавшихся ЗАО «ИОЭС» работ по исследованию водно-химического режима вод в заглубленных частях зданий и сооружений, в первую голову – кабельных и технологических каналах с целью выяснения источников и путей проникновения воды, предстояло дополнительно изучить и их температурный режим. Но после досрочного прекращения российской стороной собственного, выполняемого параллельно с иранским, мониторинга подземных вод на площадке 1 блока АЭС, его функции продолжила только иранская сторона в лице Дирекции АЭС (BNPP) и ее структур. По этой причине, начиная с 2013 года, какая-либо информация о полноте и качестве проведения иранской стороной собственного термомониторинга подземных вод на площадке 1 блока отсутствует. Помимо прекращения мониторинга подземных вод, а также уже фактически начатых исследований водно-химического режима заглубленных частей зданий и сооружений АЭС, после передачи блока Заказчику не осуществился и ряд прочих геотехнических проектов, разработанных российской стороной. О наличии же подобных геотехнических проектов у структур Заказчика сведений также нет.

Следует отметить, что относительно непродолжительный период наблюдений за температурным режимом подземных и поверхностных вод в условиях начала постоянной эксплуатации системы «реактор-турбоагрегат» позволял сделать только предварительные выводы. Однако в условиях длительной эксплуатации АЭС дальнейшее изменение температурного режима подземных вод и, как следствие, возможное его влияние на состояние грунтового основания не подлежало сомнению, особенно в центральной части площадки. Поэтому в будущем представлялось необходимым дополнительно увеличить число точек термометрии (в основном, в виде режимных скважин), особенно на участках расположения сбросных сооружений прибрежной зоны, причем как на суше, так и, что особенно важно, в пределах акватории, где они фактически полностью отсутствуют. И продолжить проведение термомониторинга, но уже в расширенном виде, с учетом требований действующих нормативных документов и рекомендаций профильных исследований [10-17]. Имеющейся же первичной информации оказалось вполне достаточно для разработки собственной методики расширенного термомониторинга на площадке 1 блока АЭС, составленной с максимальным учетом всех местных природных и техногенных факторов.

Дополнительные задачи расширенного термомониторинга на площадке 1 блока АЭС «Бушер» представлялись следующими:

- уточнение в процессе осуществления длительное время дренажа грунтовых вод вокруг турбинных зданий обоих блоков местоположения водоносных горизонтов и направления движения фильтрационных потоков;

- установление температурного режима грунтовых вод по всему стволу выбранных наблюдательных скважин с целью уточнения фильтрационных и тепло-физических характеристик различных слоев верхней части геологического разреза;

- определение степени влияния распределения температур грунтовых вод по стволу скважин при оценке их химического состава и минерализации, а также возможных причин их изменений;

- организация постоянной термометрии вод, просачивающихся в наиболее заглубленные сооружения площадки, в первую голову, секции кабельных и технологических каналов на участке т.н. «ядерного острова» 1 блока. А также на нижних плитах зданий турбины (на отметке – 10.500 м) и действующей береговой блочной насосной станции (на отметке – 12.500 м).

Методика проведения специального расширенного термомониторинга на площадке 1 блока, в отличие от ранее выполняемых работ, заключалась в инструментальном опробовании (термометрии) стволов выбранных скважин ниже УПВ и до забоя с интервалом в 1 м. Опробование целесообразнее было проводить в скважинах № 5, 6, 7, 11, 13, PI_7, PI_12, R 16. Температурную кривую в указанных скважинах необходимо было записывать только при спуске регистрирующего прибора (термометра), при этом скорость перемещения его должна была быть строго постоянной. При подъеме допускалось проводить лишь контрольные измерения температур. Частота наблюдений при выполнении расширенного термомониторинга планировалась 1 раз в месяц при возможном учащении в особо оговоренных случаях по требованию служб эксплуатации АЭС.

В качестве приборного оборудования рекомендовалось применение, помимо стандартных гидрогеологических термометров, также электронных скважинных термометров российского производства ТСЭ-50-100, МХ-1555, ЭКУ-Т50, УТСК-ТЭ-50, ММТ-1, ММТ-4, КМТ-4 или другого типа, которые обеспечивали бы большую точность измерения (до 0,05 °С), или же их зарубежных аналогов. Учитывая реальную радиологическую обстановку, сложившуюся после начала эксплуатации 1 блока АЭС, следовало проводить скважинную термометрию в тесном контакте со службой внешней дозиметрии Дирекции АЭС (BNPP). В случае повышения содержания радионуклидов в отдельных скважинах представлялось необходимым заменить ручные измерения установкой автоматизированных систем из датчиков типа logger. В этом случае возможно также было применение гирлянд из кварцевых (термисторных) датчиков. Результаты измерений представлялись в виде стандартных отчетов (заключений) с необходимыми графическими (карты гидроизотерм) и текстовыми приложениями. При наличии на площадке АЭС автоматизированной системы мониторинга недр или, если таковая была бы создана иранской стороной, то данные термометрии пополнили бы соответствующий банк данных.

В перспективе, использование данных термометрии, учитывая сложные геотехнические условия площадки 1 блока АЭС, характеризующейся к тому же большим количеством разветвленных подземных коммуникаций с размещенными в них многочисленными трубопроводами различных систем, наряду с использованием акустических течеискателей, универсальных переносных кондуктометров и радиометров, могло бы послужить дополнительным средством обнаружения мест скрытых утечек как из трубопроводов различного назначения (в т.ч. и при проведении

их гидравлических испытаний), так и из прочих, в т.ч. заглубленных гидротехнических сооружений, в процессе их эксплуатации [18].

В условиях площадка АЭС «Бушер-1», находящейся, как известно, в достаточно сложной сеймотектонической обстановке, температурный мониторинг имел бы еще и особое дополнительное значение. В этой связи крайне интересными и заслуживающими внимания являлись проведенные в период осуществления мониторинга российской стороной температурные измерения в скважине С-1 у портала здания ректора. Причиной повышенных значений температур воды в скважине С-1, отмеченных на протяжении всех циклов мониторинга, причем вне всякой связи с техногенными и близповерхностными природно-климатическими факторами, по всей вероятности, являлся локальный тепловой поток из недр. Это подтверждалось произведенными еще в 1998-1999 гг. замерами температур по всему стволу скважины. В верхней части скважины, глубина которой первоначально составляла 100 м, а на момент начала проведения мониторинга вследствие заиливания и засыпки строительным мусором не превышала 12 м, были зафиксированы температуры 29-31°C. Хотя в ходе проведения в 1998-1999 гг. дополнительных изысканий, температура 29.5°C в указанной скважине была зафиксирована только на глубине 85 м (замер 08.03.1999 г.). Дополнительным обстоятельством, способствующим значительному прогреву грунтовых вод в указанной скважине, по всей видимости, является наличие оставленной в скважине металлической обсадной трубы. Вблизи устья скважины С-1 отсутствовали какие-либо постоянно действующие тепловые инженерные коммуникации, а на участке ее расположения температура воды, специально измеренная в смотровых колодцах и приемниках системы промливневой канализации, на даты выполнения замеров не превышала 18...21°C. Температура воды в скважине С-1 также была резко отлична и от прочих мониторинговых скважин на площадке 1 блока, за исключением расположенных в непосредственной близости от сбросных коммуникаций, да и у тех только в период работы системы «реактор-турбоагрегат». Все вышеизложенное позволяло предположить как периодическую изменчивость теплового потока из недр на площадке 1 блока, как и его приуроченность к локальным участкам промплощадки, возможно, характерную и для территории всего Бушерского полуострова, тесно связанную с сеймотектоническими факторами. Из данного предположения следует, что большим подспорьем в проведении данного сегмента термометрических исследований было бы наличие в рабочем состоянии на площадке 1 блока хотя бы одной из глубоких геотехнических скважин, подобных скважинам С-1, С-2, С-3 глубиной 100м в свое время пройденных возле здания реактора, из которых С-1 частично, а С-2 и С-3 были полностью уничтожены в ходе работ по достройке блока. Уместным будет напомнить, что при достройке блока также были ликвидированы и другие относительно менее глубокие геотехнические скважины, пройденные ранее на площадке 1 блока, причем даже те, которые располагались на ее периферии вне всякого фронта работ. Многие из ликвидированных скважин к тому же были капитальными, находились в рабочем состоянии и ранее вполне успешно использовались для целей мониторинга. А глубин оставшихся скважин, составляющих максимум 15-30 м, все же представлялось явно недостаточным для проведения требуемых исследований. *Примечание: не исключено, что аналогичным образом будут ликвидированы еще сохранившиеся после проведения изысканий 2015-2018 гг. геотехнические скважины и на площадке под новые блоки АЭС, где они были бы просто необходимы для проведения в дальнейшем аналогичных исследований, в т.ч. и в силу принятой схемы укрепления грунтового основания под ответственными сооружениями указанных блоков, нуждающегося в постоянном геотехническом (в т.ч. и методами геотермии) контроле.*

Таким образом, полученные данные являются подтверждением того, что мониторинговые температурные измерения в скважинах на площадке данной АЭС важны, т.к. позволяют получить существенно больше информации об изменениях гидрогеодинамического поля, в т.ч. и перед тектоническими событиями, по сравнению с традиционными измерениями уровня столба жидкости. По этой причине температурный мониторинг на площадке АЭС «Бушер» должен стать частью специализированного общеплощадочного сейсмомониторинга, имеющего целью безопасную эксплуатацию АЭС в сложных сейсмотектонических условиях зоны Загрос и прилегающей части иранского побережья Персидского залива. Во исполнении данного предложения и с учетом начала строительных работ на площадке под новые блоки АЭС должна быть рассмотрена возможность организации на пустующей длительное время площадке б. 2 блока (KWU) постоянно действующего стационарного полигона для гидрогеодинамического (ГГД) и термомониторинга, которые вкупе с мониторингом радона могли бы войти в структуру такого общеплощадочного сейсмомониторинга, необходимость которого не вызывает никаких сомнений [19-21]. Для чего уже сейчас стоило бы предпринять определенные меры технического и административного характера для обеспечения сохранности пока еще существующих на площадке б. 2 блока (KWU) геотехнических скважин категории «ВН» и «R». А также должна быть изучена путем технического освидетельствования возможность переоборудования наиболее сохранившихся из них в мониторинговые (в т.ч. и в исключительно термометрические). Все указанные работы целесообразнее всего выполнять под эгидой геотехнического отдела при управлении нового строительства, в состав которого должна входить и собственная служба мониторинга подземных вод, аналогичная существовавшей в 2010-2012гг. при достройке 1 блока АЭС.

При фактическом расширении АЭС до 3 блоков, строительство двух новых блоков которой уже началось, программа и задачи термомониторинга как составной части мониторинга подземных вод на площадке АЭС «Бушер-2», могут быть дополнительно скорректированы, возможно, и с учетом исследований прошлых лет на смежных участках 1 и б. 2 (KWU) блоков. Как и на площадке 1 блока, при работе блоков на новой площадке, учитывая определенное сходство конструктивных схем и систем охлаждения оборудования АЭС, грунтового разреза, а, следовательно, и теплофизических свойств грунтов, значительное увеличение температур грунтовых вод также будет фиксироваться в зоне закрытых заглубленных сбросных каналов 2 и 3 блоков. Подобными также могут быть и объекты наблюдений на площадках новых блоков, естественно, с учетом так и нереализованного проекта проведения расширенного термомониторинга на площадке 1 блока АЭС. А возможны и иные сценарии, учитывая разрабатываемую систему дренажа площадки новых блоков АЭС, отличную от существующей на площадке 1 блока, и способной изменить картину теплового поля в целом после завершения строительства и начала постоянной эксплуатации.

Выводы

По результатам термомониторинга на площадке 1 блока АЭС «Бушер» за весь период наблюдений было установлено, что на участке размещения зданий и сооружений т.н. «ядерного острова» после пуска АЭС температурный фон верхнего горизонта подземных вод определялся в большей степени условиями функционирования системы «реактор-турбоагрегат». Максимальные значения температур подземных вод были зафиксированы вдоль сбросных заглубленных коммуникаций. Несомненно, на температурный режим подземных и поверхностных вод в пределах площадки влияли также и климатические факторы (нагрев и охлаждение Персидского залива, особенно в прибрежной части), а также утечки из напорных и безнапорных водонесущих коммуникаций, утечки из различных сооружений и

емкостей, функционирующие дренажные системы. Выявленные же локальные аномалии требовали дальнейшего изучения.

В условиях площадки АЭС «Бушер-1», находящейся, как известно, в сложной сейсмотектонической обстановке, температурный мониторинг, по мнению автора настоящей статьи, имел бы и особое, дополнительное значение. Не подлежит сомнению, что проведенные на достаточном техническом уровне расширенные мониторинговые температурные измерения позволили бы получить существенно больше информации об изменениях гидрогеодинамического поля перед тектоническими событиями в районе расположения объекта по сравнению с традиционными измерениями уровня столба жидкости. По этой причине, температурный мониторинг на промплощадке АЭС «Бушер», наряду с мониторингом радона, мог бы стать частью специализированного общеплощадочного сейсмониторинга, имеющего целью безопасную эксплуатацию всех блоков АЭС в сложных сейсмотектонических условиях зоны Загрос и прилегающей части иранского побережья Персидского залива. Но для успешного выполнения подобных исследований желательно наличие на площадках под новые и старые блоки, помимо прочих составляющих, хотя бы по 1 режимной скважине глубиной не менее 100 м, вкуче с возможной организацией специального стационарного полигона на пустующей площадке б, 2 блока (KWU).

Учитывая сходные геологические условия площадок под старые и новые блоки АЭС «Бушер», все вышесказанное правомочно для организации и проведения термомониторинга подземных вод на площадке строящихся блоков № 2 и 3. Но термомониторинг на новой площадке должен выполняться уже в соответствии с требованиями нормативных документов, вступивших в действие в последнее время, в том числе СТО СРО-Г 60542954 00020–2019 и др. Однако все указанные работы целесообразнее всего выполнять под эгидой геотехнического отдела при управлении нового строительства, включающего и собственную службу мониторинга подземных вод, аналогичную существовавшей в 2010-2012 гг. при достройке 1 блока АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глинский, М.Л. Мониторинг состояния недр в районах расположения ядерно и радиационно опасных объектов и оценка безопасности их долгосрочной эксплуатации / М.Л. Глинский, А.В. Глаголев, В.Ф. Котлов // Радиоактивные отходы. – 2018. – № 3(4). – С. 78-86.
2. Климова, Т.И. К вопросу совершенствования системы объектного мониторинга состояния недр на предприятиях Госкорпорации «Росатом» / Т.И. Климова, Е.Б. Севтинова, Л.Г. Чертков, А.Д. Палагушин, М.В. Удаляя // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2015. – № 4. – С. 65-74. – URL : <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2015-4-65-74>
3. Белоусова, А.П. Особенности мониторинга подземных вод в районах расположения АЭС / А.П. Белоусова // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2017. – № 3(111). – С. 64-77. – URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=28779073>.
4. Королев, В.А. Мониторинг геологической среды / В.А. Королев ; под ред. В.Т. Трофимова. – Москва : МГУ, 1995. – 272 с.
5. Яковлев, Е.А. Итоги и задачи изучения изменения геологической среды в районах возведения атомных электростанций / Е.А. Яковлев, Б.В. Графский, Г.В. Лисиченко, Э.В. Соботович / Проблемы рационального использования геологической среды. – Москва : Наука, 1988. – С. 203-224.
6. Аузин, А.А. Возможности скважинной термометрии при решении гидрогеологических задач / А.А. Аузин, Хеляль Марьям Ахмад // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2019. – № 1. – С. 72-75.
7. Аузин, А.А. Геотермические исследования в скважине 11/89 на учебном геофизическом полигоне Веневитиново / А.А. Аузин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 1999. – № 8. – С. 192-194.
8. Череманский, Г.А. Геотермия / Г.А. Череманский / Ленинград : Недра, 1972. – 271 с.

9. Юрков, А.К. Об информативности температурного мониторинга в скважинах при изучении тектонического режима / А.К. Юрков, Д.Ю. Демежко, В.И. Уткин // Уральский геофизический вестник. Екатеринбург. – 2011. – № 1(18). – С. 45-52.
10. РД 153-34.1-21.325-98 Методические указания по контролю за режимом подземных вод на строящихся и эксплуатируемых (тепловых) электростанциях. – Москва, 1998.
11. СП 151.13330.2012 Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Часть II. Инженерные изыскания для разработки проектной и рабочей документации и сопровождения строительства. – Москва, 2012.
12. РСН 75-90 Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Каротажные методы. – Москва : Стройиздат, 1990.
13. Сидоров, В.А. Состояние и развитие геофизических исследований гидрогеологических скважин / В.А. Сидоров, С.А. Калташев, Л.Г. Коротченко // Москва : ВСЕГИНГЕО. 1985. – 34 с.
14. Методические рекомендации по применению геофизических исследований в скважинах при проведении гидрогеологических и инженерно-геологических работ / под ред. И.М. Гершановича. – Москва : ВСЕГИНГЕО, 1986. – 67 с.
15. РБ 036-06. Мониторинг инженерно-геологических условий размещения объектов ядерного топливного цикла // Ядерная и радиационная безопасность. – 2007. – № 4. – С. 44-49.
16. Бугаев, Е.Г. Требования и особенности проведения комплексного геолого-геофизического мониторинга в районе и на площадке размещения объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) / Е.Г. Бугаев, А.С. Гусельцев, Л.М. Фихиева // Труды пятой научно-технической конференции к 100-летию организации инструментальных сейсмологических исследований на Камчатке «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский, 27 сентября – 03 октября 2015 г. – Обнинск : Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба России», 2015. – С. 33-37.
17. СТО СРО-Г 60542954 00020-2019 Объектный мониторинг состояния недр. Правила ведения. – Москва : СРО НП «СОЮЗАТОМГЕО», 2019.
18. Ульянов, В.Ю. Методика обнаружения утечек из водонесущих коммуникаций как составная часть геотехнического мониторинга на площадке АЭС «Бушер-1» в Исламской Республике Иран / В.Ю. Ульянов // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 1(22). – С. 7-12.
19. Ульянов, В.Ю. Мониторинг радона как индикатора сейсмотектонических событий на площадке АЭС «Бушер-1» и прилегающей территории провинции Бушер Исламской Республики Иран / В.Ю. Ульянов // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 4(25). – С. 7-17.
20. Учет внешних событий, исключая землетрясения, при проектировании атомных электростанций. Руководство № NS-G-1.5. Международное агентство по атомной энергии. – Вена, 2008. – 105 с.
21. Макеев, В.М. Проблема выявления ослабленных зон при изучении инженерно-геологических условий (на примере территории Бушерской АЭС) / В.М. Макеев, В.М., А.С.Гусельцев, И.М. Кравченко // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2020. – № 5. – С. 24-31. DOI: 10.31857/S0869780920050057.

REFERENCES

- [1] Glynskiy M.L., Glagolev A.V., Kotlov V.F. Monitoring sostoyaniya neдр v rayonakh raspolozheniya yaderno i radiatsionno opasnykh ob"yektov i otsenka bezopasnosti ikh dolgosrochnoy ekspluatatsii [Subsoil Condition Monitoring in Nuclear and Radiation Facilities and the Estimation of Long Term Maintenance Safety Guide]. Radioaktivnyye otkhody [Radioactive Waste]. 2018. No.3(4). P. 78-86 (in Russian).
- [2] Klimova T.I., Sevtnova E.B., Chertkov L.G., Palagushin A.D., Udalaya M.V. K voprosu sovershenstvovaniya sistemy ob"yektnogo monitoringa sostoyaniya neдр na predpriyatiyakh Goskorporatsii «Rosatom» [The Question of Improving the System Object Monitoring of Subsurface Conditions at the Enterprises of the State Corporation «Rosatom»]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka [Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration]. 2015. No.4. P.65-74. URL: <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2015-4-65-74> (in Russian).
- [3] Belousova A.P. Osobennosti monitoringa podzemnykh vod v rayonakh raspolozheniya AES [Peculiarities of Groundwater Monitoring in the Areas of NPP Location]. Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzheniye [Water Purification. Water Treatment. Water Supply]. 2017. No.3(111). P. 64-77 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28779073> (in Russian).

- [4] Korolev V.A., edited by V.T. Trofimova Monitoring geologicheskoy sredy [Monitoring of the Geological Environment]. Moskva: Moskovskiy gosudarstvennyy universitet [Moscow: Moscow State University]. 1995. 272 p. (in Russian).
- [5] Yakovlev E.A., Grafsky B.V., Lisichenko G.V., Sobotovich E.V. Itogi i zadachi izucheniya izmeneniya geologicheskoy sredy v rayonakh vozvedeniya atomnykh elektrostantsiy [Results and Tasks of Studying Changes in the Geological Environment in the Areas of Nuclear Power Plant Construction]. Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya geologicheskoy sredy [Problems of the Rational Use of the Geological Environment]. Moskva: Nauka. [Moscow: Science]. 1988. P. 203-224 (in Russian).
- [6] Auzin A.A., Khelyal Maryam Ahmad. Vozmozhnosti skvazhinnoy termometrii pri reshenii gidrogeologicheskikh zadach [Possibilities of Borehole Thermometry in Solving Hydrogeological Problems]. Vestnik VGU. Seriya: Geologiya [Vestnik VSU. Series: Geology]. 2019. No.1. P. 72-75 (in Russian).
- [7] Auzin A.A. Geotermicheskiye issledovaniya v skvazhine 11/89 na uchebnom geofizicheskom poligone Venevitinovo [Geothermal Studies in Well 11/89 at the Venevitinovo Training Geophysical Test Site]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology]. 1999. No.8. P. 192-194 (in Russian).
- [8] Cheremensky G.A. Geotermya [Geothermy]. Leningrad: Nedra. 1972. 271 p. (in Russian).
- [9] Yurkov A.K., Demezhko D.Yu., Utkin V.I. Ob informativnosti temperaturnogo monitoringa v skvazhinakh pri izuchenii tektonicheskogo rezhima [About the Information Content of the Temperature Monitoring in Wells in the Study of Tectonic Regime]. Ural'skiy geofizicheskii vestnik [Ural Geophysical Bulletin]. Yekaterinburg 2011. No.1(18). P. 45-52 (in Russian).
- [10] RD 153-34.1-21.325-98 Metodicheskiye ukazaniya po kontrolyu za rezhimom podzemnykh vod na stroyashchikhsya i ekspluatiruyemykh (teplovykh) elektrostantsiyakh [Guidelines for Monitoring the Regime of Groundwater at Constructed and Operated (Thermal) Power Plants]. – Moskva [Moscow], 1998 (in Russian).
- [11] SP 151.13330.2012 Inzhenernyye izyskaniya dlya razmeshcheniya, proyektirovaniya i stroitel'stva AES. Chast' II. Inzhenernyye izyskaniya dlya razrabotki proyektnoy i rabochey dokumentatsii i soprovozhdeniya stroitel'stva [Engineering Surveys for the Placement, Design and Construction of Nuclear Power Plants. Part II. Engineering Surveys for the Development of Design and Working Documentation and Construction Support]. Moskva [Moscow]. 2012 (in Russian).
- [12] RSN 75-90 RSN 75-90 Inzhenernyye izyskaniya dlya stroitel'stva. Tekhnicheskiye trebovaniya k proizvodstvu geofizicheskikh rabot. Karotazhnyye metody [Engineering Surveys for Construction. Technical Requirements for the Production of Geophysical Works. Logging Methods]. Moskva [Moscow]. Stroyizdat. 1990 (in Russian).
- [13] Sidorov V.A., Kaltashev S.A., Korotchenko L.G. Sostoyaniye i razvitiye geofizicheskikh issledovaniy gidrogeologicheskikh skvazhin [State and Development of Geophysical Research of Hydrogeological Wells]. Moskva: VSEGINGEO [Moscow: VSEGINGEO]. 1985. 34 p. (in Russian).
- [14] Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu geofizicheskikh issledovaniy v skvazhinakh pri provedenii gidrogeologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh rabot [Guidelines for the Use of Geophysical Surveys in Wells When Carrying out Hydrogeological and Engineering-Geological Works]. Pod red. I.M. Gershanovicha [ed. I. M. Gershanovich]. Moskva: VSEGINGEO [Moscow: VSEGINGEO]. 1986. 67 p. (in Russian).
- [15] RB 036-06. Monitoring inzhenerno-geologicheskikh usloviy razmeshcheniya ob'yektov yadernogo toplivnogo tsikla [Monitoring of Engineering and Geological Conditions for the Placement of Nuclear Fuel Cycle Facilities]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' [Nuclear and Radiation Safety]. 2007. No.4. P. 44-49 (in Russian).
- [16] Bugaev E.G., Guseltsev A.S., Fikhieva L.M. Trebovaniya i osobennosti provedeniya kompleksnogo geologo-geofizicheskogo monitoringa v rayone i na ploshchadke razmeshcheniya ob'yektov ispol'zovaniya atomnoy energii (OIAE) [Requirements and Features of Complex Geological and Geophysical Monitoring in the Area and on the Site of Nuclear Facilities (NF)]. Trudy pyatoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii k 100-letiyu organizatsii instrumental'nykh seismologicheskikh issledovaniy na Kamchatke «Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii». Petropavlovsk-Kamchatskiy, 27 sentyabrya – 03 oktyabrya 2015 g. [Proceedings of the Fifth Scientific and Technical Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Organization of Instrumental Seismological Studies in Kamchatka: "Problems of Integrated Geophysical Monitoring of the Russian Far East. Petropavlovsk-Kamchatsky, September 27-October 03, 2015]. Obninsk: Federal'nyy issledovatel'skiy tsentr «Yedinaya geofizicheskaya sluzhba Rossii» [Obninsk, Ed. Federal Research Center «United Geophysical Service of Russia»]. 2015. P. 33-37 (in Russian).

- [17] STO SRO-G 60542954 00020-2019 Ob'yektnyy monitoring sostoyaniya nedr. Pravila vedeniya [Object Monitoring Subsoil Conditions. Rules of Conduct]. Moskva [Moscow]: SRO NP «SOYUZATOMGEO». 2019 (in Russian).
- [18] Ulyanov V.Yu. Metodika obnaruzheniya utechek iz vodonesushchikh kommunikatsiy kak sostavnaya chast' geotekhnicheskogo monitoringa na ploshchadke AES «Bushehr-1» v Islamskoy Respublike Iran [Technique of Leak Detection from the Water Bearing Communications as the Component of Geotechnical Monitoring of the Bushehr-1 NPP Platform in the Islamic Republic of Iran]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2017. No.1(22). P. 7-12 (in Russian).
- [19] Ulyanov V.Yu. Monitoring radona kak indikatora seysmotektonicheskikh sobytiy na ploshchadke AES «Bushehr-1» i prilegayushchey territorii provintsii Bushehr Islamskoy Respubliki Iran [Monitoring of Radon as an Indicator of Seismotectonic Events at the Bushehr-1 NPP Site and the Adjacent Territory of the Bushehr Province of the Islamic Republic of Iran]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2017. No.4(25). P. 7-17 (in Russian).
- [20] Uchet vneshnikh sobytiy, isklyuchaya zemletryaseniya, pri proyektirovanii atomnykh elektrostantsiy. Rukovodstvo № NS-G-1.5 [External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants. Safety Guide, No. NS-G-1.5]. Mezhdunarodnoye agentstvo po atomnoy energii [International Atomic Energy Agency]. Vena [Vienna]. 2008. 105 p.
- [21] V. M. Makeev, A. S. Guseltsev, I. M. Kravchenko Problema vyyavleniya oslablennykh zon pri izuchenii inzhenerno-geologicheskikh usloviy (na primere territorii Busherskoy AES) [The Problem of Identifying Weakened Zones in the Study of Geotechnical Conditions (for example, the Territory of the Bushehr NPP)]. Geokologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya [Geocology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology]. 2020. No.5. P. 24-31. DOI: 10.31857 / S0869780920050057 (in Russian).

Methodology Specific Features of Underground Water Thermomonitoring at the Bushehr-1 NPP Site in the Islamic Republic of Iran

V.Yu. Ulyanov

Dnieper State Academy of Construction and Architecture, Chernyshevsky St., 24a, Dnipro, Ukraine, 49600
ORCID iD: 0000-0002-9028-3408
e-mail: vuluanov@mail.ru

Abstract – The article presents some of the possibilities of thermometry when monitoring groundwater at the Bushehr-1 NPP. Possible sources of local anomalies of the temperature field recorded in the wells are considered. It is shown that temperature measurements allow, incl. to determine the important features of the operation of the monitoring system wells, their design characteristics, the integrity of the casing strings and the power sources of the aquifers. And in the conditions of the Bushehr-1 NPP site, which is known to be in a complex seismotectonic environment, temperature monitoring is of particular additional importance. Monitoring temperature measurements in wells provide more information about changes in the hydrogeodynamic field before tectonic events compared to traditional measurements of the liquid column level. For this reason, temperature monitoring at the Bushehr NPP site should become a part of specialized seismic monitoring aimed at the safe operation of the NPP in difficult seismotectonic conditions in the Zagros zone and the adjacent part of the Iranian coast of the Persian Gulf.

Keywords: Islamic Republic of Iran, NPP, underground water monitoring, thermomonitoring, borehole thermometry, hydrogeological wells.

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

УДК 621.791

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА
ДУГОВОЙ РАЗРЯД**

© 2021 С.М. Бурдаков*, М.Б. Дамаскина**, Д.И. Желецкий**

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

***Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, Волгодонск, Ростовская обл., Россия*

В статье представлены результаты экспериментального исследования влияния дополнительного импульсно-квазигармонического напряжения частотой 40кГц на структуру сварных соединений, технологические свойства дугового разряда постоянного тока при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Получение мелкозернистой структуры сварного соединения, является одним из условий повышения его технологических и прочностных свойств, эксплуатационной надежности изготавливаемого изделия в целом.

Ключевые слова: мелкозернистая структура, металлические конструкции, сварной шов, ручная дуговая сварка, устойчивость горения дугового разряда, механические свойства, качество металла, измельчение дендритов, импульсное воздействие, электромагнитное поле, металлографические исследования, макро и микроструктура образцов, феррит, дендрит.

Поступила в редакцию 21.12.2020

После доработки 25.01.2021

Принята к печати 02.02.2021

Получение мелкозернистой структуры металла сварного шва, околошовной зоны является важным условием повышения его технологических свойств и эксплуатационной надежности изготавливаемого изделия в целом. Решение этой задачи актуально при осуществлении работ при изготовлении, монтаже и ремонте металлических конструкций и оборудования блоков АЭС с применением ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

К числу наиболее эффективных способов измельчения структуры металла шва относится введение колебаний в сварочную ванну как низких (1-100 Гц), так и ультразвуковых частот [1, 2]. Причем измельчение структуры металла шва наблюдается при колебаниях как жидкого металла в сварочной ванне, так и источника сварочного тепла. Введение кратковременных импульсов тепла в хвостовую часть сварочной ванны дает аналогичные результаты. Кроме того, при кристаллизации с колебаниями сплавы более склонны к измельчению зерна, чем чистые металлы [3].

Известно положительное действие ультразвука и вибраций низкой частоты на измельчение структуры шва. Однако из-за отсутствия надежных способов введения ультразвуковых колебаний в сварочную ванну и больших потерь при передаче энергии этот метод не нашел широкого практического применения при сварке металлов [4].

Более перспективен бесконтактный метод передачи колебаний в сварочную ванну путем наложения импульсного продольного магнитного поля, вызывающего встряхивание жидкого металла и измельчение структуры. Однако применение этого

метода при сварке конструкций сложной конфигурации ограничено из-за больших габаритов сварочного оборудования [4].

Одним из основных технологических факторов, влияющим на качество сварных швов является устойчивость горения дугового разряда [5]. Известно, что качество металла, его структура, прочностные характеристики сварного шва во многом определяется стабильностью и степенью завершенности гидродинамических и металлургических процессов. Главным источником нестабильности гидродинамических процессов является изменение силового воздействия дуги на сварочную ванну под действием внешних факторов в монтажных условиях [5, 6]. Решение этой проблемы возможно за счет управляемого, электрического, импульсного воздействия повышенной частоты на дуговой разряд от специализированного маломощного преобразователя [5, 6, 7].

Следует отметить, что процессы, протекающие в этом случае, изучены мало. Поэтому целью данной работы является исследование структуры сварных соединений, при использовании дугового разряда с комбинированной системой питания.

Можно сказать, что электромагнитное поле частотой 40кГц обеспечивает формирование структуры металла сварного шва с более высокими показателями ударной вязкости [8]. Наложение на дугу импульсного воздействия повышенной частоты приводит к повышению ее устойчивости, изменению таких технологических характеристик процесса, как формирование шва, условия первичной кристаллизации металла сварочной ванны [9, 10]. Для оценки влияния низковольтного импульсного напряжения частотой 40кГц на структуру металла шва при сварке покрытыми электродами был проведен ряд экспериментов, с целью выявления особенностей структуры сварного шва.

Металлографические исследования проводили на образцах, вырезанных из средней части единичных валиков, выполненных по базовой технологии ручной дуговой сварки покрытыми электродами (ТМЛ-3У [11]) и предлагаемой технологии при импульсном квазигармоническом воздействии напряжением 80В частотой 40кГц ($I_{св}=100A$) на дуговой разряд.

Исследовали макро и микроструктуру образцов. Травление на макроструктуру выполняли 15% водным раствором азотной кислоты. Общий вид макротомплетов образцов, выполненных по различным технологиям, представлен на рисунке 1 а, б соответственно. Видно, что площадь сечения наплавленного металла, выполненного по предлагаемой технологии, больше, чем в базовом варианте. В обоих случаях в макро- и микроструктуре валиков присутствует зона столбчатых дендритов, перпендикулярных линии сплавления (рис. 2 а, б), и зона равноосных дендритов в верхней части валика (рис. 3 а, б). Макроструктура зоны термического влияния (ЗТВ) образцов, выполненных по базовой технологии, темная, сильно травящаяся. На образцах, выполненных по предлагаемой технологии, этот эффект выражен значительно слабее (рис. 1 а, б).

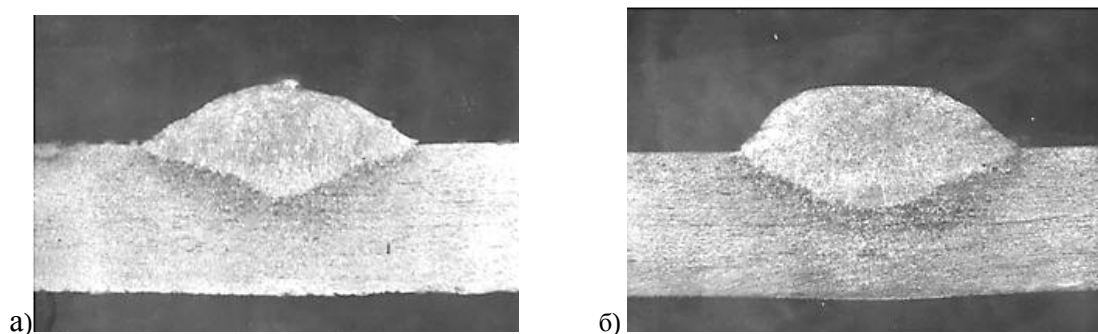


Рисунок 1 – Макрошлиф сварного шва, по базовой (а) и предлагаемой технологии сварки (б)
[Macrosection of the welded seam, according to the basic (a) and the proposed welding technology (b)]

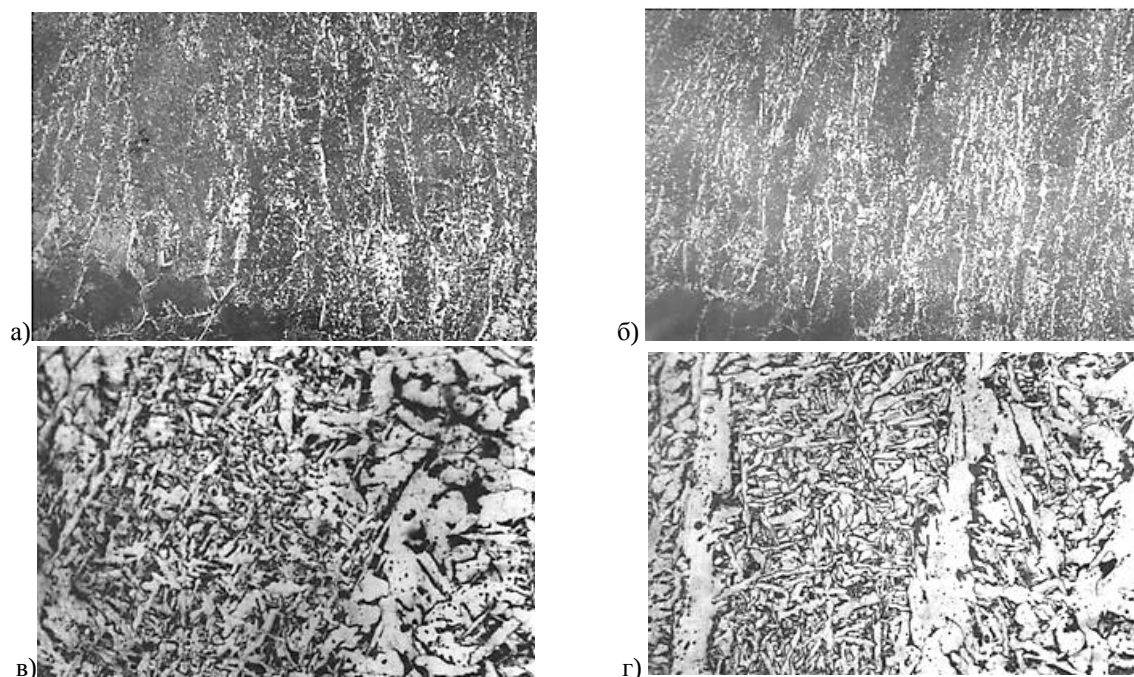


Рисунок 2 – Зона столбчатых дендритов сварного шва, по базовой (а), и предлагаемой технологии сварки (б), увеличение структуры x50; то же с увеличением структуры x500 (в), (г) [The zone of columnar dendrites of the weld, according to the basic (a), and the proposed welding technology (b), an increase in the structure x50; the same with an increase in the structure x500 (c), (d)]

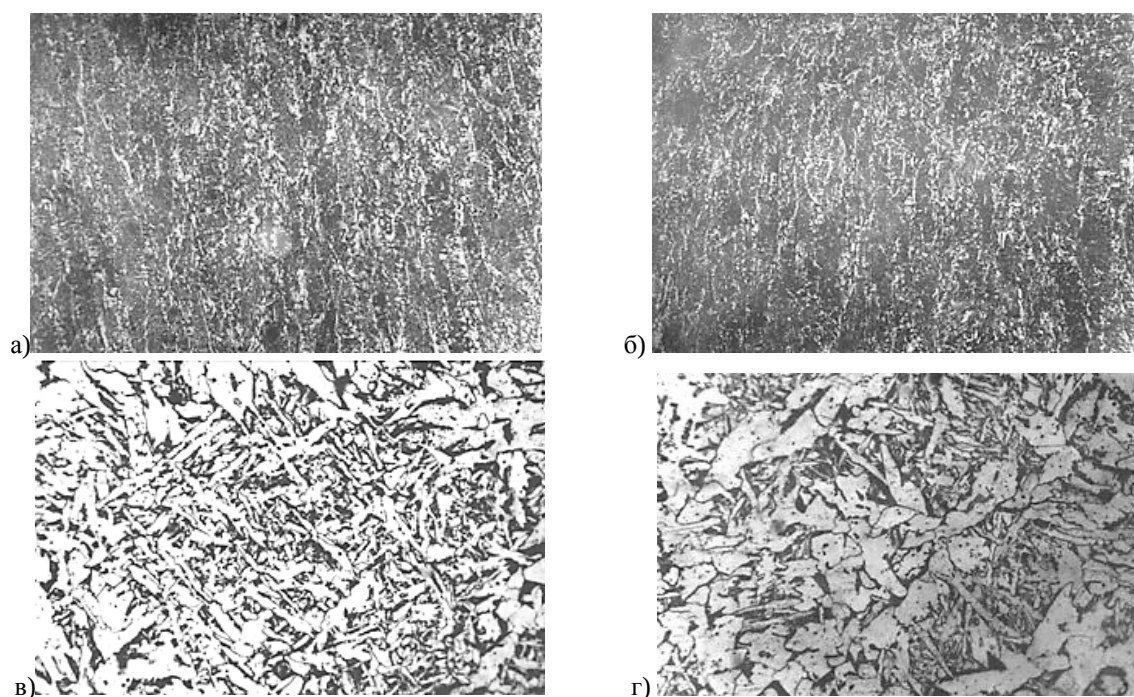


Рисунок 3 – Зона равноосных дендритов сварного шва, по базовой (а), и предлагаемой технологии сварки (б), увеличение структуры x50; то же с увеличением структуры x500 (в), (г) [The zone of equiaxed dendrites of the weld, according to the basic (a), and the proposed welding technology (b), an increase in the structure x50; the same with an increase in the structure x500 (c), (d)]

Исследования микроструктуры проводили на металлографическом микроскопе МЕФ 2 фирмы Reichert при увеличениях от 50 до 500 раз. Травление микрошлифов выполняли в 4% спиртовом растворе азотной кислоты. Исследовали микроструктуру зон столбчатых и равноосных дендритов, а также микроструктуру ЗТВ и линии сплавления. Размер равноосных зерен ЗТВ у линии сплавления при базовом варианте

больше (эталонный номер зерна $G=1$, средняя площадь зерна $a=0,0625\text{мм}^2$) [12], чем по предлагаемой технологии (эталонный номер зерна $G=2$, средняя площадь зерна $a=0,0312\text{мм}^2$) [12] по сравнению структур на рисунке 4 а, б. В базовом варианте технологии более выражена видманштеттовость микроструктур шва (см. рис. 2 а). Средний размер поперечного сечения отдельных столбчатых дендритов, растущих от зоны сплавления, здесь также больше (см. рис. 2 а, в и рис. 2 б, г).

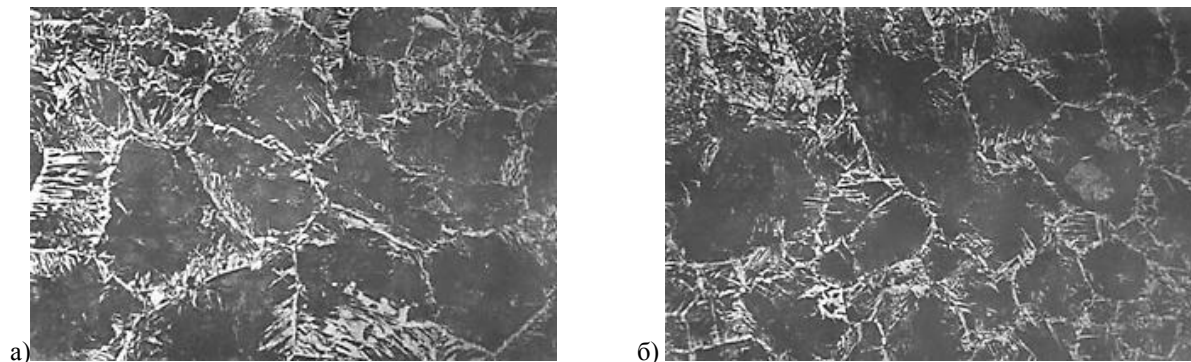


Рисунок 4 – Зона термического влияния в сварном шве, по базовой (а), и предлагаемой технологии сварки (б), увеличение структуры $\times 100$ [Heat-affected zone in the weld, according to the basic (a) and the proposed welding technology (b), an increase in the structure $\times 100$]

Структура зон равноосных дендритов мало отличается (см. рис. 3 а, б). В обоих случаях в микроструктуре присутствует полигональный феррит в виде сплошных массивных выделений по границам первичных кристаллов (см. рис. 2 в, г). Остальная часть микроструктуры представляет собой участки игольчатого феррита в виде пластинчатых или игольчатых образований в центральной части бывшего аустенитного зерна (дендрита).

По второй гипотезе разрушение растущих кристаллов при колебаниях жидкой фазы происходит за счет сил трения, возникающих между движущейся жидкой фазой и растущим кристаллом. Результаты расчетов показали, что при частотах колебаний свыше 9 кГц силы трения достигают значений превышающих прочность кристаллита при температуре плавления. Обе гипотезы могут удовлетворительно объяснить измельчение кристаллов под влиянием импульсного напряжения частотой 40кГц при формировании структуры металла шва [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дюргеров, Н.Г. Оборудование для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом / Н.Г. Дюргеров, Х.Н. Сагиров, В.А. Ленивкин. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 80 с.
2. Вагнер, Ф.А. Оборудование и способы сварки пульсирующей дугой / Ф.А. Вагнер. – Москва: Энергия, 1980. – 117 с.
3. Болдырев, А.М. О механизме формирования структуры металла шва при введении низкочастотных колебаний в сварочную ванну / А.М. Болдырев // Сварочное производство. – 1976. – № 2. – С. 52–55.
4. Славин, Г.А. Управление процессом кристаллизации путем динамического воздействия дуги / Г.А. Славин, Е.А. Столпнер, Т.В. Морозова, Н.Д. Маслова, В.Б. Хорошева // Сварочное производство. – 1974. – № 8. – С. 2–3.
5. Бурдаков, С.М. Исследование параметров дугового разряда с комбинированной системой питания / С.М. Бурдаков, В.М. Козловцев // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 2(11). – С. 54–58.
6. Chernov A.V., Poletaev Yu.V., Karvishvili Z.O. and Burdakov S.M. Increasing the stability of arcing in welding with coated electrodes. Welding International. 2000. №14(8). ISSN 0950-7116. P. 640-641.
7. Burdakov S.M., Chernov A.V., Poletaev Yu.V., Polezhaev S.V. Physical model of electric arc discharge with the application of high-frequency voltage. Welding International. 2002. №16 (4). ISSN 0950-7116. P. 317-319.

8. Бурдаков, С.М. Механизм повышения ударной вязкости соединений при импульсном воздействии на сварочный контур / С.М. Бурдаков // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 3(20). – С. 51-56.
9. Бурдаков, С.М. Повышение устойчивости дугового разряда и качества соединений при сварке покрытыми электродами / С.М. Бурдаков, А.В. Чернов, Ю.В. Полетаев, С.В. Полежаев, В.В. Прокопенко // Новые методы теоретических и экспериментальных исследований материалов, приборов и технологий: сборник научных трудов Волгодон. ин-та Новочерк. гос. техн. ун-та. – Новочеркасск : Набл, 2001. – С. 111-115.
10. Burdakov S.M., Chernov A.V., Poletaev Yu.V., Polezhaev S.V. Effect of high-frequency voltage on the geometrical characteristics of direct current arc. *Welding International*. 2005. № 19(11). ISSN 0950-7116. P. 917-920.
11. ГОСТ 9466-75 (СТ СЭВ 6568-89). Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия (ред. от 01.06.1990) // Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – URL : <http://consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=7936#049212932436850143> (дата обращения: 18.12.2020).
12. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна (ред. от 01.03.1987) // Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – URL : <http://consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=18004#034184396498906144> (дата обращения: 18.12.2020).

REFERENCES

- [1] Djurjerov N.G., Sagirov H.N., Lenivkin V.A. *Oborudovanie dlja impul'sno-dugovoj svarki plavjashhimsja jelektrodom* [Equipment for Pulse-Arc Welding with Melting Electrode]. Moskava: Jenergoatomizdat [Moscow: Jenergoatomizdat]. 1985. 80 p. (in Russian).
- [2] Vagner F.A. *Oborudovanie i sposoby svarki pul'sirujushhej dugoj* [Pulsating Arc Welding Equipment and Methods]. Moskava: Jenergija [Moscow: Jenergija]. 1980. 117 p. (in Russian).
- [3] Boldyrev A.M. O mekhanizme formirovaniya struktury metalla shva pri vvedenii nizkochastotnykh kolebaniy v svarochnyuyu vannu [Mechanism of Formation of Metal Structure of Seam at Introduction of Low-Frequency Fluctuations to a Welding Bath]. *Svarochnoye proizvodstvo* [Welding Fabrication]. 1976. №2. ISSN 0491-6441. P. 52-55 (in Russian).
- [4] Slavin G.A., Stolpner E.A., Morozov T.V., Maslova N.D., Khorosheva V.B. *Upravlenie protsessom kristallizatsii putem dinamicheskogo vozdeystviya dugi* [Controlling the Crystallization Process by Dynamic Action of the Arc]. *Svarochnoye proizvodstvo* [Welding Fabrication]. 1974. №8. ISSN 0491-6441. P. 2-3 (in Russian).
- [5] Burdakov S.M., Kozlovtssev V.M. *Issledovanie parametrov dugovogo razrjada s kombinirovannoj sistemoj pitaniya* [Arc Category Parameters Research with Combined Power Supply System]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2014. №2(11). ISSN2305-414X. P. 54-58 (in Russian).
- [6] Chernov A.V., Poletaev Yu.V., Karvishvili Z.O. and Burdakov S.M. Increasing the Stability of Arcing in Welding with Coated Electrodes. *Welding International*. 2000. №14(8). ISSN 0950-7116. P. 640-641 (in English).
- [7] Burdakov S.M., Chernov A.V., Poletaev Yu.V., Polezhaev S.V. Physical Model of Electric Arc Discharge with the Application of High-Frequency Voltage. *Welding International*. 2002. №16 (4). ISSN 0950-7116. P. 317-319 (in English).
- [8] Burdakov S.M. *Mehanizm povysheniya udarnoj vjazkosti soedinenij pri impul'snom vozdeystvii na svarochnyj kontur* [The Mechanism of Connection Impact Strength Increase during Pulse Impact on the Welding Circuit in the Nuclear Power Complex]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2016. №3(20). ISSN2305-414X. P. 51-56 (in Russian).
- [9] Burdakov S.M., Chernov A.V., Poletaev Yu.V., Polezhaev S.V., Prokopenko V.V. *Povyshenie ustoychivosti dugovogo razryada i kachestva soedinenij pri svarke pokrytymi elektrodami* [Increase of Stability of the Arc Category and Quality of Connections when Welding by the Covered Electrodes]. *Novyye metody teoreticheskikh i eksperimental'nykh issledovaniy materialov, priborov i tekhnologii: sbornik nauchnykh trudov* [New Methods of Theoretical and Experimental Research of Materials, Devices and Technologies: collection of scientific papers Volgogradsk Institute of Novocherkassk University]. Novocherkassk: Nabla. 2001. P. 111-115 (in Russian).
- [10] Burdakov S.M., Chernov A.V., Poletaev Yu.V., Polezhaev S.V. Effect of High-Frequency Voltage on the Geometrical Characteristics of Direct Current Arc. *Welding International*. 2005. № 19 (11). ISSN 0950-7116. P. 917-920 (in English).
- [11] GOST 9466-75 (ST SJeV 6568-89). *Jelektrody pokrytye metallicheskie dlja ruchnoj dugovoj svarki stalej i naplavki. Klassifikacija i obshhie tehicheskie uslovija* (red. ot 01.06.1990) [Coated Metal

Electrodes for Manual Arc Welding of Steels and Surfacing. Classification and General Technical Conditions (edition of 01.06.1990)]. Ofitsial'nyy sayt kompanii «Konsul'tant Plyus» [Official site of the Consultant Plus company]. URL: <http://consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=7936#049212932436850143> – 18.12.2020 (in Russian).

- [12] GOST 5639-82. Stali i splavy. Metody vyjavlenija i opredelenija velichiny zerna (red. ot 01.03.1987) [Steels and Alloys. Methods for Detecting and Determining the Grain Size (edition of 01.03.1987)]. Ofitsial'nyy sayt kompanii «Konsul'tant Plyus» [Official site of the Consultant Plus company]. URL: <http://consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=18004#034184396498906144> – 18.12.2020 (in Russian).

Study of Welded Joint Metal Structure under Pulsed Impact on Arc Discharge

S.M. Burdakov^{*1}, M.B. Damaskina^{**2}, D.I. Zheletskiy^{**3}

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

***«Atommash» the branch of «AEM-technologies» JSC in Volgodonsk, Zhukovskoe highway, 10, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹ORCID iD: 0000-0002-8599-6008

WoS Researcher ID: F-6903-2017

e-mail: SMBurdakov@mephi.ru

²ORCID iD: 0000-0003-2488-1191

e-mail: damaskina_mb@atommash.ru

³ORCID iD: 0000-0001-9627-7685

e-mail: zheletskiy_di@atommash.ru

Abstract – The article presents the results of an experimental study of the effect of an additional pulse-quasi-harmonic voltage with a frequency of 40 kHz on the structure of welded joints, the technological properties of a DC arc discharge in manual arc welding with covered electrodes. Obtaining a fine-grained structure of a welded joint is one of the conditions for increasing its technological and strength properties, and the operational reliability of the manufactured product as a whole.

Keywords: fine-grained structure, metal structures, weld seam, manual arc welding, arc discharge stability, mechanical properties, metal quality, dendritic grinding, impulse action, electromagnetic field, metallographic studies, macro and microstructure of samples, ferrite, dendrite.

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

УДК 539.3

**НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РАСЧЕТУ НА ИЗГИБ КРУГЛЫХ И
КОЛЬЦЕВЫХ ПЛАСТИН, А ТАКЖЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИХ НИЗШИХ
СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ**

© 2021 А.С. Кравчук^{*}, С.А. Томилин^{**}, А.И. Кравчук^{***}, С.Ф. Годунов^{**},
А.Ф. Смалюк^{***}

^{*}Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

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

^{***}Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Предполагается, что поперечные перемещения пластин постоянной толщины являются малыми. При этом пластины изгибаются приложенными по краю моментами с постоянной интенсивностью. Впервые разработана теория чистого изгиба круглых и кольцевых пластин. Под чистым изгибом понимается напряженно-деформированное состояние, при котором полностью отсутствуют сдвиги в пластинах. В рамках принятых гипотез определены нормальные радиальные деформации пластин. Исходя из уравнения неразрывности в осесимметричном случае установлено, что нормальные радиальные и окружные деформации совпадают. Используя закон Гука, определены нормальные напряжения, действующие в пластинах. Исходя из уравнений равновесия, вычислены моменты, необходимые для изгиба пластин до заданной кривизны. Получено дифференциальное уравнение для определения малых поперечных перемещений пластин под действием моментов постоянной интенсивности, приложенных к краю пластины. Получено решение этого уравнения в элементарном виде для случая шарнирного закрепления по периметру. Для перехода к решению задач изгиба пластин поперечной нормальной нагрузкой предложен метод определения эквивалентных моментов по действующей осесимметричной нагрузке, как для круглых, так и для кольцевых пластин. Для удовлетворения условий равновесия для рассматриваемых пластин при действии поперечной нагрузки предполагается, что величина вертикальной реакции на опорах по периметру равномерно распределена и равна интегральной величине нормальной нагрузки, деленной на длину периметра. В качестве примера решены задачи изгиба пластин под собственным весом при шарнирном опирании. В рамках предлагаемой теории продемонстрированы решения задач изгиба круглых и кольцевых пластин, расположенных на основании Винклера. Впервые предложена методика определения низшей собственной частоты как круглых, так и кольцевых пластин в рамках предлагаемой теории чистого изгиба. Предложена также методика учета влияния основания Винклера под пластинами на низшую собственную частоту.

Ключевые слова: чистый изгиб, круглая пластина, кольцообразная пластина, вычисление эквивалентного момента, основание Винклера, низшая собственная частота.

Поступила в редакцию 24.12.2020

После доработки 03.03.2021

Принята к печати 09.03.2021

Введение

Повышение требований к безопасности объектов атомной энергетики стимулирует разработку новых теорий и методов решений задач прочности и жесткости конструктивных элементов, технологического оборудования и конструкций, как основного, так и вспомогательных зданий и сооружений атомных станций, в том числе при воздействии природных явлений [1-3]. Многие современные

конструкционные решения состоят из элементов, которые можно классифицировать как пластинки. Данные пластинки могут быть постоянной или переменной толщины [4] различной сложной геометрической формы, при этом на них могут оказывать влияния не только силовые, но и температурные воздействия. Кроме того, пластины могут состоять из структурно неоднородных материалов [5].

Как известно, классическая теория пластин строится на основе гипотез Кирхгофа, одна из которых (геометрическая) предполагает отсутствие поперечных сдвигов и поперечного обжатия. Но тогда, в соответствии с соотношениями закона Гука, следовало бы принять, что перерезывающие силы равны нулю, что привело бы к невозможности уравновесить нормальную поверхностную нагрузку. В этом и заключается основное противоречие кирхгофской теории пластин [6].

Попытка смягчить предположение об отсутствии сдвигов [6] приводит к тому, что в соответствии со свойством парности касательных напряжений [7] на поверхности пластины действует не только поперечная нагрузка, но и специфическое распределение касательных напряжений, что также противоречит исходной постановке задачи об отсутствии на поверхности пластины касательных нагрузок.

В данной работе впервые построена непротиворечивая теория чистого изгиба круглых пластин поперечной осесимметричной нагрузкой. Идея исследования заключается в том, чтобы действующую осесимметричную нагрузку заменить эквивалентным моментом, приложенным к краю круглой пластины. Сами уравнения изгиба получаются аналогично обобщению Тимошенко С.П. [8, 9] уравнения чистого изгиба бруса на чистый изгиб прямоугольной пластины.

Основные гипотезы, используемые в простейшей модели изгиба круглой пластины постоянной толщины

При построении теории чистого изгиба круглой пластины радиусом R постоянной толщины (Рисунок 1) ее можно разделить на элементарные слои толщиной λ . Будем предполагать, что продольные слои в пластине не взаимодействуют в поперечном направлении, а также в пластине существует нейтральный слой – слой, радиальные размеры которого не изменяется при изгибе. Используется гипотеза о полном отсутствии сдвигов ($\gamma_{xy} = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$).

Пластина изгибается приложенным по краю моментом M_r с постоянной интенсивностью $\frac{M_r}{2\pi R}$ (рис. 1). Пусть круглая пластина имеет постоянную толщину h .

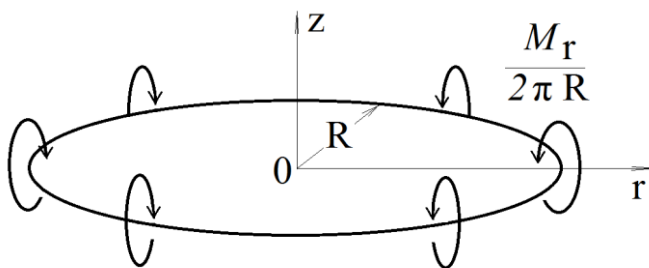


Рисунок 1 – Чистый изгиб круглой пластины постоянной толщины моментом постоянной интенсивности, приложенным к ее краю [Pure bending of a circular plate of constant thickness by a moment of constant intensity applied to its edge]

Определение напряжений в круглой пластине в условиях чистого изгиба

Следуя монографии Тимошенко С.П. [8], исходя из очевидных рассуждений о геометрическом подобии продольных размеров элементарных слоев размерам нейтрального слоя, можно установить, что нормальные радиальные $\varepsilon_r(z)$ деформации

элементарного слоя относительно геометрического положения нейтрального слоя распределены следующим образом [8], формула (1):

$$\varepsilon_r(z) = \frac{z - \delta}{\rho_r}, \quad (1)$$

где δ – координата нейтрального слоя относительно геометрической середины пластины;

ρ_r – радиус кривизны осесимметричного нейтрального слоя в плоскости rOz . Исходя из уравнения неразрывности деформаций в полярных координатах в осесимметричном случае [10], с учетом (1) можно утверждать, что окружные $\varepsilon_\theta(z, t)$ будут иметь вид формулы (2):

$$\varepsilon_\theta(z) = \frac{z - \delta}{\rho_r}. \quad (2)$$

Для плоского напряженного состояния ($\sigma_z = 0$) можно получить следующие уравнения (3) для действующих напряжений $\sigma_r(z)$, $\sigma_\theta(z)$ и нормальных деформаций плоскости пластины $\varepsilon_r(z)$, $\varepsilon_\theta(z)$ [11]:

$$\begin{aligned} \sigma_r(z) &= \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_r(z) + \nu \cdot \varepsilon_\theta(z)) = \frac{E}{1-\nu} \frac{z - \delta}{\rho_r}, \\ \sigma_\theta(z) &= \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_\theta(z) + \nu \cdot \varepsilon_r(z)) = \frac{E}{1-\nu} \frac{z - \delta}{\rho_r}. \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнения равновесия

Определение координаты нейтрального слоя относительно середины круглой пластины. Исходя из того, что касательные напряжения по предположению отсутствуют и при чистом изгибе круглой пластины $\sigma_r(z) = \sigma_\theta(z)$ (см. систему (3)), то необходимо удовлетворить два уравнения равновесия (4):

$$\begin{aligned} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int_0^R \sigma_r dy dz &= 0, \\ 2\pi \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int_0^R (\sigma_r \cdot z) dr dz &= M_r. \end{aligned} \quad (4)$$

Подставляя первое уравнение (3) в систему (4), получаем уравнения равновесия, определяющие в общем случае положение нейтрального слоя δ относительно середины толщины пластины (см. рис. 1), и величину радиуса кривизны ρ_r :

$$\int_{-h/2}^{h/2} (y - \delta) dy = 0, \quad (5)$$

$$\frac{E}{(1-\nu) \cdot \rho_r} \int_{-h/2}^{h/2} (z - \delta) \cdot z dz = \frac{1}{2\pi \cdot R} M_r.$$

Окончательно из (5) можно получить решение (6):

$$\delta = 0, \quad (6)$$

$$\frac{1}{\rho_r} = \frac{6 \cdot (1-\nu)}{E \cdot h^3} \cdot \frac{1}{\pi \cdot R} M_r.$$

Определение перемещений круглой пластины при шарнирном закреплении по периметру

В осесимметричном случае в вершине круглой пластины кривизна определяется как $\frac{1}{\rho_r} = \frac{\partial^2}{\partial r^2} w(r) \Big|_{r=0}$. Будем считать, что $\frac{\partial^2}{\partial r^2} w(r)$ постоянна $\forall r \in [0, R]$, тогда можно получить уравнение:

$$\frac{\partial^2}{\partial r^2} w(r) = \frac{6 \cdot (1-\nu)}{E \cdot h^3} \cdot \frac{1}{\pi \cdot R} M_r. \quad (6)$$

Несложно заметить, что, исходя из условий шарнирного закрепления при $r = R$, можно получить единственное решение уравнения (6) в виде:

$$w(r) = \frac{6 \cdot (1-\nu)}{E \cdot h^3} \cdot \frac{1}{\pi \cdot R} M_r (r^2 - R^2). \quad (7)$$

Пусть поперек пластины, закрепленной в углах на ее верхней поверхности, действует внешняя осесимметричная распределенная нагрузка с интенсивностью $q(r) < 0$. Будем предполагать, что нагрузка распределена по участку круга S радиуса a поверхности пластины, т.е. $q(r) \neq 0$ при $r \in [0, a]$ и $q(r) = 0$ при $r \in [a, R]$ (рис. 2). Соответственно предполагается, что интенсивность вертикальной реакции при опоре по периметру равна $-\frac{1}{R} \int_0^R q(r) \cdot r dr$.

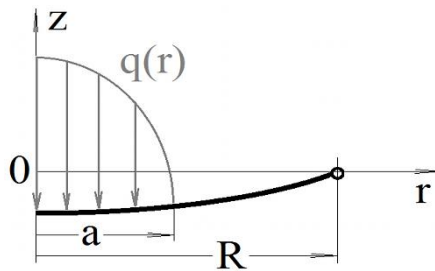


Рисунок 2 – Действие распределенной поперечной нагрузки $q(r)$ на поверхность пластины

[The action of a distributed transverse load $q(r)$ on the surface of the plate]

Тогда для расчета прогибов по формуле (7) можно использовать уравнения, определяющие момент, эквивалентный приложенной нагрузке $q(r)$:

$$M_r = -2\pi \int_0^R q(r) \cdot r^2 dr. \quad (8)$$

Пример расчета прогибов упругой пластины под собственным весом. В данном случае $q(r) = -g \cdot \rho \cdot h$ (главный вектор нагрузки направлен противоположно оси Oz). Подставляя последнее выражение в (8) и интегрируя, получаем эквивалентный момент в виде:

$$M_r = 2\pi \cdot g \cdot \rho \cdot h \cdot \frac{R^3}{3}.$$

Таким образом, прогибы круглой пластины под действие собственного веса будут определяться выражением:

$$w(r) = \frac{4 \cdot (1-\nu)}{R \cdot E \cdot h^2} \cdot g \cdot \rho \cdot R^3 \cdot (r^2 - R^2). \quad (9)$$

Чистый изгиб круглой пластины на упругом основании Винклера

Как уже установлено ранее решение задачи о чистом изгибе определяется формулой (7). Рассчитаем в этом случае возникающий момент сопротивления от основания Винклера по формуле (8). Учитывая, что нагрузка сопротивления $q_V(r)$ основания Винклера толщиной h_V и модулем упругости E_V определяется формулой $q_V(r) = -E_V \frac{w(r)}{h_V}$ (главный вектор этой нагрузки сонаправлен с осью Oz), а эквивалентный момент сопротивления основания прогибу пластины можно записать в виде:

$$\begin{aligned} M_V &= -2\pi \int_0^R q_V(r) \cdot r^2 dr = 2\pi \int_0^R E_V \frac{w(r)}{h_V} \cdot r^2 dr = \\ &= \frac{E_V}{h_V} \frac{12 \cdot (1-\nu)}{R \cdot E \cdot h^3} \cdot M_r \int_0^R (r^2 - R^2) \cdot r^2 dr = -\alpha \cdot M_r, \\ \text{где } \alpha &= \frac{24}{15} \frac{E_V}{h_V} \frac{(1-\nu)}{E \cdot h^3} \cdot R^4. \end{aligned}$$

В этом случае суммарные перемещения от распределенной нагрузки $q(r)$, создающей эквивалентный момент M_r , и от нагрузки $q_V(r)$, создающей эквивалентный момент сопротивления основания M_V , равен решению с суммой двух моментов M_r и M_V :

$$w(r) = \frac{6 \cdot (1-\nu)}{\pi \cdot R \cdot E \cdot h^3} \cdot (M_r + M_V) \cdot (r^2 - R^2) = \frac{6 \cdot (1-\nu)}{\pi \cdot R \cdot E \cdot h^3} \cdot (1-\alpha) \cdot (r^2 - R^2) \cdot M_r.$$

Будем предполагать, что предлагаемая модель чистого изгиба круглой пластины на упругом основании верна, только когда $\alpha < 1$, т.е. когда выполнено:

$$\frac{h_V}{E_V} > \frac{24}{15} \frac{(1-\nu)}{E \cdot h^3} \cdot R^4. \quad (10)$$

Эти ограничения объясняются определенной неточностью применения методики сопротивления материалов при пересчете прогибов через эквивалентные моменты, а не непосредственного определения прогибов, исходя из действующей нагрузки.

Соответственно прогиб круглой пластины на упругом основании Винклера под действием собственного веса при принятых ограничениях на решаемую задачу определяется выражением:

$$w(r) = \frac{4 \cdot (1-\nu)}{R \cdot E \cdot h^2} \cdot g \cdot \rho \cdot R^3 \cdot (1-\alpha) \cdot (r^2 - R^2).$$

Интенсивность вертикальной реакции при оперании пластины по периметру равна $-\frac{1-\alpha}{R} \int_0^R q(r) \cdot r dr$.

Оценка нижней собственной частоты колебаний чистого изгиба круглой пластины

При собственных колебаниях $q(r, t) = -w''(r, t) \cdot \rho \cdot h$, где $w''(r, t) = \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$, тогда из (7) и (8) следует, что:

$$w(r, t) = 12 \frac{(1-\nu)}{R \cdot E \cdot h^2} \cdot \rho \cdot \int_0^R w''(r, t) \cdot r^2 dr \cdot (r^2 - R^2). \quad (11)$$

Далее, предполагая по аналогии с (9), исходя из анализа размерностей, получаем:

$$w(r, t) = \frac{4 \cdot (1-\nu)}{R \cdot E \cdot h} \cdot \omega^2 \cdot \rho \cdot R^3 \cdot (r^2 - R^2) \cdot T(t), \quad (12)$$

где $T(t)$ – некоторая функция времени, удовлетворяющая уравнению $T(t) = -\frac{1}{\omega^2} \cdot T''(t)$;

ω – низшая собственная частота колебаний.

Подставляя (12) в (11), получаем:

$$\frac{T(t)}{T''(t)} = 12 \frac{(1-\nu)}{R \cdot E \cdot h^2} \cdot \rho \cdot \int_0^R (r^2 - R^2) \cdot r^2 dr.$$

Из последнего уравнения можно получить, что:

$$\omega^{-2} = -12 \frac{(1-\nu)}{R \cdot E \cdot h^2} \cdot \rho \cdot \int_0^R (r^2 - R^2) \cdot r^2 dr.$$

Таким образом, низшая собственная частота круглой пластины при колебаниях чистого изгиба определяется выражением:

$$\omega = \sqrt{\frac{5}{8} \frac{E}{(1-\nu)} \frac{h^2}{\rho \cdot R^4}}. \quad (13)$$

Соответственно при колебаниях пластины на Винклеровом основании при принятых ограничениях (10) уравнение для определения низшей частоты принимает вид:

$$w(r) = 12 \frac{(1-\nu)}{R \cdot E \cdot h^2} \cdot (1-\alpha) \cdot \rho \cdot \int_0^R w''(r, t) \cdot r^2 dr \cdot (r^2 - R^2).$$

С учетом ограничений (10) низшая собственная частота определяется выражением:

$$\omega = \sqrt{\frac{5}{8} \frac{E}{(1-\nu)(1-\alpha)} \frac{h^2}{\rho \cdot R^4}}. \quad (14)$$

Результаты исследования изгиба концентрических колец

Рассмотрим кольцо внутренним радиусом R_1 и внешним радиусом R_2 . Пусть на внутренней и внешней границе действуют моменты M_1 и M_2 соответственно (рис. 3).

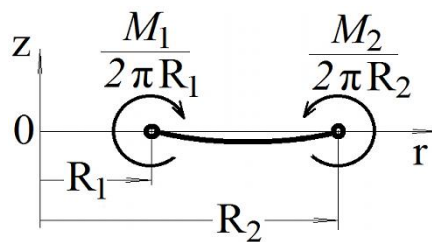


Рисунок 3 – Радиальное сечение концентрического кольца, изгибаемого моментами постоянной интенсивности, приложенными к границам [Radial section of a concentric ring bent by moments of constant intensity applied to the boundaries]

Несложно заметить, что уравнение (6) для малых поперечных прогибов остается верным и в случае рассматриваемой кольцевой пластины (см. рис. 3), с единственным уточнением:

$$\frac{\partial^2}{\partial r^2} w(r) = \frac{6 \cdot (1-\nu)}{\pi \cdot E \cdot h^3 \cdot R_2} \cdot \left(M_2 - R_2 \frac{M_1}{R_1} \right),$$

если моменты вызывают прогиб кольца в одну сторону. Если действующие моменты вызывают прогиб кольца в разные стороны, то в этом случае радиальное сечение кольца следует разделить на два интервала, например, первая – параболической вогнутости, а вторая – параболической выпуклости. На обоих этих интервалах будет выполняться уравнение вида (6). Но в данном исследовании этот случай не рассматривается.

Соответственно решением последнего уравнения при описанных выше условиях на действующие моменты и при шарнирном опирании кольца по обеим границам будет выражение:

$$w(r) = \frac{6 \cdot (1 - \nu)}{\pi \cdot E \cdot h^3 \cdot R_2} \cdot \left(M_2 - R_2 \frac{M_1}{R_1} \right) \cdot (r - R_1)(r - R_2). \quad (15)$$

В качестве особенности предлагаемого решения для кольца можно выделить случай, когда момент M_1 равен нулю, решение задачи изгиба кольца одним моментом M_2 , приложенным к внешней границе, можно переписать в виде:

$$w(r) = \frac{6 \cdot (1 - \nu)}{\pi \cdot E \cdot h^3} \cdot \frac{M_2}{R_2} \cdot (r - R_1)(r - R_2).$$

При этом, возможно, приравнять R_1 нулю и получить решение о шарнирном опирании круглой пластины в центре при изгибе ее моментом, приложенным на границе. Подобное решение невозможно получить с использованием стандартного подхода при расчете изгиба пластин [12].

В силу того что максимальный прогиб кольца при воздействии моментов M_1 и M_2 достигается на срединном радиусе кольца $(R_1 + R_2)/2$, вычисление эквивалентных моментов от действия поперечной осесимметричной распределенной нагрузки $q(r)$ ($r \in [R_1, R_2]$) будет определяться уравнениями:

$$M_1 = 2\pi \int_{R_1}^{(R_1 + R_2)/2} q(r) \cdot r^2 dr, \quad M_2 = -2\pi \int_{(R_1 + R_2)/2}^{R_2} q(r) \cdot r^2 dr.$$

Соответственно предполагается, что интенсивность вертикальной реакции при опоре по периметру равна $-\frac{1}{R_1 + R_2} \int_{R_1}^{R_2} q(r) \cdot r dr$.

При изгибе кольца под собственным весом, как и ранее, следует положить $q(r) = -g \cdot \rho \cdot h$, тогда

$$M_1 = -\frac{2}{3} \pi \cdot g \cdot \rho \cdot h \cdot \left(\left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right)^3 - R_1^3 \right),$$

$$M_2 = \frac{2}{3} \pi \cdot g \cdot \rho \cdot h \cdot \left(R_2^3 - \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right)^3 \right),$$

и решение можно представить уравнением:

$$w(r) = \frac{4 \cdot (1-\nu)}{E \cdot h^2} \cdot g \cdot \rho \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot \left(1 + \frac{(R_1 + R_2)^2}{8 \cdot R_1 \cdot R_2} \right) \cdot (r - R_1)(r - R_2). \quad (16)$$

Не повторяя уже известных рассуждений для круглой пластины на основании Винклера, можно получить для кольца на основании Винклера следующее решение:

$$w(r) = \frac{6 \cdot (1-\nu)}{\pi \cdot E \cdot h^3 \cdot R_2} \cdot (1-\beta) \cdot \left(M_2 - R_2 \frac{M_1}{R_1} \right) \cdot (r - R_1)(r - R_2),$$

$$\text{где } \beta = \frac{1}{5} \frac{(1-\nu)}{E \cdot h^3 \cdot R_2} \cdot \frac{E V}{h V} (R_2 - R_1)^3 (3R_1^2 + 4R_1 R_2 + 3R_2^2). \quad (17)$$

При ограничении $\beta < 1$ на соотношение физических и геометрических параметров:

$$\frac{h V}{E V} > \frac{1}{5} \frac{(1-\nu)}{E \cdot h^3 \cdot R_2} \cdot (R_2 - R_1)^3 (3R_1^2 + 4R_1 R_2 + 3R_2^2). \quad (18)$$

Интенсивность вертикальной реакции при оперании пластины по периметру равна $-\frac{1-\beta}{R_1 + R_2} \int_{R_1}^{R_2} q(r) \cdot r dr$.

Определение низшей собственной частоты концентрических колец и колец на основании Винклера

В данном случае, как и ранее $q(r, t) = -w''(r, t) \cdot \rho \cdot h$, тогда эквивалентные моменты вычисляются следующим образом:

$$M_1 = -2\pi \cdot \rho \cdot h \int_{R_1}^{(R_1+R_2)/2} w''(r, t) \cdot r^2 dr, \quad M_2 = 2\pi \cdot \rho \cdot h \int_{(R_1+R_2)/2}^{R_2} w''(r, t) \cdot r^2 dr.$$

Из (15) получаем уравнение для определения низшей собственной частоты:

$$w(r) = \frac{12 \cdot (1-\nu)}{E \cdot h^2} \cdot \rho \times \\ \times \left(\frac{1}{R_2} \int_{(R_1+R_2)/2}^{R_2} w''(r, t) \cdot r^2 dr + \frac{1}{R_1} \int_{R_1}^{(R_1+R_2)/2} w''(r, t) \cdot r^2 dr \right) \cdot (r - R_1)(r - R_2). \quad (19)$$

Далее, предполагая по аналогии с (16), исходя из анализа размерностей, получаем:

$$w(r, t) = \frac{4 \cdot (1-\nu)}{E \cdot h^2} \cdot \omega^2 \cdot \rho \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot \left(1 + \frac{(R_1 + R_2)^2}{8 \cdot R_1 R_2} \right) \cdot (r - R_1)(r - R_2) \cdot T(t). \quad (20)$$

где $T(t)$ – некоторая функция времени, удовлетворяющая уравнению $T(t) = -\frac{1}{\omega^2} \cdot T''(t)$;

ω – низшая собственная частота колебаний кольца.

Подставляя (20) в (19), получаем:

$$\frac{T(t)}{T''(t)} = \frac{12 \cdot (1-\nu)}{E \cdot h^2} \cdot \rho \times \left(\frac{1}{R_2} \int_{(R_1+R_2)/2}^{R_2} (r-R_1)(r-R_2) \cdot r^2 dr + \frac{1}{R_1} \int_{R_1}^{(R_1+R_2)/2} (r-R_1)(r-R_2) \cdot r^2 dr \right).$$

Из последнего уравнения можно получить, что:

$$\omega^{-2} = \frac{(1-\nu)}{E \cdot h^2} \cdot \rho \cdot \frac{(R_2 - R_1)^3 \cdot (R_1 + R_2) \cdot (9 \cdot R_1^2 + 62 \cdot R_1 \cdot R_2 + 9 \cdot R_2^2)}{80 \cdot R_1 \cdot R_2}.$$

Таким образом, низшая собственная частота кольцевой пластины при колебаниях чистого изгиба определяется выражением:

$$\omega = \sqrt{80 \frac{E}{(1-\nu)} \frac{h^2 \cdot R_1 \cdot R_2}{\rho \cdot (R_2 - R_1)^3 \cdot (R_1 + R_2) \cdot (9 \cdot R_1^2 + 62 \cdot R_1 \cdot R_2 + 9 \cdot R_2^2)}}.$$

Соответственно при колебаниях пластины на основании Винклера с использованием (17) при принятых ограничениях (18) уравнение для определения низшей частоты принимает вид:

$$w(r) = \frac{12 \cdot (1-\nu)}{E \cdot h^2} \cdot \rho \cdot (1-\beta) \times \left(\frac{1}{R_2} \int_{(R_1+R_2)/2}^{R_2} w''(r,t) \cdot r^2 dr + \frac{1}{R_1} \int_{R_1}^{(R_1+R_2)/2} w''(r,t) \cdot r^2 dr \right) \cdot (r-R_1)(r-R_2).$$

С учетом ограничений (18) низшая собственная частота определяется выражением:

$$\omega = \sqrt{80 \frac{E}{(1-\nu)} \frac{h^2 \cdot R_1 \cdot R_2}{\rho \cdot (1-\beta) \cdot (R_2 - R_1)^3 \cdot (R_1 + R_2) \cdot (9 \cdot R_1^2 + 62 \cdot R_1 \cdot R_2 + 9 \cdot R_2^2)}}.$$

Результаты и выводы

Впервые разработана теория чистого изгиба круглых и кольцевых пластин моментами постоянной интенсивности, приложенными к их круговым границам.

Предложен метод определения эквивалентных моментов по действующей осесимметричной нагрузке, как для круглых, так и для кольцевых пластин.

В рамках предлагаемой теории продемонстрированы решения задач изгиба круглых и кольцевых пластин, расположенных на основании Винклера.

Впервые предложена методика определения низшей собственной частоты как круглых, так и кольцевых пластин в рамках предлагаемой теории чистого изгиба.

Предложена также методика учета наличия основания Винклера под пластинами на низшую собственную частоту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Godio M., Beyer K. Analytical model for the out-of-plane response of vertically spanning unreinforced masonry walls // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, V. 46, 2017, N. 15, P. 2757-2776.
2. Tomassetti U., Graziotti F., Penna A., Magenes G. Modelling one-way out-of-plane response of single leaf and cavity walls // *Engineering Structures*, 167, 2018. P. 241–255. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.05.055.
3. João Paulo Silva Lima, Marcelo Langhinrichs Cunha, Elizaldo Dominguesdos Santos, Luiz Alberto Oliveira Rocha, Mauro de Vasconcellos Real, Liércio André Isoldi. Constructal Design for the ultimate buckling stress improvement of stiffened plates submitted to uniaxial compressive load // *Engineering Structures*, V. 203, 2020, 109883 DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109883.
4. Садигов, И.Р. Исследование устойчивости многослойных круглых пластин переменной толщины из нелинейно-упругого материала / И.Р. Садигов // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2019. – № 7(85), Ч. 1. – С. 31-37. – DOI: 10.23670/IRJ.2019.85.7.006.
5. Soumen Shaw. Bending of a Thin Rectangular Isotropic Micropolar Plate // *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*. V.20. 2019. No1. P.64-71. DOI: 10.1080/15502287.2019.1568616.
6. Ермоленко, А.В. Расчет круглых пластин по уточненным теориям / А.В. Ермоленко // *Вестник Сыктывкарского университета*. – 2006. – Сер. 1, Вып. 6. – С. 79-86.
7. Журавков, М.А. Механика сплошных сред. Теория упругости и пластичности / М.А. Журавков, Э.И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2011. – 543 с.
8. Тимошенко, С.П. Пластинки и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – Москва : Наука, 1966. – 636 с.
9. Кравчук, А.С. Чистый изгиб наследственно вязкоупругопластических прямоугольных пластин / А.С. Кравчук, А.И. Кравчук, С.А. Томилин, С.Ф. Годунов // *Инженерный вестник Дона*. – 2019. – № 9. – URL : <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6170> (дата обращения: 02.03.2020).
10. Кравчук, А.С. Полное решение задачи Ляме для толстостенного в среднем изотропного цилиндра из нелинейно-деформируемых материалов / А.С. Кравчук, А.И. Кравчук, С.Н. Лопатин // *Строительные материалы и изделия*. – 2019. – Т. 2, № 4. – С. 64-72.
11. Дородов, П.В. О краевой задаче теории упругости в полярной системе координат / П.В. Дородов // *Инженерный вестник Дона*. – 2015. – № 1. – URL : <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2800> (дата обращения: 02.03.2020).
12. Кравчук, А.С. Оценка упругопластических прогибов круглых и кольцевых пластин под действием осесимметричных поперечных нагрузок / А.С. Кравчук, А.И. Кравчук // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. – 2019. – Т. 5, №3. – URL : <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2019/10/2019-N3-Kravchuk.pdf> (дата обращения: 10.10.19).

REFERENCES

- [1] Godio M., Beyer K. Analytical Model for the Out-Of-Plane Response of Vertically Spanning Unreinforced Masonry Walls. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. V. 46. 2017. No 15. P.2757-2776 (in English).
- [2] Tomassetti U., Graziotti F., Penna A., Magenes G. Modelling One-Way Out-Of-Plane Response of Single Leaf and Cavity Walls. *Engineering Structures*, 167. 2018. P.241-255. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.05.055 (in English).
- [3] João Paulo Silva Lima, Marcelo Langhinrichs Cunha, Elizaldo Dominguesdos Santos, Luiz Alberto Oliveira Rocha, Mauro de Vasconcellos Real, Liércio André Isoldi. Constructal Design for the Ultimate Buckling Stress Improvement of Stiffened Plates Submitted to Uniaxial Compressive Load. *Engineering Structures*. V.203. 2020. 109883 DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109883 (in English).
- [4] Sadigov I.R. Issledovanie ustojchivosti mnogoslojnyh kruglyh plastin peremennoj tolshhiny iz nelinejno-uprugogo materiala [The Study of the Stability of Multilayer Round Plates of Variable Thickness from a Nonlinear Elastic Material]. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*

- [International Scientific Journal]. 2019, № 7(85). Ch.1. P. 31-37. DOI: 10.23670/IRJ.2019.85.7. (in Russian).
- [5] Soumen Shaw. Bending of a Thin Rectangular Isotropic Micropolar Plate. International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics, V.20. 2019. No 1. P. 64-71. DOI: 10.1080/15502287.2019.1568616 (in English).
- [6] Ermolenko A.V. Raschet kruglyh plastin po utochnennym teorijam [Calculation of Round Plates According to Revised Theories]. Vestnik Syktyvskarskogo universiteta [Bulletin of the Syktyvkar University]. Ser. 1. V.6. 2006. P. 79-86 (in Russian).
- [7] Zhuravkov M.A., Starovojtov Je.I. Mehanika sploshnyh sred. Teorija uprugosti i plastichnosti [Continuum Mechanics. Theory of Elasticity and Plasticity]. Minsk: BGU, 2011. 543 p. (in Russian).
- [8] Timoshenko S.P., Vojnovskij-Kriger S. Plastinki i obolochki [Plates and Shells]. Moscow: Nauka, 1966. 636 p. (in Russian).
- [9] Kravchuk A.S., Kravchuk A.I., Tomilin S.A., Godunov S.F. Chistyj izgib nasledstvenno vjaskouprugoplasticheskikh prjamougol'nyh plastin [Pure Bending of Hereditarily Viscoelastic Plastic Rectangular Plates]. Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. № 9. 2019. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6170-02.03.2020> (in Russian).
- [10] Kravchuk A.S., Kravchuk A.I., Lopatin S.N. Polnoe reshenie zadachi Ljame dlja tolstostennogo v srednem izotropnogo cilindra iz nelinejno-deformiruemyh materialov [Complete Solution of the Lyame Problem for an Average Thick-Walled Isotropic Cylinder of Non-Linearly Deformable Materials]. Stroitel'nye materialy i izdelija [Building Materials and Products]. 2019. V 2. №4. P.64-72 (in Russian).
- [11] Dorodov P.V. O kraevoj zadache teorii uprugosti v poljarnoj sisteme koordinat [The Boundary Value Problem of the Theory of Elasticity in the Polar Coordinate System]. Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. № 1. 2015. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2800-02.03.2020> (in Russian).
- [12] Kravchuk A.S., Kravchuk A.I. Ocenka uprugoplasticheskikh progibov kruglyh i kol'cevych plastin pod dejstviem osesimmetrichnyh poperechnykh nagruzok [Evaluation of Elastoplastic Deflections of Round and Annular Plates under the Action of Axisymmetric Transverse Loads]. Vestnik nauki i obrazovanija Severo-Zapada Rossii [Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia]. 2019. V 5. № 3. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2019/10/2019-N3-Kravchuk.pdf> – 10.10.19 (in Russian).

New Approaches to the Calculation of Round and Annular Plate Bending, as Well as Estimation of Their Lowest Natural Frequencies

A.S. Kravchuk^{*1}, S.A. Tomilin^{**2}, A.I. Kravchuk^{***3}, S.F. Godunov^{**4}, A.F. Smaliuk^{***5}

^{*}*Polytechnic Research Institute, a branch of the Belarusian National Technical University, Independence Avenue, 65, Minsk, Republic of Belarus 220013*

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

^{***}*Belarusian State University, Independence Avenue, 4, Minsk, Republic of Belarus 220030*

¹ORCID iD: 0000-0002-4730-7769

Wos Researcher ID: AAB-7774-2019

e-mail: ask_belarus@inbox.ru

²ORCID iD: 0000-0001-8661-8386

Wos Researcher ID: G-3465-2017

e-mail: SATomilin@mephi.ru

³ORCID iD: 0000-0002-6105-4200

Wos Researcher ID: AAB-7880-2019

e-mail: anzhelika.kravchuk@gmail.com

⁴e-mail: SFGodunov@mephi.ru

⁵ORCID iD: 0000-0001-6872-023X

Wos Researcher ID: AAH-1030-2020

e-mail: asmaliuk@gmail.com

Abstract – The transverse movements of the plates of constant thickness are assumed to be small. In this case the plates are bent by moments applied at the edge with constant intensity. For the first time, a theory of the pure bending of round and annular plates by moments of constant intensity applied to their circular boundaries. Pure bending is understood as a stress-strain state in which

shears in the plates are completely absent. Within the framework of the accepted hypotheses, the normal radial deformations of the plates are determined. Based on the continuity equation in the axisymmetric case, it was established that the normal radial and circumferential strains coincide. Using Hooke's law, the normal stresses acting in the plates are determined. Based on the equilibrium equations, the moments necessary for bending the plates to a given curvature are calculated. A differential equation is obtained for determining small lateral displacements of plates under the action of moments of constant intensity applied to the edge of the plate. The solution of this equation is obtained in elementary form for the case of articulating plates around the perimeter. To proceed for solving the problems of plate bending by a transverse normal load, a method for determining equivalent moments from the acting axisymmetric load, both for round and ring plates is proposed. To satisfy the equilibrium conditions for the plates under consideration of the action of a transverse load, it is assumed that the magnitude of the vertical reaction on the supports along the perimeter is uniformly distributed and equal to the integral value of the normal load divided by the length of the perimeter. As an example, the problems of bending plates under their own weight with articulated support are solved. Within the framework of the proposed theory, solutions to the problems of bending round and annular plates located on the Winkler base are demonstrated. For the first time, a technique has been proposed for determining the lowest natural frequency of both round and annular plates in the framework of the proposed theory of pure bending. A technique is also proposed for taking into account the influence of the Winkler base under the plates on the lower natural frequency.

Keywords: pure bend, round plate, ring plate, calculation of equivalent moment, Winkler base, lowest natural frequency.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039.53: 620.179.118 (075)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДА ВТОРОГО КОНТУРА МАШИННОГО ЗАЛА МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ КОНТАКТНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ

© 2021 А.К. Адаменков*, М.И. Малахов**, В.Д. Ожерельев*, В.И. Сурин***

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

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

***Национальный исследовательский ядерный университет НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия

Проведены испытания электрофизической системы неразрушающего контроля на действующем технологическом оборудовании АЭС. Объектом контроля выбраны сварные соединения технологического трубопровода, находящиеся в машинном зале (МЗ-1) ТО-1. Результаты проведенного исследования подтверждается, что основной металл сварных соединений находится в пластически деформированном состоянии. Приводится сравнение результатов контроля сварных соединений методами сканирующей контактной потенциометрии и магнитной анизотропии.

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

Поступила в редакцию 10.11.2020

После доработки 21.12.2020

Принята к печати 28.12.2020

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

Выделение энергии упругой деформации происходит при различных дислокационных процессах, а также в результате разрыва сплошности среды. Нестационарный процесс перестройки поля упругих напряжений происходит с конечной скоростью, близкой к скорости распространения продольной волны. Длительность процесса излучения волн механических напряжений (отдельного акустического импульса) измеряется единицами микросекунд, а амплитуда механических смещений может достигать значений порядка нескольких миллиметров [1].

Рост дефекта, особенно в условиях, когда его размеры приближаются к критическому значению, сопровождается усилением интенсивности волн механических напряжений, что значительно увеличивает вероятность обнаружения дефекта электрофизическим датчиком.

Например, при исследовании деформационно-упрочненной вольфрам-рениевой проволоки методом контактной потенциометрии в процессе статического растяжения в момент ее разрыва был слышен достаточно громкий звук низкой частоты. Амплитуда сигнала, зарегистрированная электрофизическим датчиком в момент разрыва проволоки, достигала значения десятых единиц вольта [2].

Основными преимуществами методов контактной потенциометрии являются:

– возможность обнаружения как развивающихся, так и квазиустойчивых во времени (не растущих) дефектов. Регистрация квазиустойчивых дефектов позволяет классифицировать их по размерам (или по другим косвенным признакам – форме, положению, ориентации). Регистрация развивающихся дефектов дает возможность их оценки по степени опасности (влияние на эксплуатационную надежность конструкции);

– высокая степень адаптации к условиям эксплуатации, что отвечает требованиям функциональной диагностики. Линейные размеры преобразователей могут быть достаточно малыми, менее одного миллиметра в диаметре, поэтому требуется незначительный физический объем для их размещения. Средства контактной потенциометрии используются в экстремальных условиях эксплуатации, в том числе в активной зоне ядерного реактора [3, стр. 80-85; 4];

– высокая производительность, равная, а иногда превосходящая производительность других методов неразрушающего контроля;

– высокое соотношение «эффективность-стоимость». При имеющихся технических возможностях стоимость измерительных средств контактной потенциометрии, примерно, в два-три раза ниже, чем для методов УЗК и акустической эмиссии. Датчики контактной потенциометрии независимы от источников проводного электропитания.

Цель работы: испытания электрофизической системы неразрушающего контроля на действующем технологическом оборудовании АЭС и получение первых экспериментальных результатов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДА ВТОРОГО КОНТУРА

Подготовка сварных соединений для измерений

Исследование сварных соединений методом СКП проводилось в турбинном отделении (ТО-1) первого энергоблока (ЭБ-1) Ростовской атомной станции (РоАЭС).

Объектом диагностирования были выбраны сварные соединения (СС) технологического трубопровода, находящиеся в машинном зале (МЗ-1) ТО-1. Персоналом отдела дефектоскопии металла и технологического контроля были предоставлены сварные соединения, одно из которых было выполнено заводом-изготовителем трубопровода (СС_1; находящееся на конденсаторопроводе отборов из цилиндра низкого давления), второе было выполнено специалистом по сварке (СС_2; находящееся на трубопроводе подачи дренажа из подогревателя низкого давления (ПНД-3) в тракт основного конденсата).

Перед проведением измерений сварные соединения были открыты от теплоизоляции, сварные швы были очищены от лакокрасочных материалов и корродирующей составляющей до металлического блеска (рис. 1). Два выбранных для опытно-экспериментального исследования сварных соединения были подготовлены для сканирующей контактной потенциометрии. С двух сторон, для СС_1 и с одной для СС_2, по окружности трубы были закреплены бумажные полосы (разметка) шириной 2 см с нанесенными делениями и ценой деления 2 мм. Шаг измерений для СС_1 составляла 2 мм, для СС_2 – 5 мм. Ширина СС_1 составляли 1,5 см, СС_2 – 1 см. По длине окружности ширина шва могла отличаться от указанных значений на 2-5 мм. Диаметры трубопроводов: конденсаторопровод отборов из ЦНД $Dy=500-600$ мм, трубопровод подачи дренажа из ПНД-3 в тракт основного конденсата $Dy=300$ мм.



Рисунок 1 – Поверхность сварного соединения СС_1 перед проведением электрофизических измерений
[The surface of the welded joint CC_1 before carrying out electrophysical measurements]

Методика измерений контактной разности потенциалов

Измерения контактной разности потенциалов были выполнены ручным поточечным сканированием с помощью программно-аппаратного комплекса мобильной диагностической системы, размещенной на ноутбуке Asus X554L [5]. Для обработки результатов контроля использовался программируемый амплитудный дискриминатор (ПАД) измерительных сигналов с регулируемой шкалой амплитудной дискриминации в диапазоне 40 дБ [6]. Назначение дискриминатора заключается в отсечке тех значений амплитуды сигнала, которые выше выбранного заданного уровня, что позволяет исследовать распределение электрического потенциала на разных масштабных уровнях. Узкополосный фильтр позволяет настраивать ПАД по амплитуде, начиная с уровня десятых микровольт, с шагом 0,1 мкВ, широкополосный – от единиц и до десятков милливольт. Измерительная система управляется OS Windows, частота дискретизации измерений составляет 1 Гц. Ручное сканирование выполнено по восьми дорожкам для СС_1 и по пяти дорожкам для СС_2 преобразователем из стали Х18Н10Т [7]. Для сварного соединения СС_2 для одной из измерительных дорожек был дополнительно использован преобразователь, изготовленный из золота. Время начала измерений и время конца измерений для каждого СС, вдоль каждой дорожки, приводится в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Время начала и конца измерений для каждой из восьми измерительных дорожек сварного соединения СС_1 [Start and end times of measurements for each of the eight measuring tracks of the welded joint CC_1]

Номер дорожки	Время измерений, с
1	1830-1934
2	2000-2566
3	2620-3220
4	3300-3900
5	3950-4660
6	4800-5400
7	5500-6110
8	6150-6755

Таблица 2 – Время начала и конца измерений для каждой из пяти измерительных дорожек сварного соединения СС_2 [Start and end times of measurements for each of the five measuring tracks of the welded joint CC_2]

Номер дорожки	Время измерений, с
1	650-1190
2	1270-1710
3	1800-2242
4	2300-2742
5	2820-3264
6	3430-3872

Пункт 6 в таблице 2 – преобразователь из золота (измерения выполнены по гребню валика усиления СС_2).

Температура воздуха в МЗ-1 соответствовала 11-12°C.

Профилометрия поверхности

Распределение волнистости и шероховатости на рабочей поверхности образца определяли с помощью универсального цифрового измерителя шероховатости поверхности фирмы *VOGEL*. Среднеарифметическое отклонение профиля поверхности R_a измеряли в 15 случайно выбранных точках на базе 0,25 мм (ГОСТ 2789-73) для СС_1, и в 9 выбранных точках для сварного соединения СС_2. Результаты измерения шероховатости приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Шероховатость СС_1, мкм [Roughness СС_1, μm]

1	1,42
2	2,17
3	0,91
4	2,09
5	0,47
6	0,55
7	0,69
8	0,18
9	0,15
10	0,13
11	0,18
12	0,20
13	0,21
14	0,17
15	0,24

Таблица 4 – Шероховатость СС_2, мкм [Roughness СС_1, μm]

1	2,31
2	0,08
3	0,45
4	0,11
5	0,15
6	0,22
7	0,12
8	0,10
9	0,13

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Сварное соединение СС_1

Распределение структурных неоднородностей (или микроскопических объемов напряженно-деформированного состояния) в объеме сварного соединения СС_1 показаны на рисунках 3-8 на различных уровнях фиксации SLS , формула (1):

$$SLS = |lg|\Delta\phi||, \quad (1)$$

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

Число уровней фиксации зависит от чувствительности измерительного прибора. Если за низший (минимальный) уровень фиксации взять значение «1,000», а за верхний (максимальный) уровень – «7,000», то получится порядка 6-ти тысяч различных значений SLS . На практике используется только несколько уровней фиксации, обычно в пределах десяти.

С увеличением значения уровня фиксации на потенциограммах проявляются неоднородности, расположенные на разной глубине залегания.

Рефлекс – изображение структурной неоднородности на потенциограмме. По форме рефлекса можно судить о распределении напряжений или деформаций вокруг неоднородности, которые окрашиваются в различные цвета или тона. Каждому цвету или тону соответствуют различные значения нормального контактного напряжения, действующего на площадке контакта преобразователя и объекта контроля.

На рисунке 2 приведены примеры некоторых рефлексов, относящихся к различным условиям испытаний и различным структурным неоднородностям. Наличие указанных структурных неоднородностей в приведенных объектах контроля подтверждены и зафиксированы методами УЗК, радиографии, нейтронографии и корреляции изображений. Ранее нами были установлены некоторые закономерности, касающиеся формы и распределения рефлексов на потенциограммах.

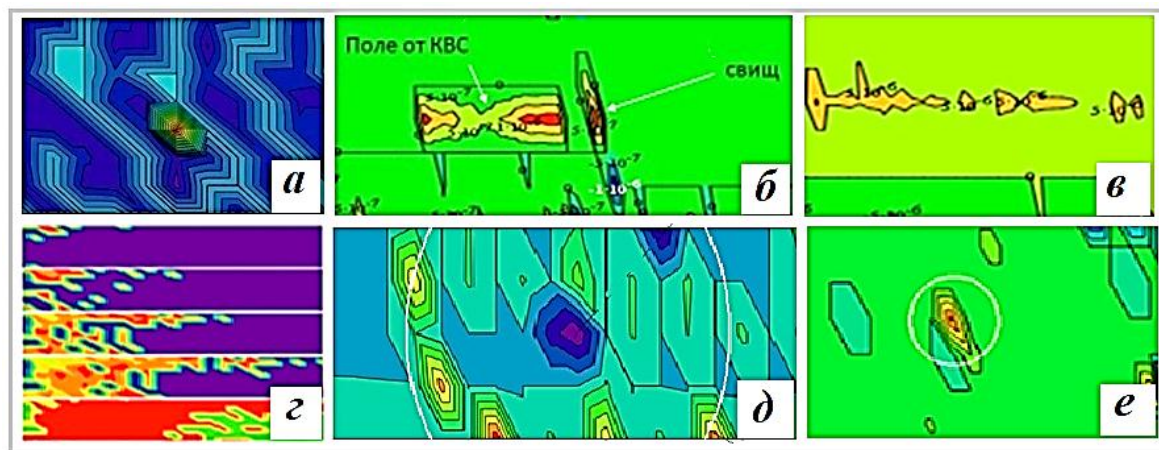


Рисунок 2 – Примеры рефлексов, относящихся к различным структурным неоднородностям в образцах из стали и в сварных соединениях стальных пластин: а – рефлекс области формирования зародыша микроскопической трещины при растяжении стали ЭИ 847 (SLS= 4,699); б – поле упругих напряжений вокруг вольфрамового осколка и рядом расположенный с ним свищ в сварном соединении (SLS= 5,699); в – непровар корня в сварном соединении двух стальных пластин (SLS= 4,301); г – процесс образования мартенсита при растяжении стали 12X18H10T (SLS~5), показанный на пяти отдельных потенциограммах; д – небольшой кусок молибдена (в центре рисунка), помещенный на дно конической воронки в стальном бруске и заваренный там. Видны также рефлексы от линии основания конуса (SLS= 2,155); е – молибденовый цилиндр, помещенный по посадке с зазором в отверстие стальной пластины и заваренный там (SLS= 5,238) [Examples of reflections related to various structural inhomogeneities in steel specimens and in welded joints of steel plates: a – reflex of the area of formation of a microscopic crack nucleus during tension of EI 847 steel (SLS = 4.699); b – the field of elastic stresses around the tungsten fragment and a hole located next to it in the welded joint (SLS = 5.699); c – lack of root penetration in the welded joint of two steel plates (SLS = 4.301); d – the process of formation of martensite during tension of steel 12X18H10T (SLS ~ 5), shown in five separate potentiograms; e – a small piece of molybdenum (in the center of the figure), placed at the bottom of a conical funnel in a steel bar and welded there. Reflexes from the line of the base of the cone are also visible (SLS = 2.155); e – a molybdenum cylinder placed along a gap fit into a hole in a steel plate and welded there (SLS = 5.238)]

Классификация рефлексов по форме

Открытые и замкнутые фигуры, ограниченные тонкими линиями – обозначают области объемных структурных неоднородностей, имеющих вид фигур правильной или неправильной формы. Замкнутые фигуры, как правило, ограничены изопотенциальными линиями.

Концентрические шестиугольные рефлексы – микро-области, с поперечными размерами порядка 1 мм или менее, характеризующие наличие внутренних остаточных напряжений в объекте контроля. Наблюдаются на одном, либо нескольких следующих друг за другом уровнях фиксации.

Концентрические фигуры неправильной формы – наблюдаются на одном или следующих друг за другом уровнях фиксации, характеризуют образованные в объеме образца одиночные или групповые области структурных неоднородностей, излучающие волны упругих напряжений определенной амплитуды и длины волны.

Полосовая структура – обычно наблюдается при растяжении или сжатии металла. Видимый на потенциограмме наклон цветовой полосы относительно горизонтальной или вертикальной оси характеризует соотношение между величинами нормальных и касательных напряжений.

Ячеистая структура – ограниченные области, находящиеся в объеме образца, рефлексы от которых, по форме напоминают соты.

Нами установлен интервал значений уровней фиксации для выявления упругой, микропластической и пластической деформации в металлах, соответствующий $SLS=2,523-3,523$. Значения уровня фиксации, на котором были зафиксированы зародыши микроскопических трещин в сталях, лежат в интервале $SLS=4-5$ [8-10]. При работе в зонах и на участках контроля, где вероятно образование микроскопических трещин особое внимание следует обращать на рефлексы, соответствующие уровню фиксации $SLS=4,854$.

Для каждого уровня фиксации на представленных рисунках показаны три потенциограммы, соответствующие трем отдельным участкам СС (для дуги трубопровода длиной, примерно равной $2\pi/3$): 0-200; 200-400 и 400-600 отсчетов. Анализ результатов начинается с прохождения всех уровней фиксации: от самого низкого значения $SLS=1$ и до наиболее высокого значения $SLS=6$ с выбранным шагом фиксации, что позволяет определить наличие структурных неоднородностей и их объемное распределение. По результатам выполненного анализа выносятся оценка качества сварного соединения, а также соответствие состояния металла установленным требованиям и нормам.

На рисунке 3 показано распределение структурных неоднородностей по длине сварного соединения, которое приближенно можно считать равномерным. В соответствии с приведенной классификацией, на потенциограммах присутствуют концентрические рефлексы правильной шестиугольной формы, а также концентрические рефлексы неправильной формы.

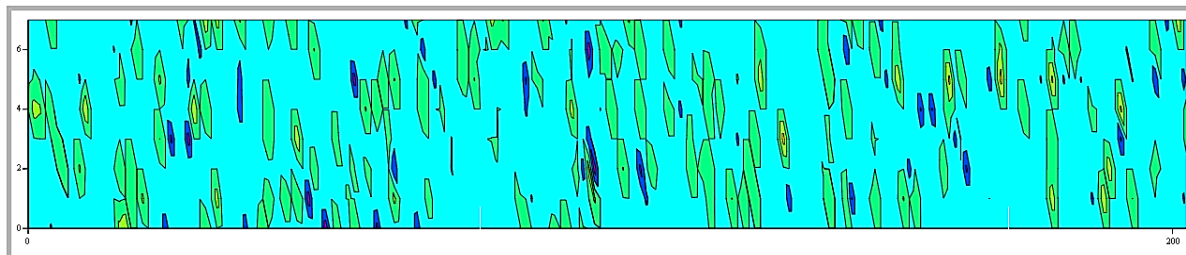
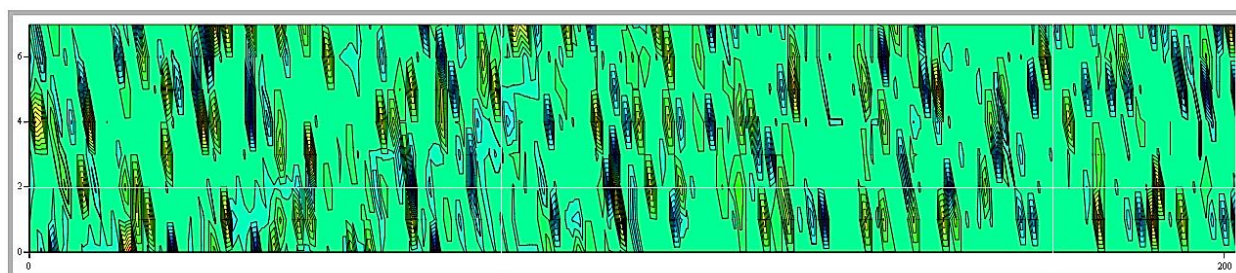


Рисунок 3 – Фрагмент потенциограммы для СС_1, $SLS=1$. Координатная ось x – число отсчетов; ось y – номера измерительных дорожек [Fragment of the potentiogram for СС_1, $SLS = 1$. The x -axis is the number of samples; y -axis – numbers of measuring tracks]

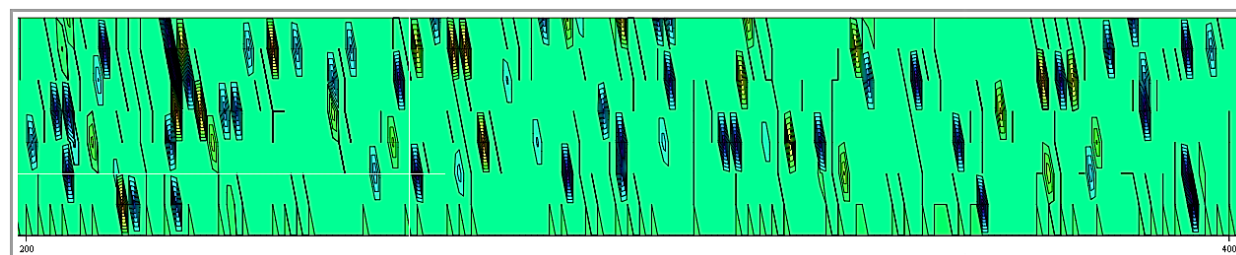
С увеличением уровня фиксации происходит разделение (и перераспределение) неоднородностей по условным горизонтальным направлениям, параллельным продольной оси СС. В частности, по оси y можно увидеть формирование нескольких таких направлений. Рефлексы, появляющиеся на уровне $SLS=2$ соответствуют высоким значениям разности контактных потенциалов. На рисунке 5 в увеличенном масштабе для $SLS=2$ (максимальное число отсчетов равно 50-ти) можно увидеть рефлексы (шестиугольные фигуры) с высоким градиентом разности электрического потенциала. Такой рефлекс свидетельствует о наличии локального объема с относительно высокими внутренними напряжениями.

На рисунке 4 б (для $SLS=3$) на потенциограммах присутствует большое количество тонких прямых и ломаных линий в поперечном направлении, относительно продольной оси шва, которые формируют фигуры неправильной формы. С увеличением уровня фиксации (до $SLS=4$) происходит «фаскрытие» или «уширение» тонких линий, которые принимают вид отдельных пятен и полос (рис. 4 в и 6 а). Вследствие большого количества таких пятен в горизонтальном направлении происходит их объединение и слияние в широкую полосовую структуру.

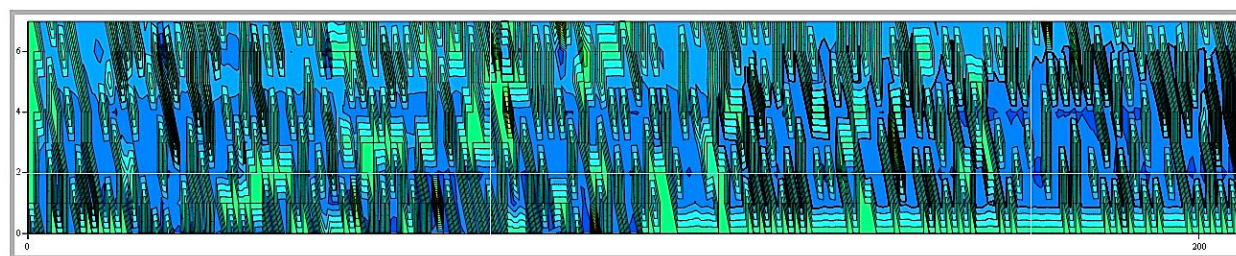
Таким образом, постепенно начинает формироваться наиболее протяженный рефлекс структурной неоднородности сварного соединения, который проходит вдоль его оси, по середине потенциограммы, от начала и до ее конца. Формируются и другие рефлексы, соответствующие другим неоднородностям. Эти неоднородности излучают упругие волны в относительно узком диапазоне амплитуд, поскольку уже на следующем уровне фиксации, при $SLS=5$ и $SLS=6$, на потенциограммах присутствуют только отдельные, одиночные неоднородности (рис. 4 г и 4 д).



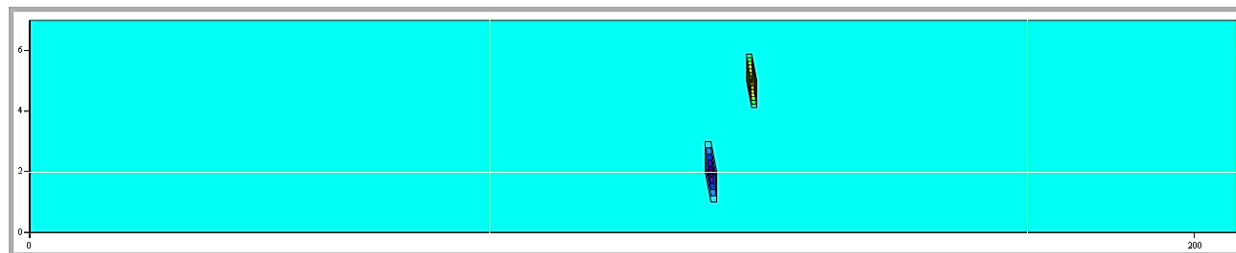
а)



б)

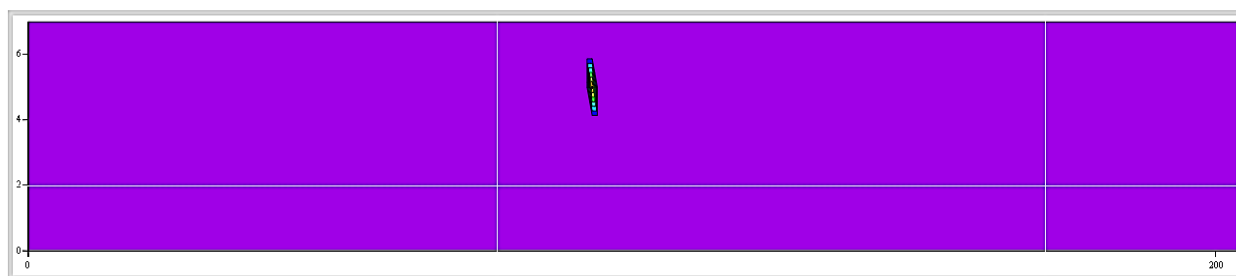


в)



г)

Рисунок 4 – Фрагменты потенциограмм для CC_1: а) $SLS=2$; б) $SLS=3$; в) $SLS=4$; г) $SLS=5$
 [Fragments of potentiograms for CC_1: a) $SLS = 2$; b) $SLS = 3$; c) $SLS = 4$; d) $SLS = 5$]



д)

Рисунок 4 (продолжение) – Фрагменты потенциограмм для CC_1: д) $SLS=6$
[Fragments of potentiograms for CC_1: e) $SLS = 6$]

На рисунке 5 показана трансформация рефлексов прямолинейных и ломаных линий при переходе с одного уровня SLS на другой.

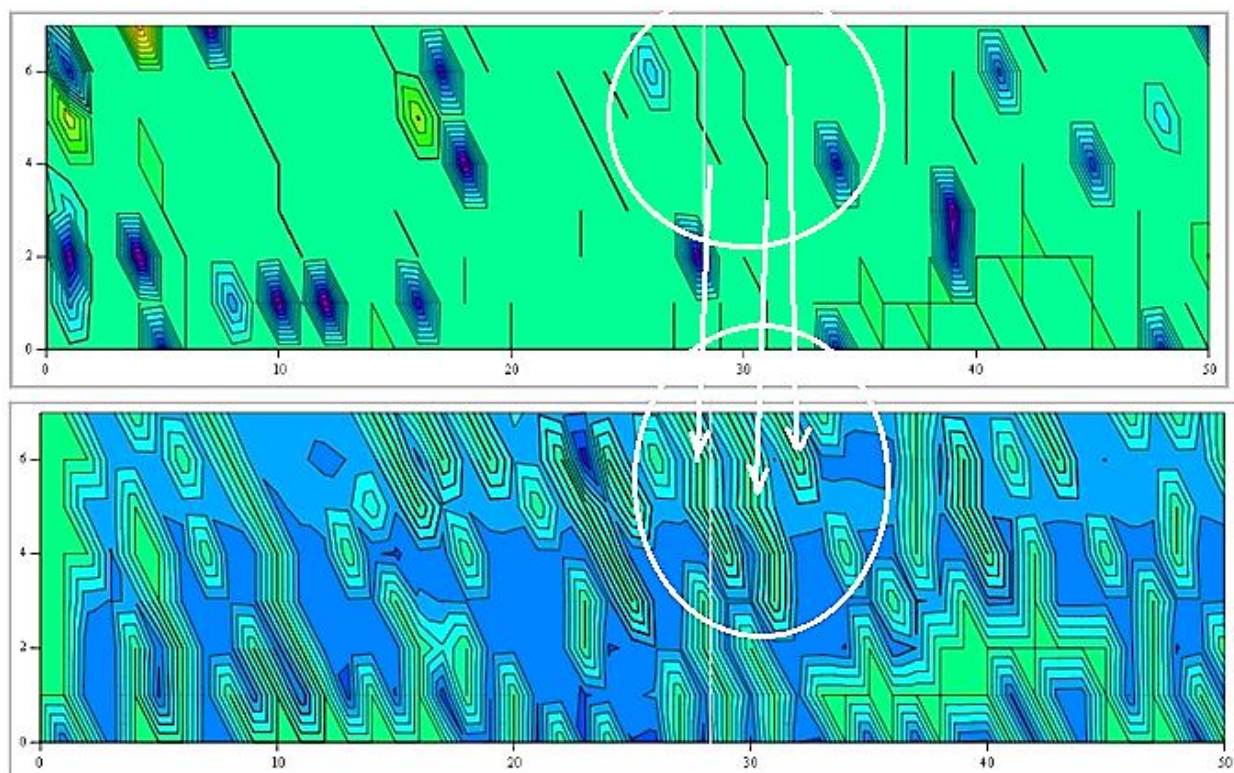


Рисунок 5 – Трансформация линейного рефлекса при увеличении чувствительности с уровня $SLS=3$ (верхний) до уровня $SLS=4$ (нижний) [Transformation of the linear reflex with increasing sensitivity from the level $SLS = 3$ (upper) to the level $SLS = 4$ (lower)]

Сварное соединение CC_2

На рисунке 6 показано распределение структурных неоднородностей по длине сварного соединения CC_2. Сравнивая потенциограммы CC_1 и CC_2 для $SLS=2$ в одном масштабе, можно увидеть различия, обусловленные разными материалами сварных соединений. Например, концентрические шестиугольные рефлексы для CC_2 в поперечном направлении более вытянуты, что свидетельствует о больших действующих касательных напряжениях (см. рис. 4 а и 6 б) Аналогичный вывод можно сделать из сравнения потенциограмм на уровне $SLS=3$ (см. рис. 4 б и 6 в).

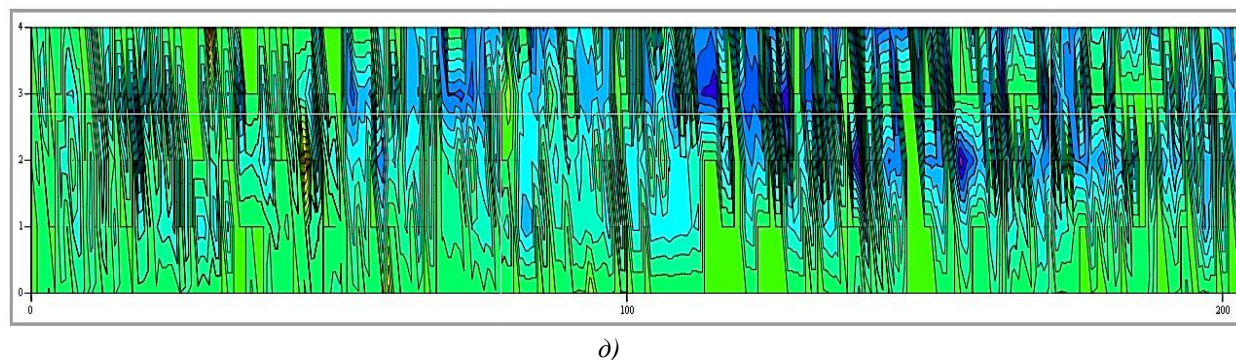
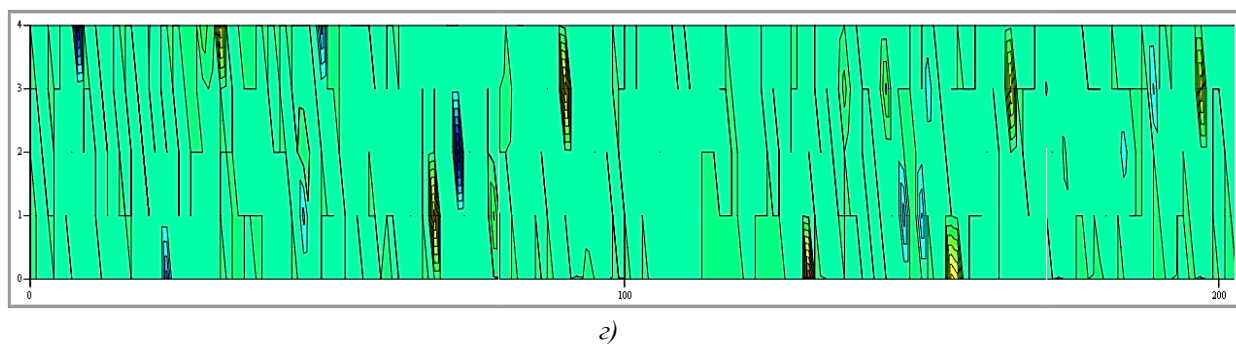
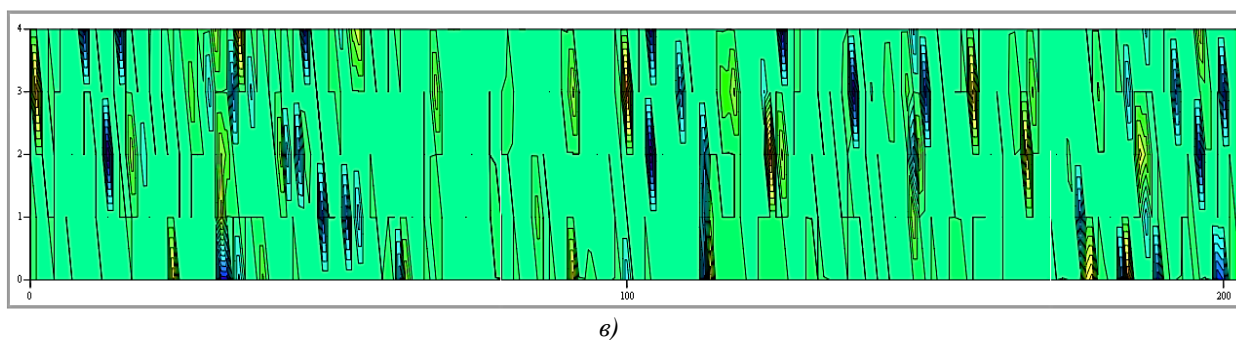
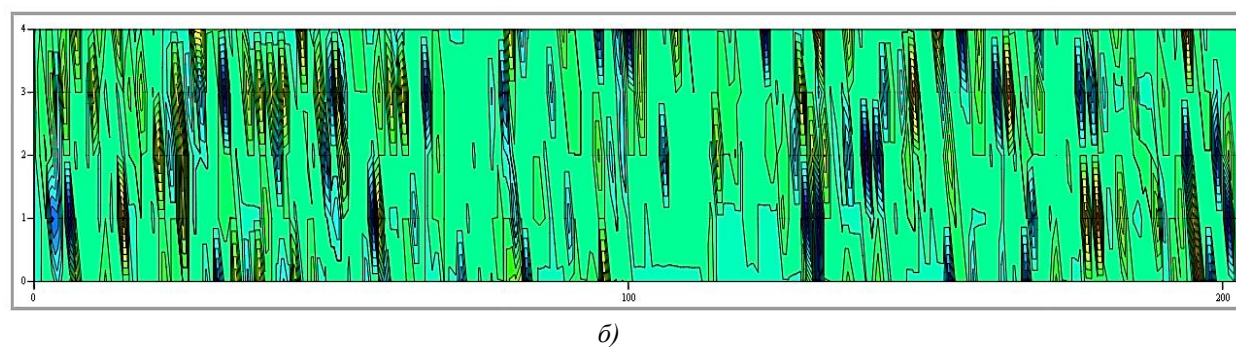
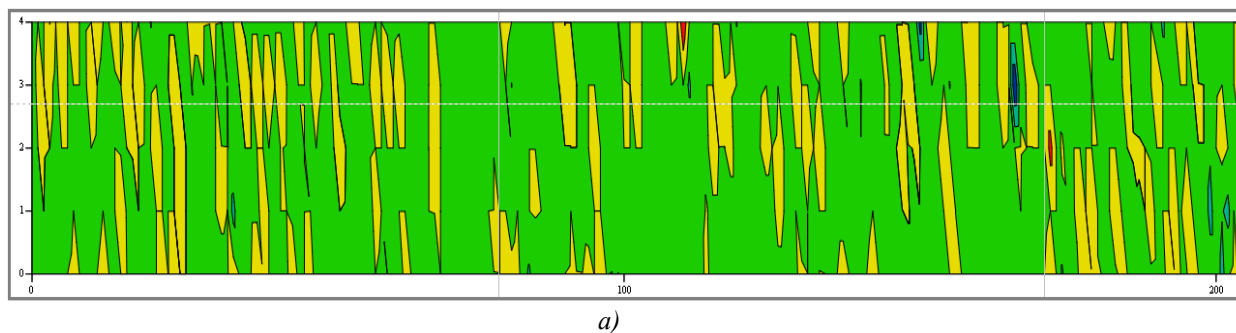


Рисунок 6 – Фрагменты потенциограмм для CC_2: а) SLS=1; б) SLS=2; в) SLS=3; г) SLS=4; д) SLS=5
 [Fragments potentiograms for CC_2: а) SLS = 1; б) SLS = 2; в) SLS = 3; г) SLS = 4; е) SLS = 5]

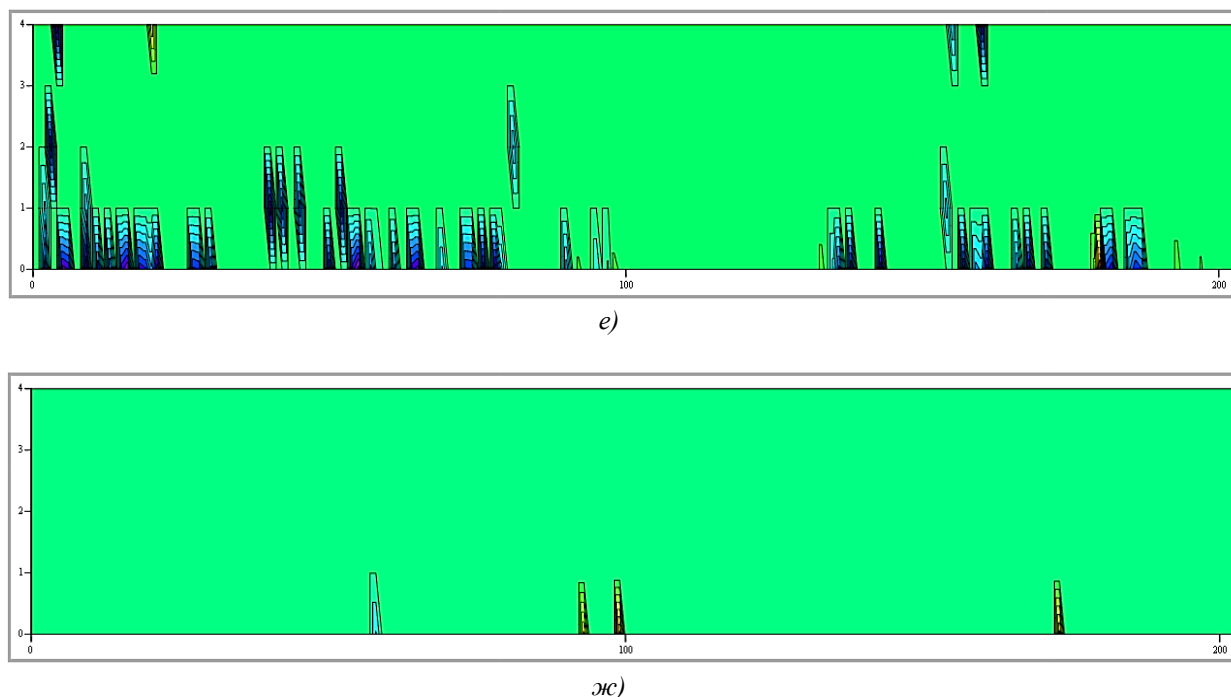


Рисунок 6 (продолжение) – Фрагменты потенциограмм для CC_2: е) $SLS=6$; ж) $SLS=7$
 [Fragments potentiograms for CC_2: ф) $SLS = 6$; г) $SLS = 7$]

Особенно заметны различия при сравнении материалов сварных соединений, представленные на рисунках 4 з и 6 д для уровня $SLS=5$. Если на потенциограммах для CC_1 на данном уровне фиксации видны лишь отдельные одиночные концентрические шестиугольные рефлекссы, то в другом случае, для CC_2, мы видим подробную картину структурных неоднородностей на глубине залегания, примерно соответствующей внутренней поверхности сварного соединения, и, вероятно, связанную с протекающим процессом коррозии металла или дефектом, образованном при сварке. Информацию о подобных структурных повреждениях CC_1 можно также получить из рисунка 4 в на $SLS=4$ или других более высоких уровнях фиксации.

Результатами проведенного исследования подтверждается, что основной металл обоих сварных соединений находится в пластически деформированном состоянии. Данное состояние возникает при сварке в результате интенсивного местного разогрева сварного соединения. В этом случае возможность свободного удлинения его исключается из-за жесткого закрепления свариваемых труб с противоположных концов. Поэтому в сварном соединении возникают сжимающие внутренние напряжения, по величине равные или превышающие предел текучести. В результате чего в нагретой зоне происходит пластическая деформация металла.

Данный известный факт подтверждается нашими результатами, которые показаны на рисунке 7. На нем представлены потенциограммы для двух сварных соединений CC_1 и CC_2, а также потенциограмма для образца из стали ЭИ-847, находящегося в условиях растяжения на разрывной машине. Все результаты приведены для выбранного значения уровня фиксации $SLS=3,523$. Потенциограмма для образца из стали ЭИ-847 была построена в процессе пластического течения материала, когда необратимая деформация образца составляла 5 %.

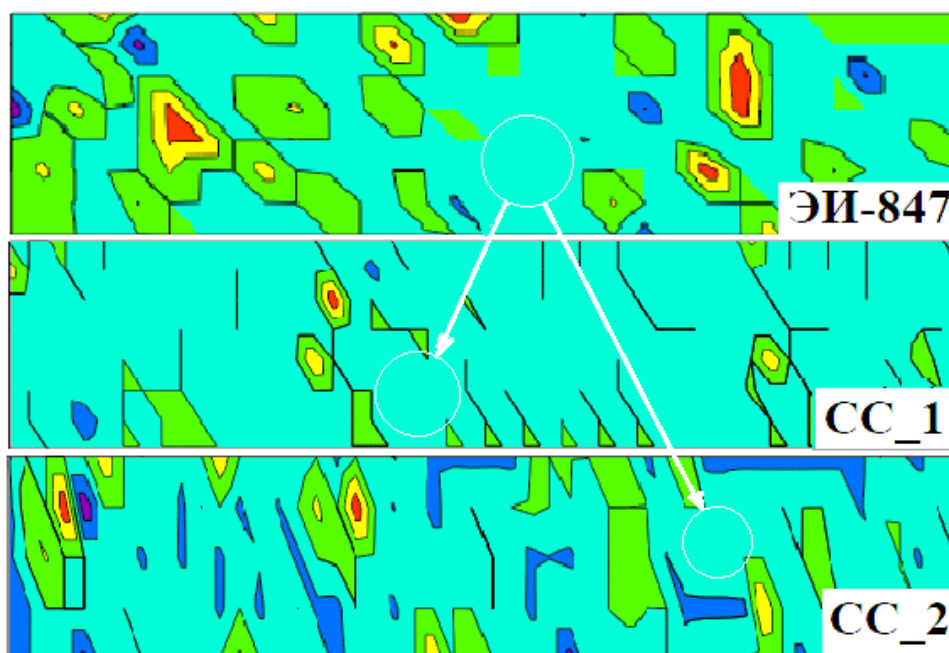


Рисунок 7 – Сравнение потенциграмм, построенных для CC_1 и CC_2, а также для образца из стали ЭИ-847, деформированного при растяжении (результаты приведены для значения уровня фиксации SLS=3,523) [Comparison of potentiograms constructed for CC_1 and CC_2 as well as for a specimen made of steel EI-847, deformed under tension (the results are given for the value of the fixation level SLS = 3.523)]

Кругами выделены произвольно выбранные области пластически деформированного металла. На этом фоне рефлекссы другого цвета представляют собой локальные участки упруго деформированного состояния (синего цвета), отдельные включения, а также зоны с более высокой, чем в выделенной области, степенью деформации (желтого и красного цвета).

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ СКП И МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ

После проведенного исследования сварные соединения технологического трубопровода были проконтролированы методом магнитной анизотропии (ММА) с помощью прибора *Stressvision Expert* [11, 12].

На рисунке 8 представлены результаты контроля ММА, а на рисунке 9 – результаты СКП, которые на следующих рисунках качественно сравниваются между собой по совпадению изображений структурных нарушений и по объему полученной информации.

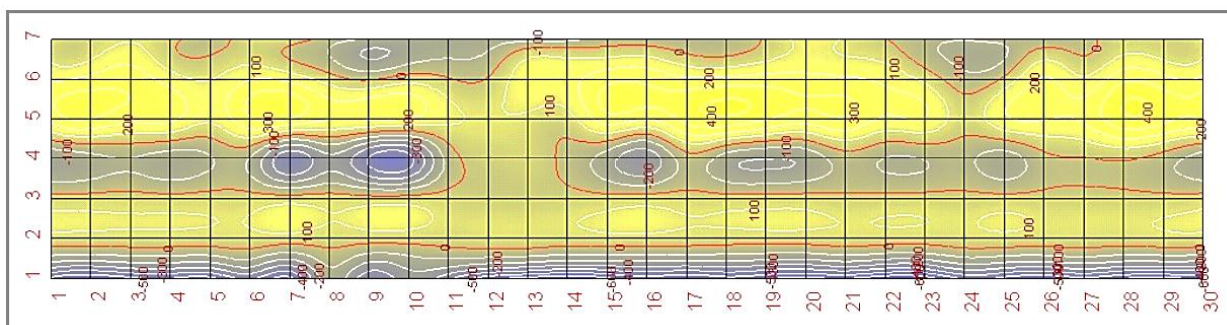


Рисунок 8 – Карта РГМН (разницы главных механических напряжений) сварного соединения CC_1 [Map of differences in main mechanical stresses of the welded joint SS_1]

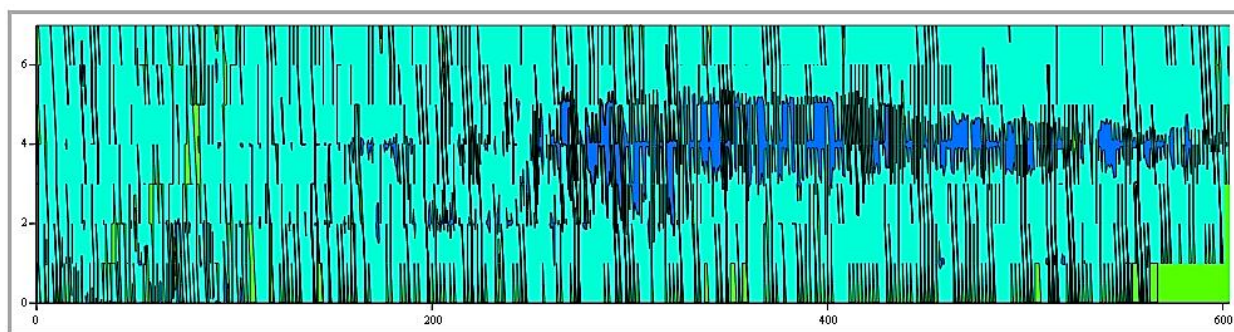


Рисунок 9 – Потенциграмма того же сварного соединения на уровне фиксации $SLS=3,959$ [Potentiogram of the same welded joint at the clamping level $SLS = 3.959$]

На рисунке 10 показаны результаты, полученные методами магнитной анизотропии МА (верхний рисунок) и методом СКП (нижний рисунок).

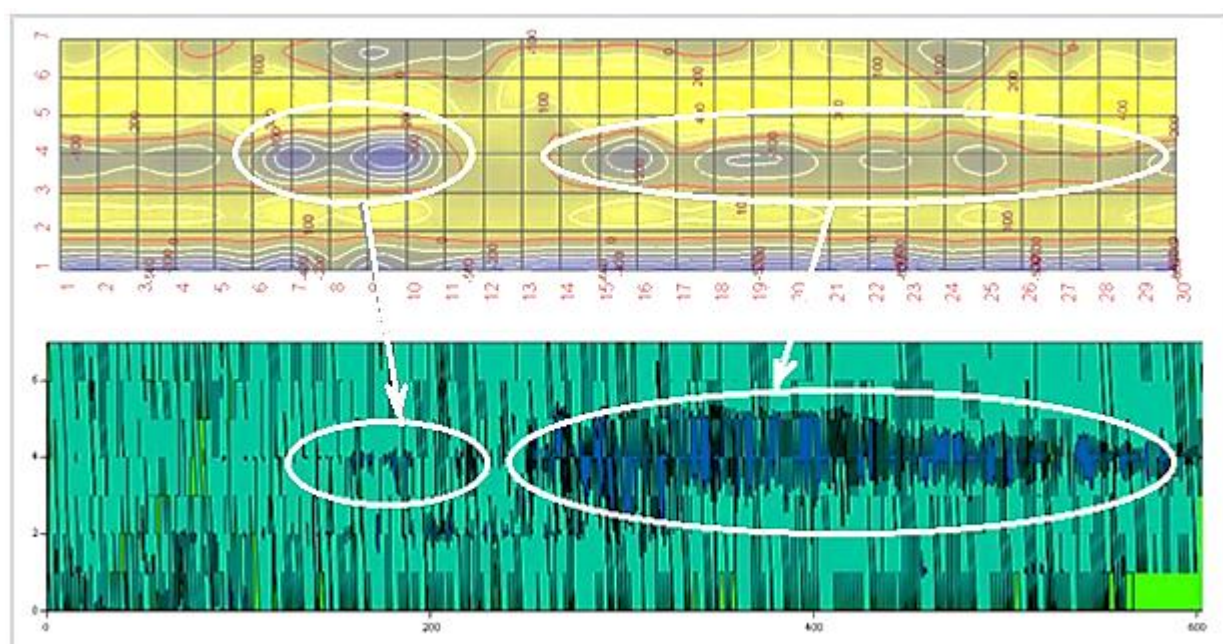


Рисунок 10 – Сравнение результатов, полученных методами МА (прибор Stressvision, верхний рисунок) и методом СКП (нижний рисунок), выделены структурные нарушения в области корня сварного соединения [Comparison of the results obtained by the methods of magnetic anisotropy (Stressvision device, upper figure) and the method of scanning contact potentiometry (lower figure), structural defects in the region of the root of the welded joint are highlighted]

На представленных рисунках видно заметное сходство локализации неоднородностей. Данные МА, позволили определить тот амплитудный интервал сигналов для метода СКП и соответствующий уровень фиксации, на котором обнаружены структурные нарушения методом МА. Наблюдаемое соответствие позволяет установить важные корреляции, связанные с влиянием напряженно-деформированного состояния микрообъемов сварного соединения на его электрические и магнитные свойства.

И в том и другом случае видны структурные неоднородности в области корня сварного соединения, выделенные на рисунке 20 в белые овалы. Обращает внимание более интенсивный вид неоднородностей с правой стороны рисунка для СКП (правый овал) и менее интенсивный вид неоднородностей с левой стороны рисунка, по сравнению с результатами МА.

Рефлексы структурных неоднородностей на потенциграмме имеют максимальную протяженность 5-6 мм, минимальную – менее 1 мм. Сравнение

выявленных обоими методами неоднородностей в области разделки корня представлены на рисунке 11.

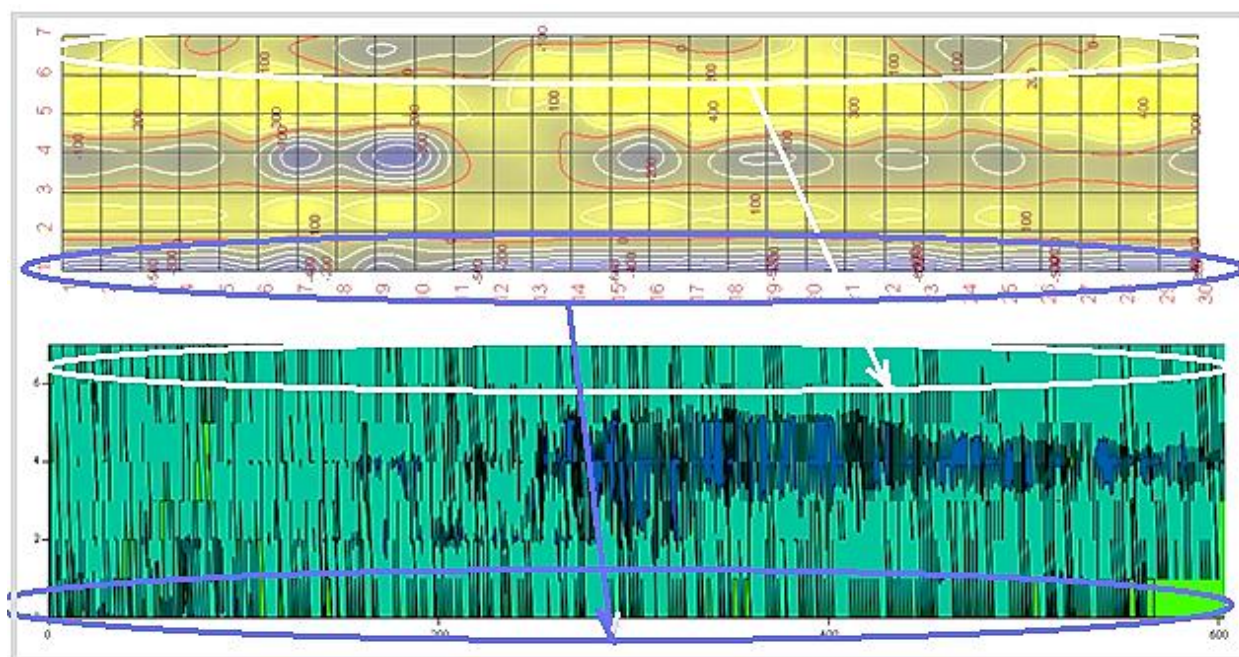


Рисунок 11 – Сравнение результатов, полученных методами МА (верхний рисунок) и методом СКП (нижний рисунок) для СС_1, выделены структурные нарушения в области разделки корня [Comparison of the results obtained by the methods of magnetic anisotropy (upper figure) and the method of scanning contact potentiometry (lower figure) for CC_1, structural defects in the root preparation area are highlighted]

Здесь также как и в предыдущем случае видны заметные сходства. Так для обоих методов, в верхней части рисунков, выделенных белыми овалами, неоднородностей значительно меньше, чем в нижней части рисунка, выделенных голубыми овалами. Для ММА этот вывод следует из цвета верхней кромки рисунка, окрашенной в бледно-серые тона, и цвета нижней кромки, окрашенной в светло-голубой тон. Для метода СКП этот вывод также очевиден, поскольку в верхней части потенциограммы число рефлексов заметно меньше, чем в нижней части рисунка. Помимо этого, рефлексy еще и различаются по своей форме. На уровне фиксации $SLS=3,959$ рефлексy имеют вид, представленный на рисунке 12 в увеличенном масштабе.

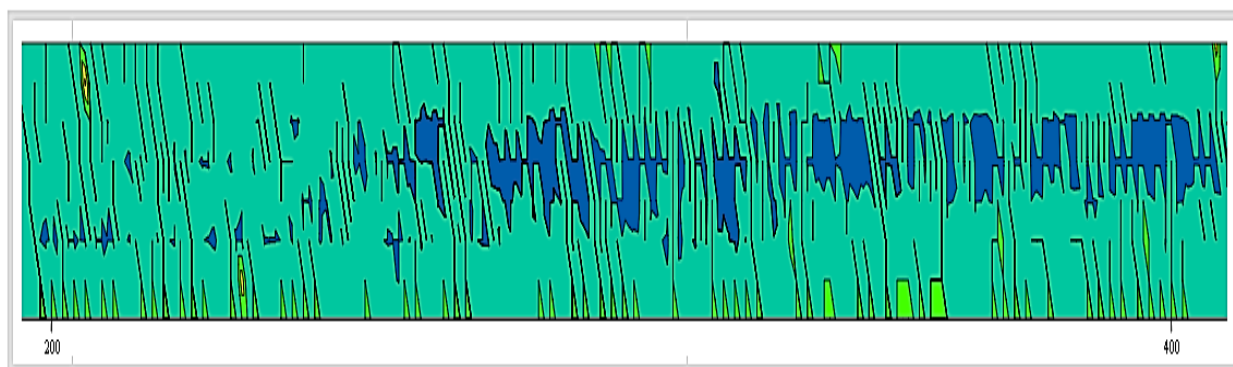


Рисунок 12 – Увеличенное изображение структурных неоднородностей на потенциограмме в области корня и в области разделки корня. Показан фрагмент потенциограммы в интервале отсчетов 200...400 [Enlarged image of structural irregularities in the potentiogram in the root area and in the root preparation area. A fragment of a potentiogram in the sampling interval 200 ... 400 is shown]

Хорошо видны микроскопические области напряженно-деформированного состояния в области корня сварного соединения. Причем, как следует из рисунков 10-12, указанные нарушения занимают правую часть потенциограммы, соответствующую нижней и левой части корня сварного соединения, как показано в сечении трубы на рисунке 13.



Рисунок 13 – Распределение неоднородностей в корне СС по результатам обоих методов НК в сечении перпендикулярном оси трубопровода [Distribution of inhomogeneities in the CC root according to the results of both methods in a section perpendicular to the pipeline axis]

С помощью метода двойной амплитудной дискриминации сигналов контроля выделено ядро протяженной структурной неоднородности в области корня сварного соединения (рис. 14).

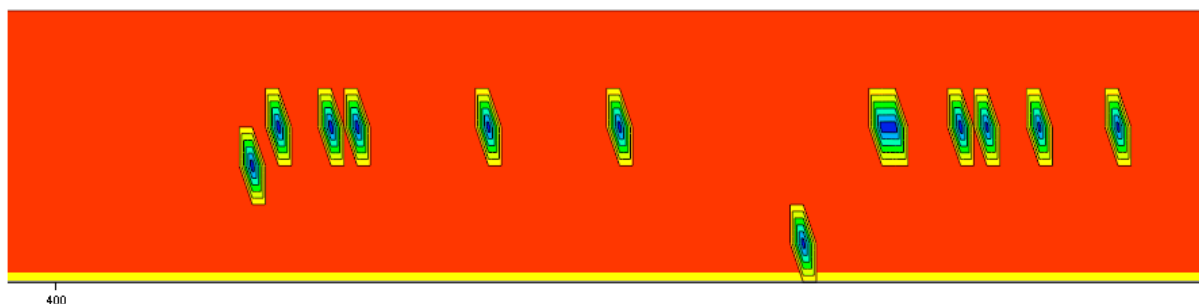


Рисунок 14 – Выделение локальных областей напряженно-деформированного состояния в области корня сварного соединения [Identification of local areas of the stress-strain state in the region of the root of the welded joint]

Видны отдельные локальные микро-области напряженно-деформированного состояния с четко выраженными внутренними напряжениями, направленными перпендикулярно оси сварного соединения.

Сравнение локализованных неоднородностей для второго сварного соединения СС_2 представлены на рисунке 15.

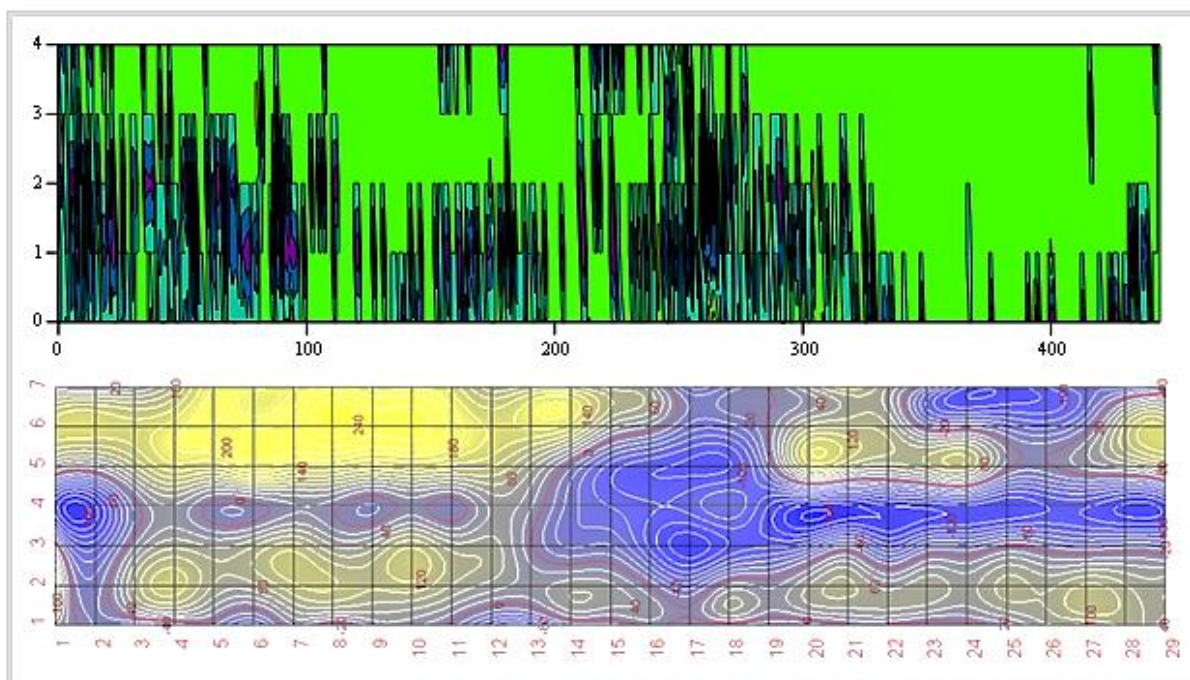


Рисунок 15 – Сравнение результатов, полученных методами магнитной анизотропии (нижний рисунок) и методом сканирующей контактной потенциометрии (верхний рисунок, SLS= 5,523) для CC_2
[Comparison of the results obtained by the methods of magnetic anisotropy (lower figure) and the method of scanning contact potentiometry (upper figure, SLS = 5.523) for CC_2]

В таблице 5 приводятся сравнительные характеристики прибора *Stressvision Expert*, взятые с официального сайта разработчика, и прибора *Spectroelph*, изготовленного в лаборатории *ElphysLAB* НИЯУ МИФИ.

Таблица 5 – Технические характеристики магнитоанізотропного сканера-дефектоскопа *Stressvision Expert V.2.013* и электрофизического сканера поверхности *Spectroelph-2M* [Technical characteristics of the Stressvision Expert V.2.013 magnetoanisotropic flaw detector and Spectroelph-2M electrophysical surface scanner]

Характеристики	Значения	
	<i>Stressvision Expert</i>	<i>Spectroelph-2M</i>
Минимальная площадь сканирования, мм	30x30	5x5
Число узлов сканирования, мин.-макс., шт	25-93278	не ограничено
Максимальное число зон сканирования, шт	3700	не ограничено
Рабочий температурный диапазон, °С	от -10 до +55	от -10 до +55
Извлечение информации производится послойно ниже уровня наклепа с глубин, мм	1-20	1-70
Зачистка поверхности объекта контроля	не требуется	требуется
Время измерений в одной точке, сек	1	1
Позиционирование датчика	плоские и криволинейные поверхности	плоские и криволинейные поверхности
Качественная оценка результатов измерений, мин	до 3	до 5
Опасное излучение	отсутствует	отсутствует
Контроль в АЗ	не возможен	возможен
Контролируемые материалы	магнитные металлы и сплавы	любые металлы, сплавы, фазы внедрения и т.п.

Заключение

1. Впервые сотрудниками НИЯУ МИФИ, ВИТИ НИЯУ МИФИ и сотрудниками отдела технической диагностики Ростовской атомной станции организованы, подготовлены и проведены испытания нового метода неразрушающего контроля – метода сканирующей контактной потенциометрии на действующем технологическом оборудовании АЭС.

2. Объектом исследования являлись сварные соединения технологического трубопровода, находящиеся в машинном зале (МЗ-1) ТО-1.

3. Результаты проведенного исследования показали высокую эффективность метода СКП как инструмента дополнительного контроля оборудования АЭС и необходимость дальнейших разработок и внедрения соответствующих измерительных методик, аппаратуры в целях их широкого практического применения.

4. Полученными данными подтверждается, что основной металл исследованных сварных соединений находится в пластически деформированном состоянии. По оси сварного соединения СС_1 на внутренней поверхности, на дуге длиной примерно в π -радиан, обнаружены протяженные структурные неоднородности.

5. Наблюдаемые соответствия результатов метода сканирующей контактной потенциометрии и магнитной анизотропии позволяют установить важные физические корреляции, связанные с влиянием напряженно-деформированного состояния микрообъемов сварного соединения на его электрические и магнитные свойства.

Благодарность

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грешников, В.А.* Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий / В.А. Грешников, Ю.В. Дробот. – Москва : Издательство стандартов, 1976. – 272 с.
2. *Сурин, В.И.* Электрофизические методы неразрушающего контроля и исследования реакторных материалов / В.И. Сурин, Н.А. Евстюхин. – Москва : МИФИ, 2008. – 166 с.
3. Об использовании метода электросопротивления и термо-эдс в реакторных условиях / В.И. Сурин [и др.] // Техника реакторного эксперимента : сборник научных трудов. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 119 с.
4. *Surin V.I., Evstyukhin N.A., Cheburkov V.I.* Conductivity of fission-damaged uranium nitride // J.Nucl. Mater., 1995. Vol. 218. P. 268-272.
5. Методы электрофизической диагностики и контроля реакторного оборудования / В. И. Сурин [и др.] // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 4(21). – С. 51-62.
6. *Сурин, В.И.* Применение метода сканирующей контактной потенциометрии для регистрации образования зародышевой трещины в сталях / В.И. Сурин, В.И. Польский, А.В. Осинцев, П.С. Джумаев // Дефектоскопия. – 2019. – № 1. – С. 53-60.
7. *Абу Газал, А.А.* Экспериментальное исследование процесса разрушения стали ЭИ847 методами структурного анализа / А.А. Абу Газал [и др.] // Письма о материалах. – 2019. – Вып. 1, № 9. – С. 33-38.
8. *Абу Газал, А.А.* Расчетно-экспериментальный метод моделирования остаточных напряжений в сварных соединениях / А.А. Абу Газал [и др.] // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2018. – № 2. – С. 48-55.
9. *Сурин, В.И.* Спектральный анализ диагностических сигналов на основе интегральных преобразований // Информационные технологии в проектировании и производстве / В.И. Сурин, Т.В. Губина, А.А. Абу Газал, А.Е. Вебер. – 2016. – № 2. – С. 37-44.
10. *Arefinkina, S.E., Denisov R.A., Morozov A.A., Surin V.I.* Relationship between deformational activity of the surface and electric properties of materials // Modern problems of theory machines / SEC «MS». – North Charleston, USA, 2016. №4. P. 177-183.
11. *Адаменков, А.К.* Обеспечение контроля термомеханической нагруженности узла приварки коллектора теплоносителя к патрубку Ду1200 парогенераторов ПГВ-1000 / А.К. Адаменков, И.Н. Веселова, И.В. Малахов // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – № 4(17). – С. 84-89.

12. Адаменков, А.К. Оценка развития эрозионно-коррозионного износа с помощью метода измерения магнитной анизотропии // А. К. Адаменков, И. Н. Веселова, В. Я. Шпицер // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 1(30). – С. 113-119.

REFERENCES

- [1] Greshnikov V.A., Drobot Yu.V. Akusticheskaya emissiya. Primeneniye dlya ispytaniy materialov i izdeliy [Acoustic Emissions. Application for Testing Materials and Products]. Moskva: Izdatel'stvo standartov [Moscow: Standards Publishing House]. 1976. 272 p. (in Russian).
- [2] Surin V.I., Yevstyukhin N.A. Elektrofizicheskiye metody nerazrushayushchego kontrolya i issledovaniya reaktornykh materialov [Electrophysical Methods of Non-Destructive Testing and Research of Reactor Materials]. Moskva: MIFI [Moscow: MPhI]. 2008. 166 p. (in Russian).
- [3] Surin V.I., Yevstyukhin N.A., Knyazev V.I., Tarasov S.N., Pisarenko K.L. Ob ispol'zovanii metoda elektrosoprotivleniya i termo-eds v reaktornykh usloviyakh [The Use of the Method of Electrical Resistance and Thermo-Emf in Reactor Conditions]. Tekhnika reaktornogo eksperimenta [Reactor Experiment Technique]. Moscow [Moskva]: Energoatomizdat. 1987. 119 p. (in Russian).
- [4] Surin V.I., Evstyukhin N.A., Cheburkov V.I. Conductivity of Fission-Damaged Uranium Nitride// J.Nucl. Mater., 1995. Vol. 218. P. 268-272 (in English).
- [5] Surin V.I., Volkova Z.S., Denisov R.A., Motovilin V.D., Reyn N.V. Metody elektrofizicheskoy diagnostiki i kontrolya reaktornogo oborudovaniya [Methods of Electrophysical Diagnostics and Control of Reactor Equipment]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. Moskva: NIYAU MIFI [Moscow: NRNU]. 2016. №4(21). P. 51-62 (in Russian).
- [6] Surin V.I., Pol'skiy V.I., Osintsev A.V., Dzhumayev P.S. Primeneniye metoda skaniruyushchey kontaktной potentsiometrii dlya registratsii obrazovaniya zarodyshevoy treshchiny v stalyakh [Application of Scanning Contact Potentiometry Method to Register the Formation of an Embryonic Crack in Steels]. Defektoskopiya [Defectoscopy]. №1. 2019. P. 53-60 (in Russian).
- [7] Abu Gazal A.A., Dzhumayev P.S., Osintsev A.V., Pol'skiy V.I., Surin V.I. Eksperimental'noye issledovaniye protsessa razrusheniya stali EI847 metodami strukturnogo analiza [Experimental Study of the Process of Destruction of Steel EI847 by Methods of Structural Analysis]. Pis'ma o materialakh [Letters on Materials] 2019. V.1. №9. P. 33-38 (in Russian).
- [8] Abu Gazal A.A., Surin V.I., Alvakheba A.I., Shef Ye.A., Bokuchava G.D., Papushkin I.V. Raschetno-eksperimental'nyy metod modelirovaniya ostatochnykh napryazheniy v svarnykh soyedineniyakh [Calculation-Experimental Method for Modeling Residual Stresses in Welded Joints]. Informatsionnyye tekhnologii v proyektirovanii i proizvodstve [Information Technologies in Design and Production]. Moskva: FGUP VIMI [Moscow: FGUP VIMI]. №2. 2018. P. 48-55 (in Russian).
- [9] Surin V.I., Gubina T.V., Abu Gazal A.A., Veber A.Ye. Spektral'nyy analiz diagnosticheskikh signalov na osnove integral'nykh preobrazovaniy [Spectral Analysis of Diagnostic Signals Based on Integral Transformations]. Informatsionnyye tekhnologii v proyektirovanii i proizvodstve [Information Technologies in Design and Production]. Moskva: FGUP VIMI [Moscow: FGUP VIMI]. 2016. №2. P. 37-44 (in Russian).
- [10] Arefinkina S.E., Denisov R.A., Morozov A.A., Surin V.I. Relationship between deformational activity of the surface and electric properties of materials // Modern Problems of Theory Machines / SEC «MS». North Charleston, USA, 2016. №4. P. 177-183 (in Russian).
- [11] Adamenkov, A.K., Veselova I.N., Malakhov I.V. Obespecheniye kontrolya termomekhanicheskoy nagruzhennosti uzla privarki kollektora teplonositelya k patrubku Du1200 parogeneratorov PGV-1000 [Ensuring Control of Thermomechanical Loading of the Unit for Welding the Coolant Collector to the DN1200 Branch Pipe of PGV-1000 Steam Generators]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2015. № 4(17). P. 84-89 (in Russian).
- [12] Adamenkov A.K., Veselova I.N., Shpitser V.Ya. Otsenka razvitiya errozionno-korrozionnogo iznosa s pomoshch'yu metoda izmereniya magnitnoy anizotropii [Assessment of the Development of Erosion-Corrosion Wear Using the Method of Measuring Magnetic Anisotropy]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2019. № 1(30). P. 113-119 (in Russian).

Research of Secondary Circuit Welded Connections of the Engine Room by the Method of Scanning Contact Potentiometry

A.K. Adamenkov^{*1}, M.I. Malakhov^{*,**}, V.D. Ozhereliev^{*2}, V.I. Surin^{***3}

^{*}Rostov nuclear power plant, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

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

^{***}National Research Nuclear University NRNU «MEPhI», Kashirskoe shosse, 31, Moscow, Russia

¹ORCID iD: 0000-0001-7342-0231

WoS Researcher ID: O-1921-2018

e-mail: anri_61@mail.ru

²ORCID iD: 0000-0002-8188-6696

e-mail: victorozhereliev@yandex.ru

³ORCID iD: 0000-0001-6153-0206

e-mail: VISurin@mephi.ru

Abstract – The electrophysical system of non-destructive testing is tested on the NPP operating process equipment. The welded joints of the process pipeline located in the turbine hall are selected as the object of control. The results of the study confirm that the base metal of the welded joints is in a plastically deformed state. A comparison of the results of testing welded joints by scanning contact potentiometry and magnetic anisotropy methods is presented.

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

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039.5.5.8:621.38.004.6

**ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ПЛАСТИНЧАТЫХ
ТЕПЛООБМЕННИКОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА АЭС**

© 2021 С.А. Кузин^{*}, Н.А. Болдырева^{**}, С.Б. Кравец^{***}

^{*}АО «Атоммашэкспорт», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

^{**}Волгодонский инженерно-технический институт НИЯУ МИФИ, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

^{***}Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, Россия, Москва, Россия

В работе анализируются основные факторы, влияющие на показатели надежности пластинчатых теплообменников, применяемых на АЭС различных факторов, а именно: материалов теплообменных пластин и прокладок, видов рабочих сред, режимов нагружения (температуры и давление), устойчивости уплотнительных элементов к ионизирующему излучению. Для пластинчатых теплообменников, применяемых для АЭС, не существует нормативных методик по тепловому и гидравлическому расчетам, предлагаются лишь отдельные методики испытаний пластинчатых теплообменников. В качестве основных отказов были определены: внешние течи, внутренние течи и случаи засорения теплообменников. В выводах работы предлагается проанализировать информацию по отказам пластинчатых теплообменников, эксплуатируемых на ЛАЭС-2, НВАЭС-2 и поставляемых иностранными и отечественными фирмами для более точного прогнозирования работы пластинчатых теплообменников при эксплуатации на АЭС.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменник, прочность, повреждение, надежность, безопасность, техническое состояние, энергетическое оборудование.

Поступила в редакцию 13.10.2020

После доработки 15.02.2021

Принята к публикации 26.02.2021

Пластинчатые теплообменники обеспечивают эффективную передачу тепла, обладая при этом компактными размерами и малой занимаемой площадью. Они позволяют легко изменять значение поверхности теплообмена, не требуя при этом внесения существенных изменений в конструкцию. Все эти положительные качества пластинчатых теплообменников привели к тому, что в настоящее время они нашли широкое применение в отечественной атомной энергетике.

Применение общепромышленного оборудования на АЭС требует выполнения дополнительных мероприятий и условий, по сравнению с традиционной энергетикой (наличие радиоактивности, повышенная надежность и т.д.). Рассмотрим, насколько выполняются повышенные требования по обеспечению надежности на АЭС применительно к пластинчатым теплообменникам. Данная работа посвящена анализу влияния на показатели надежности пластинчатых теплообменников 2 класса безопасности по НП-001-15 [1] различных факторов, а именно: материалов теплообменных пластин и прокладок, видов рабочих сред, режимов нагружения (температуры и давление), устойчивости уплотнительных элементов к ионизирующему излучению.

В России, из-за отсутствия конкурентоспособного штамповочного производства пластин, сложилась практика сборки теплообменников на основе отечественных плит и крепежных элементов, импортных теплообменных пластин и прокладок к ним. В настоящее время на АЭС применяются пластинчатые теплообменники таких фирм-изготовителей как «Теплотекс», «Альфа Лаваль», «КельвионМашимпэкс», «Ридан» и

др. Подбор конфигурации аппаратов под конкретные данные (расчетные давление и температура, обеспечение необходимого теплообмена) осуществляется фирмой-изготовителем с использованием специальных компьютерных программ.

В соответствии с требованиями ГОСТ 15.309-98, для применения аппаратов на АЭС необходимо подтверждение работоспособности теплообменного аппарата для эксплуатационных режимов, включая обеспечение заявленных тепловых и гидравлических характеристик [2]. К сожалению, в настоящее время применительно к пластинчатым теплообменникам для АЭС не существует нормативных методик по тепловому и гидравлическому расчетам, предлагаются лишь отдельные методики испытаний пластинчатых теплообменников (разработки НПО ЦКТИ [3-6]).

В современных проектах установок с реакторами ВВЭР-1200 и ВВЭР ТОИ, в качестве теплообменников 2 класса безопасности по НП-001-15 используются пластинчатые теплообменники большой тепловой мощности, с площадью теплообмена до 1300 м². Характеристики некоторых пластинчатых теплообменников для установки с реактором ВВЭР-ТОИ приведены в таблице 1. Таким образом, мощность и теплообменная поверхность теплообменников, примененных в современных проектах на порядок превышают аналогичные характеристики пластинчатых теплообменников, находящихся в эксплуатации на действующих АЭС и имеющих 3 класс безопасности по НП-001-15 [1].

Таблица 1 – Технические характеристики пластинчатых теплообменников для примененных в проекте с ВВЭР-ТОИ [Technical characteristics of plate heat exchangers used in the project with WWER-TOI]

Наименование	Класс безопасности по НП-001-15	Тепловая мощность, МВт	Охлаждаемая среда/ /(Расход в т/ч)	Охлаждающая среда/ /(Расход в т/ч)	Поверхность теплообмена, м ² /(Кол-во пластин)
Доохладитель подпитки	3Н	2,04	Теплоноситель I контура/(40)	Вода промконтура/(110)	16,56/(69)
Охладитель боросодержащей воды	3Н	0,14	Теплоноситель I контура/(6)	Вода промконтура/(6)	11,28/(47)
Охладитель подпитки	3Н	0,79	Теплоноситель I контура/(80)	Теплоноситель I контура/(80)	16,56/(59+84)
Теплообменник аварийного и планового расхолаживания	2НЗЛ	46,9×2	Теплоноситель I контура/(500×2)	Вода промконтура/(1250×2)	603,3×2/(377×2)
Теплообменник охлаждения спринклерной воды и бассейна выдержки	2НЗЛ	21,6	Раствор борной кислоты/(300)	Вода промконтура/(700)	339/(189+80)
Теплообменник промконтура	2НО	118,8	Вода промконтура/(2500)	Техническая вода/(3532)	1274/(128+509)

Таким образом, мощность и теплообменная поверхность теплообменников 2 класса безопасности по НП-001-15, примененных в современных проектах, на порядок превышают аналогичные характеристики пластинчатых теплообменников, находящихся в эксплуатации на действующих АЭС и имеющих 3 класс безопасности по НП-001-15 [1].

Эскиз теплообменника аварийного и планового расхолаживания (площадь теплообмена 603,3 м²) приведен на рисунке 1.

закрепления уплотнения по периметру пластины, превышение рабочих параметров (давления, температуры), механическое повреждение уплотнений, старение, усадка уплотнения или клея в случае клеевого соединения.

Внутренняя течь – повреждение теплообменной поверхности, приводящее к смешению рабочих сред. Причины возникновения: снашивание, истирание поверхности теплообмена абразивами, присутствующими в рабочих средах, коррозия теплообменной поверхности, механическое повреждение теплообменной поверхности, усталостное разрушение теплообменной поверхности, неправильный выбор материала пластин, неправильный выбор реагентов для химводоочистки.

Засорение теплообменника – уменьшение эффективности теплопередачи, увеличение гидравлического сопротивления.

На основании статистических данных были получены следующие основные результаты: суммарная наработка на оборудовании Альфа Лаваль составила 20,000,000 часов или 2300 лет; более 47 теплообменников, т.е. 10% от общего числа теплообменников, участвующих в анализе на момент его проведения, эксплуатируются более 12 лет, один из теплообменников из числа этих 47 эксплуатируется более 20 лет. В отдельную группу были выделены теплообменники, установленные на АЭС, частота отказов для оборудования этого класса составила 1×10^{-8} отключений/час.

Следует отметить, что на надежность влияет также и период эксплуатации. Наиболее аварийно-опасным периодом для пластинчатых теплообменников является период монтажа, пуско-наладочных работ и ввода в эксплуатацию. Частые течи или раннее забивание теплообменника – характерные симптомы этого периода. Зависимость количества отказов от времени до отказа для теплообменников, произведенных фирмой «Альфа Лаваль», представлена на рисунке 2.

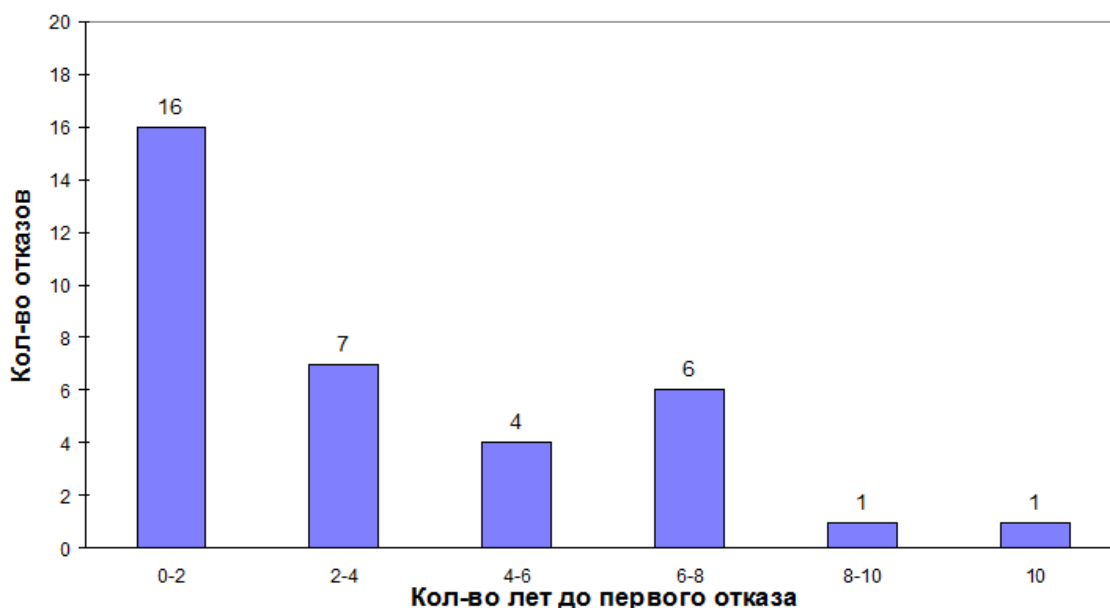


Рисунок 2 – Зависимость частоты отказов от времени эксплуатации теплообменников Альфа Лаваль
[Failure rate versus operating time for Alfa Laval heat exchangers]

Аналогичные основные отказы были определены при анализе показателей надежности пластинчатых теплообменников, находящихся в эксплуатации, выполненной фирмой Машимпэкс. Зависимость количества отказов от времени до отказа для теплообменников, произведенных фирмой Машимпэкс [8], представлена на рисунке 3.

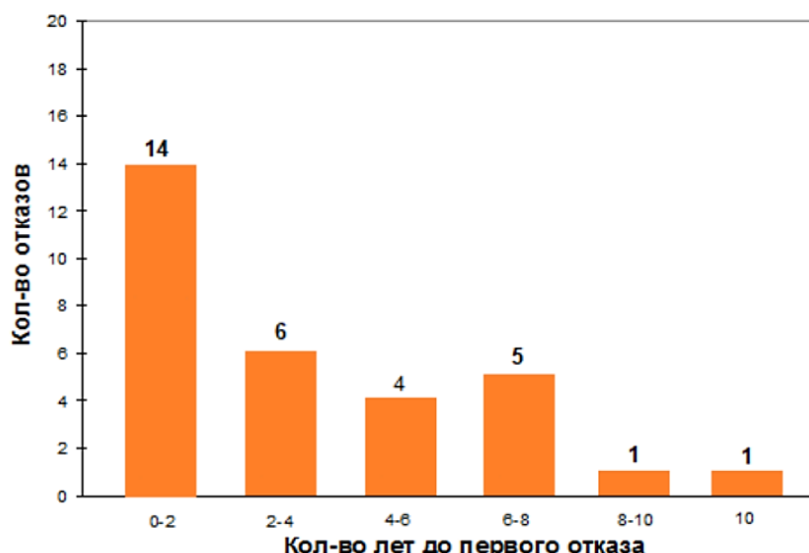


Рисунок 3 – Зависимость частоты отказов от времени эксплуатации теплообменников Машимпэкс
[Dependence of the failure rate on the operating time of Mashimpex heat exchangers]

Как видно из выше приведенных рисунков зависимости частоты отказов для пластинчатых теплообменников различных производств достаточно близки.

Пластинчатые теплообменники 2 класса безопасности по НП-001-15 [1], имеют срок службы основных частей равный 60 годам и в качестве одной из сред теплоноситель 1 контура. Таким образом, для этих теплообменников важным оказывается учет срока службы и стойкость к ионизирующему излучению уплотнительных элементов теплообменников.

ФГУП «НИИП» провел испытания на стойкость к ионизирующему излучению до уровня поглощенной дозы 1000 Гр уплотнений EPDM НТ (на основе этиленпропиленового каучука) [9], применяющихся в качестве уплотнительных элементов для пластинчатых теплообменников АЭС. Испытания подтвердили устойчивость к воздействию ионизирующего излучения материала уплотнения при отсутствии повреждений уплотнений из-за воздействия других внешних факторов.

Результаты расчетов основных показателей надежности пластинчатых теплообменников, примененных в проекте с ВВЭР-ТОИ, полученные ООО «Корпорация АК «ЭСКМ» по методикам, изложенным во многих источниках [10-16], показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные величины показателей надежности пластинчатых теплообменников [Calculated values of indicators of reliability of plate heat exchangers]

Наименование	Средняя наработка на отказ, час	Интенсивность отказа нарушения герметичности по отношению к окружающей среде, 1/ч.	Интенсивность отказа нарушения герметичности по отношению к охлаждающей среде, 1/ч
Доохладитель промконтура	131500	10^{-7}	$0,017 \times 10^{-7}$
Охладитель боросодержащей воды	227200	10^{-7}	$0,017 \times 10^{-7}$
Охладитель подпитки	113600	10^{-7}	$0,04 \times 10^{-7}$
Теплообменник аварийного и планового расхолаживания	52000	10^{-7}	$0,12 \times 10^{-7}$
Теплообменник охлаждения спринклерной воды и бассейна выдержки	68000	10^{-7}	$0,14 \times 10^{-7}$
Теплообменник промконтура	50000	10^{-7}	$0,32 \times 10^{-7}$

Расчетная средняя наработка на отказ существенно выше наработок, указанных на диаграммах на рисунках 2 и 3, полученных при эксплуатации теплообменников 3 класса безопасности. В тоже время, необходимо учитывать в расчетах единичные отказы пластинчатых теплообменников, происходящих при эксплуатации, возникающие из-за чистоты рабочих сред. При применении пластинчатых теплообменников в системы продувки парогенераторов выявлены следующие практические недостатки их использования:

–необходимость обеспечения высоких требований к качеству рабочей среды в связи с узкими проходами между теплообменными пластинами;

–необходимость наличия достаточного свободного пространства вокруг пластинчатых теплообменников для их обслуживания (сборки, разборки);

–затрудненный процесс обслуживания (частая смена уплотняющих пластин, сложность равномерного уплотнения теплообменных пластин при сборке теплообменника);

–высокая вероятность повреждения теплообменных пластин. при их демонтаже, связанная с прилипанием уплотняющих элементов.

Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время отсутствуют методики расчета показателей надежности пластинчатых теплообменников, учитывающие особенности конструкции и условий эксплуатации пластинчатых теплообменников, что чрезвычайно важно для пластинчатых теплообменников с большой поверхностью теплообмена и большой мощностью, отнесенных ко 2 классу безопасности по НП-001-15 [1]. Расчетные величины показателей надежности с большой поверхностью теплообмена и большой мощностью, отнесенных ко 2 классу безопасности, в настоящее время могут быть подтверждены только при эксплуатации.

Выводы:

1. Применение в дальнейшем пластинчатых теплообменников большой мощности в качестве оборудования 2 класса безопасности по НП-001-15 должно быть обосновано с точки зрения надежности и требует изучения влияния на показатели надежности всех вышеперечисленных факторов эксплуатации пластинчатых теплообменников.

2. Необходимо проанализировать информацию по отказам пластинчатых теплообменников, эксплуатируемых на ЛАЭС-2, НВАЭС-2 и поставляемых иностранными и отечественными фирмами, для более точного прогнозирования работы пластинчатых теплообменников при эксплуатации на АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. Основные положения НП-001-15. – URL : <http://www.seogan.ru/np-001-15-obshie-polozheniya-obespecheniya-bezopasnosti-atomnix-stanciiy.html>.
2. ГОСТ 15.309-98 СРПП. Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка. Основные положения. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – URL : <http://docs.cntd.ru/document/1200007262>.
3. Некоторые особенности работы и теплогидравлических испытаний пластинчатых теплообменников / Б.В. Балунев [и др.] // Надежность и безопасность энергетики. – 2017. – № 10(4). – С. 298-303. – URL : <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2017-10-4-298-303>.
4. Данюшевский, И.А. Об оценке прочности и ресурса энергооборудования с позиций современных возможностей / И.А. Данюшевский, Е.В. Георгиевская, С.Н. Гаврилов, Л.Д. Власова // Надежность и безопасность энергетики. – 2017. – № 10(3). – С. 237-242. – URL : <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2017-10-3-237-242>.

5. Гаев, А.В. Разработка методики оценки надежности и безопасности тепломеханического оборудования / А.В. Гаев, И.А. Данюшевский, Р.Э. Шевчук, Д.Н. Журавлев // Надежность и безопасность энергетики. – 2015. – № (2). – С. 65-69. – URL : <https://www.sigma08.ru/jour/article/view/168>.
6. Судаков, А.В. Современные методы оценки прочности и ресурса энергооборудования при термопульсациях и вибрациях / А.В. Судаков, С.В. Соловцев // Теплоэнергетика. – 2013. – № 1. – С. 55-62.
7. Пластинчатые теплообменники / АО «Альфа Лаваль Поток». – URL : <https://www.alfalaval.ru/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/fusion-bonded-plate-heat-exchangers/>.
8. Поставщик пластинчатых теплообменных аппаратов предоставил информацию и программу для расчета и подбора оборудования. – URL : <http://www.kelvion.com.ru>.
9. Протокол испытаний уплотнительных элементов теплообменных пластин теплообменников для АЭС на стойкость к ионизирующему излучению (Договор №59-13/2011). – URL : <http://www.niipriborov.ru>.
10. Клемин, А.И. Инженерные вероятностные расчеты при проектировании ядерных реакторов / А.И. Клемин. – Москва : Атомиздат, 1973. – 304 с.
11. Труханов, В.М. Надежность изделий машиностроения / В.М. Труханов. – Москва : Машиностроение, 1996. – 336 с.
12. Труханов, В.М. Надежность, испытания, прогнозирование ресурса на этапе создания сложной техники / В.М. Труханов, В.В. Клюев. – Москва : Спектр, 2014. – 313 с.
13. Надежность машин Т. IV-3. Машиностроение. Энциклопедия / В.В. Клюев, В.В. Болотин, Ф.Р. Соснин [и др.]. – Москва : Машиностроение, 2003. – 592 с.
14. Семенов, В.К. Прогнозирование отложения продуктов коррозии на теплообменных поверхностях парогенераторов АЭС с ВВЭР / В.К. Семенов, В.С. Щебнев, В.П. Дерий, В.Ф. Степанов // Материалы X Международной конференции «Безопасность АЭС и подготовка кадров – 2007». – Обнинск, 2007. – С. 114.
15. Семенов, В.К. К вопросу прогнозирования ресурса теплоэнергетического оборудования тепловых и атомных электрических станций / В.К. Семенов, В.П. Дерий, В.С. Щебнев, В.Ф. Степанов // Вестник ИГЭУ. – 2007. – № 2. – С. 30-33.
16. РБ-100-15. Рекомендации по порядку выполнения анализа надежности систем и элементов атомных электростанций важных для безопасности и их функций. – Москва : НТЦ Промбезопасность, 2016. – URL : <http://docs.cntd.ru/document/1200117032>.

REFERENCES

- [1] Obshchiye polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnykh stantsiy. Osnovnyye polozheniya [General Provisions for Ensuring the Safety of Nuclear Power Plants. Basic Provisions]. NP-001-15. URL: <http://www.seogan.ru/np-001-15-obshie-polozheniya-obespecheniya-bezopasnosti-atomnix-stantsiiy.html> (in Russian).
- [2] GOST 15.309-98 SRPP. Sistema razrabotki i postanovki produktsii na proizvodstvo. Ispytaniya i priyemka. Osnovnyye polozheniya [System of Product Development and Launching into Production. Testing and Acceptance. Basic Provisions]. Moskva: IPK Izdatel'stvo standartov [Moscow: IPK Standards Publishing House]. 1999. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007262> (in Russian).
- [3] Balunov B.F., Grigoryev K.A., Lychakov V.D., Shcheglov A.A., Matyash A.S., Starukhina K.S., Ustinov A.N., Zaytsev A.V. Nekotoryye osobennosti raboty i teplogidravlicheskih ispytaniy plastinchatykh teploobmennikov [Some Features of Operation and Thermal-hydraulic Tests of Plate Heat Exchangers]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017; 10(4):298-303. URL: <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2017-10-4-298-303> (in Russian).
- [4] Danyushevskiy I.A., Georgievskaya E.V., Gavrilov S.N., Vlasova L.D. Ob otsenke prochnosti i resursa energooborudovaniya s pozitsiy sovremennykh vozmozhnostey [On Assessment of Strength and Lifetime of Power Equipment in Terms of Modern Capabilities]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017; 10(3): 237-242. URL: <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2017-10-3-237-242> (in Russian).
- [5] Gaev A.V., Danyushevskiy I.A., Shevchuk R.E., Zhuravlev D.N. Razrabotka metodiki otsenki nadezhnosti i bezopasnosti teplomekhanicheskogo oborudovaniya [Development of a Methodology for Assessing the Reliability and Safety of Thermal Mechanical Equipment]. Nadezhnost' i

- bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2015; (2): 65-69. URL: <https://www.sigma08.ru/jour/article/view/168> (in Russian).
- [6] Sudakov A.V., Solovtsev S.V. Sovremennyye metody otsenki prochnosti i resursa energooborudovaniya pri termopul'satsiyakh i vibratsiyakh [Modern Methods for Assessing the Strength and Resource of Power Equipment with Thermal Pulsations and Vibrations]. Teploenergetika [Heat power engineering]. 2013; (1): 55-62.
- [7] Plastinchatyye teploobmenniki [Plate Heat Exchangers]. AO «Al'fa Laval' Potok» [Alfa Laval Potok JSC]. URL: <https://www.alfalaval.ru/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/fusion-bonded-plate-heat-exchangers/> (in Russian).
- [8] Postavshchik plastinchatyykh teploobmennyykh apparatov predostavil informatsiyu i programmu dlya rascheta i podbora oborudovaniya [Supplier of Plate Heat Exchangers Provided Information and Software for the Calculation and Selection of Equipment]. URL: <http://www.kelvion.com.ru> (in Russian).
- [9] Protokol ispytaniy uplotnitel'nykh elementov teploobmennyykh plastin teploobmennikov dlya AES na stoykost' k ioniziruyushchemu izlucheniyu (Dogovor №59-13/2011) [Test Report of Sealing Elements of Heat Exchanger Plates for NPP Heat Exchangers for Resistance to Ionizing Radiation (Contract №59-13/2011)]. URL: <http://www.niipriborov.ru> (in Russian).
- [10] Klemin A.I. Inzhenernyye veroyatnostnyye raschety pri proyektirovani yadernykh reaktorov [Engineering Probabilistic Calculations in the Design of Nuclear Reactors]. Moskva [Moscow]: Atomizdat. 1973. 304 p. (in Russian).
- [11] Tukhanov V.M. Nadezhnost' izdeliy mashinostroyeniya [Reliability of Mechanical Engineering Products]. Moskva: Mashinostroyeniye [Moscow: Mechanical Engineering]. 1996. 336 p. (in Russian).
- [12] Tukhanov V.M., Klyuyev V.V. Nadezhnost', ispytaniya, prognozirovaniye resursa na etape sozdaniya slozhnoy tekhniki [Reliability, Testing, Resource Prediction at the Stage of Creating Complex Equipment]. Moskva: Spektr [Moscow: Spectrum]. 2014. 313 p. (in Russian).
- [13] Klyuyev V.V., Bolotin V.V., Sosnin F.R. i dr. [and others]. Nadezhnost' mashin T.IV-3. Mashinostroyeniye. Entsiklopediya [Reliability of Machines T.IV-3. Mechanical Engineering. Encyclopedia]. Moskva: Mashinostroyeniye [Moscow: Mechanical Engineering]. 2003. 592 p. (in Russian).
- [14] Semenov V.K., Shchebnev V.S., Deriy V.P., Stepanov V.F. Prognozirovaniye otlozheniya produktov korrozii na teploobmennyykh poverkhnostyakh parogeneratorov AES s VVER [Prediction of the Deposition of Corrosion Products on the Heat Exchange Surfaces of Steam Generators of NPP with VVER]. Materialy X Mezhdunarodnoy konferentsii «Bezopasnost' AES i podgotovka kadrov – 2007» [Proceedings of the X International Conference «NPP Safety and Personnel Training» – 2007]. Obninsk. 2007. P. 114 (in Russian).
- [15] Semenov V.K., Deriy V.P., Shchebnev V.S., Stepanov V.F. K voprosu prognozirovaniya resursa teploenergeticheskogo oborudovaniya teplovykh i atomnykh elektricheskikh stantsiy [Issue of Forecasting the Resource of Heat and Power Equipment of Thermal and Nuclear Power Plants]. Vestnik IGEU [Bulletin of the ISPEU]. 2007. №2. P. 30-33 (in Russian).
- [16] RB-100-15. Rekomendatsii po poryadku vypolneniya analiza nadezhnosti sistem i elementov atomnykh elektrostantsiy vazhnykh dlya bezopasnosti i ikh funktsiy [Recommendations on the Procedure for Performing the Analysis of the Reliability of Systems and Elements of Nuclear Power Plants Important to Safety and Their Functions]. Moskva: NTTS Prombezopasnost' [Moscow: STC Prombezopasnost']. 2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200117032> (in Russian).

Operational Reliability of Plate Heat Exchangers Used in NPP

S.A. Kuzin^{*1}, N.A. Boldyreva^{*2}, S.B. Kravets^{*3}**

^{*} JSC «Atommashexport», Karl Marx Avenue, 44, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

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

^{***} Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (SEC NRS), Malaya Krasnoselskaya St., 2/8, bld. 5, Moscow, Russia 107140

¹ORCID iD: 0000-0002-7384-5827

e-mail: KuzinSergey55@mail.ru

² *e-mail: nadya.boldyрева.83@mail.ru*³ *ORCID iD: 0000-0001-8297-3102**WoS Researcher ID: F-7817-2017**e-mail: kravets_sb@mail.ru*

Abstract – The paper analyses the main factors affecting the reliability indicators of plate heat exchangers used at NPPs of various factors, namely: materials of heat exchange plates and gaskets, types of working media, loading modes (temperature and pressure), and resistance of sealing elements to ionizing radiation. There are no regulatory methods for thermal and hydraulic calculations for plate heat exchangers used for nuclear power plants. Only separate test methods for plate heat exchangers are proposed. The main failures are identified: external leaks, internal leaks and cases of clogging of heat exchangers. In the conclusions of the work it is proposed to analyze information on the failures of plate heat exchangers operated at LNPP-2, NVNPP-2 and supplied by foreign and domestic firms for more accurate prediction of the operation of plate heat exchangers during operation at NPPs.

Keywords: plate heat exchanger, strength, damage, reliability, safety, technical condition, power equipment.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 621.039.546

АНАЛИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ВВЭР-1000 С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАШИНЫ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ

© 2021 А. А. Лапкис, А.Н. Безматыева, Е.А. Абидова

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

В работе рассматривается возможность анализа деформированного состояния комплекта кассет ВВЭР-1000 с помощью системы управления машины перегрузочной. На основании данных, полученных при перегрузке топлива на действующей АЭС, построено типовое распределение сил трения по высоте активной зоны реактора ВВЭР-1000 при перемещении кассет различного срока облучения и поглощающих стержней.

Ключевые слова: ВВЭР, ядерное топливо, перегрузка топлива, машина перегрузочная, весоизмерительное устройство, затирание, распухание.

Поступила в редакцию 24.01.2021

После доработки 24.02.2021

Принята к печати 02.03.2021

Общие положения

Деформации ядерного топлива при облучении в реакторе оказывают существенное влияние на безопасность эксплуатации и длительность перегрузки ядерных реакторов.

При воздействии внешних сил изгиб тепловыделяющих сборок (ТВС) является суммой изгибов двух форм: продольного изгиба – от действия осевой силы блока защитных труб (БЗТ) реактора, и поперечного изгиба – от действия нагрузок на дистанционирующие решетки (рис. 1).

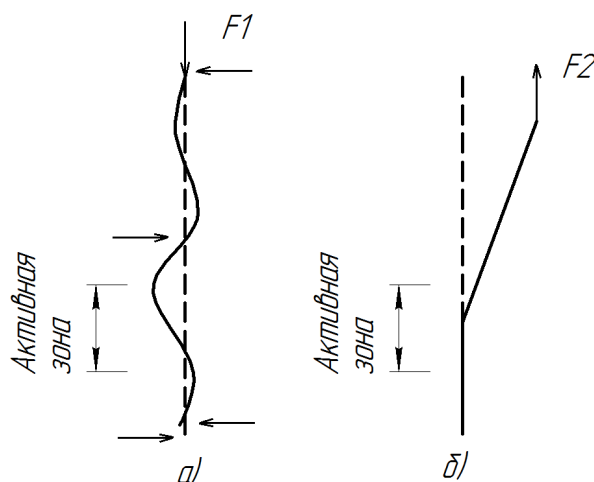


Рисунок 1 – Силы, действующие ТВС реактора ВВЭР-1000: а) с фиксацией сборки на трех уровнях по высоте, где F_1 – усилие от сжатия ТВС БЗТ; б) сборки не фиксированы, где F_2 – тянущее усилие от привода захвата рабочей штанги (ЗРШ) [Forces acting on WWER-1000 fuel assemblies: a) with assembly fixation at three levels in height, where F_1 is the force from compression of thermal control protective tubes of fuel assemblies; b) assemblies are not fixed, where F_2 is the pulling force from the drive of working rod gripper]

При этом возможность выявить и оценить количественно деформированное состояние ТВС появляется только при послереакторных исследованиях. [1-8].

Типовая форма деформированной ТВС при отсутствии поджатия сверху получена для топлива реакторов типа БН и приведена на рисунке 2 [2]. Такой случай соответствует состоянию топлива при перегрузке топлива.

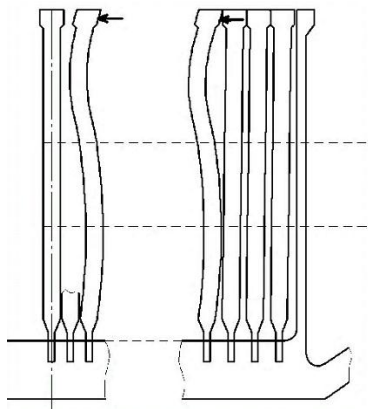


Рисунок 2 – Деформированная форма топлива в отсутствие поджатия сверху
[Deformed shape of fuel in the absence of compression from above]

Все транспортно-технологические операции с ТВС на энергоблоке ВВЭР-1000, выполняемые машиной перегрузочной, проводят в сопровождении контроля веса на захвате рабочей штанги (ЗРШ) [9-10], который зависит от:

- числа движущихся секций (только первая секция с ЗРШ или первая и средняя секции);
- наличия перегружаемого изделия в ЗРШ (пустой захват, ТВС, пробка, чехол кластера или другой инструмент);
- внешних усилий, действующих на перегружаемое изделие;
- наличия и уровня воды в зоне обслуживания МП.

Весоизмерительное устройство расположено на площадке приводов тележки МП. Его сигналы используются для информирования оператора о наличии изделия в захвате, для формирования разрешений и запретов на перемещения механизмов МП.

Частичная потеря веса при установке перегружаемого изделия и рост весовой нагрузки во время извлечения могут свидетельствовать о появлении дополнительных сил трения. При увеличении сил трения свыше допустимых значений система управления машины перегрузочной (СУМП) останавливает движение ЗРШ. При этом допустимые значения определены без учета естественных изменений весовой нагрузки на захвате при движении ТВС в активной зоне [9-10].

Задачи исследования

В данной работе рассмотрена возможность косвенной оценки деформированного состояния ТВС и активной зоны по сигналам весоизмерительного устройства МП энергоблока ВВЭР-1000. Такая оценка может быть полезной для определения и корректировки более точных границ веса при нормальном извлечении ядерного топлива из активной зоны перегрузочной машиной. Исходные данные для исследования получены при измерении веса на трехсекционной рабочей штанге, используемой на машинах типа МПС-В-1000. Непосредственные задачи исследования:

- проверить предположение о взаимосвязи весовых нагрузок на ЗРШ с дополнительными силами трения, возникающими между кассетами в АЗ;
- если такая связь обнаружится, оценить ее количественно, и получить типовой высотный профиль сил трения ТВС и ПС СУЗ в активной зоне;
- проанализировать динамику сил трения ТВС в зависимости от их степени выгорания (времени под облучением).

Анализ сигналов весоизмерительного устройства ЗРШ

Для анализа были выбраны данные, зафиксированные СУМП во время планово-предупредительных ремонтов на действующей атомной станции с реакторами ВВЭР-1000. На рисунках 3 и 4 для примера показаны графики зависимости весовой нагрузки на ЗРШ от его положения:

- для свежих ТВС, устанавливаемых в реактор – рисунок 3;
- для ТВС, облученных в течение трех кампаний и выгружаемых из реактора – рисунок 4.

На рисунках 3 и 4 номер линии соответствует номеру технологической операции по рабочему графику атомной станции.

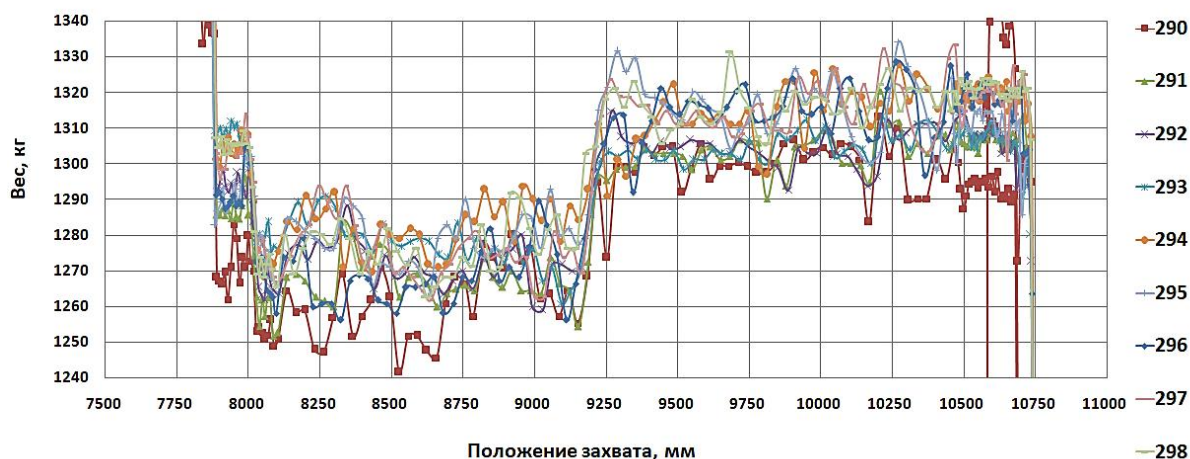


Рисунок 3 – График зависимости весовой нагрузки на ЗРШ от его положения для свежих ТВС при установке в реактор [The graph of the dependence of the weight load on the working rod gripper on its position for fresh fuel assemblies when installed in the reactor]

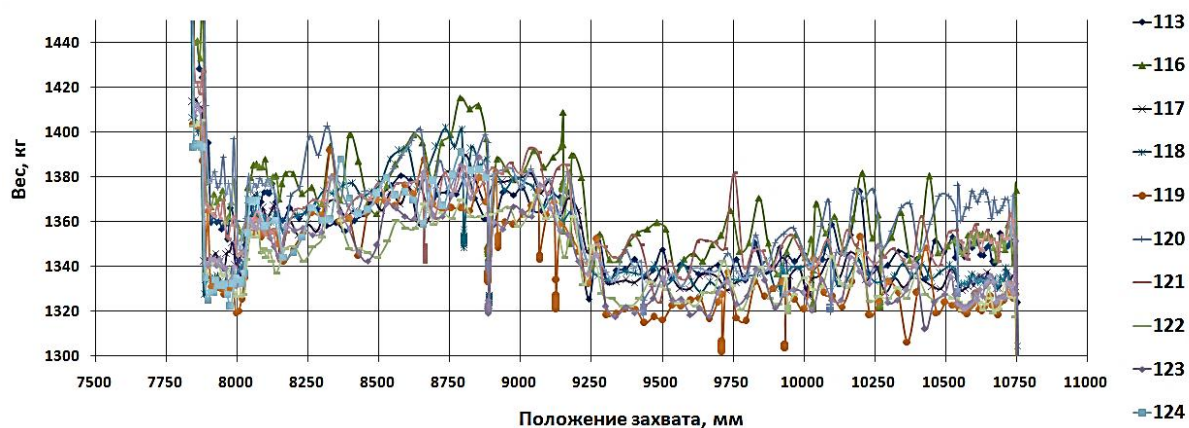


Рисунок 4 – График зависимости весовой нагрузки на ЗРШ от его положения для ТВС, облученных в течение трех кампаний при выгрузке из реактора [The graph of the dependence of the weight load on the working rod gripper on its position for fuel assemblies irradiated during three campaigns during unloading from the reactor]

На графиках значение высотной отметки 10780-10790 соответствует посадке захвата на ТВС, полностью установленную в опорную конструкцию активной зоны; высотная отметка 6600-6700 означает вход или выход ТВС из контакта с соседними кассетами в активной зоне.

Скачкообразное изменение веса на отметке 7750 мм соответствует подхвату или посадке средней секции. Соответствующая высотная схема приведена на рисунке 5.

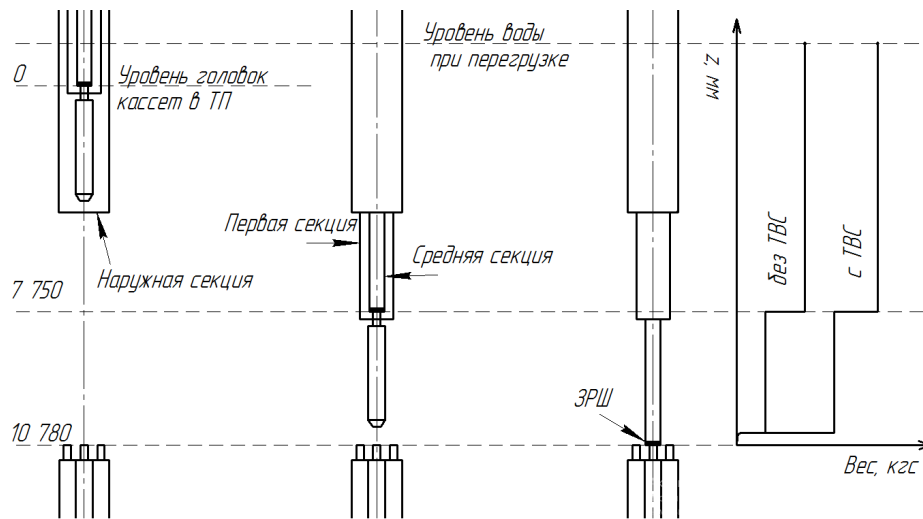


Рисунок 5 – Высотная схема расположения ЗРШ и кассет
High-altitude layout of working rod gripper and cassettes]

Сопоставление профилей силы трения по АЗ с зарегистрированной скоростью вертикального передвижения захвата позволило заключить, что связи между этими величинами нет. В процессе передвижения захвата его скорость обусловлена требованиями ядерной безопасности и устанавливается минимальной (0,6 м/мин):

- при отрыве хвостовика ТВС от опорной конструкции реактора;
- при подхвате средней секции рабочей штанги МП;
- при выходе хвостовика ТВС из активной зоны.

В остальные моменты скорость устанавливается повышенной (до 1,2 мин в активной зоне и до 6,0 м/мин в слое воды над ней).

Таким образом, трение в комплекте кассет определяется не режимом работы механизма ЗРШ, а исключительно внешними силами, действующими на ТВС. По мере движения кассеты в активной зоне силы трения возрастают в диапазоне высот с 1600 мм до 3000 мм, достигая своего максимального значения на уровне 2200 мм, считая от точки закрепления хвостовика ТВС в активной зоне. Это говорит о том, что деформированная конфигурация тепловыделяющих сборок создает дополнительную силу трения величиной 60-100 кгс, препятствующую установке и извлечению кассет в АЗ.

Для оценки силы трения кассеты в АЗ использована формула (1), учитывающая зафиксированный рост и уменьшение веса при прохождении ТВС в реакторе.

$$2 \cdot F_{\text{тр}} \approx P_{\text{изв}} - P_{\text{уст}} = \Delta P_j, \quad (1)$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения;

$P_{\text{изв}}$ – весовая нагрузка при извлечении ТВС из АЗ (кгс);

$P_{\text{уст}}$ – весовая нагрузка при установке ТВС в АЗ;

ΔP_j – разность показаний при извлечении и установке;

j – число кампаний, в течение которых топливо выгорало.

Применение такой формулы возможно только для кассет с выгоранием в одну или две кампании, поскольку свежее топливо только устанавливают в АЗ, а топливо, облученное в течение трех кампаний, из нее только извлекают. Чтобы выявить влияние выгорания на силу трения в АЗ, были вычислены дополнительные величины, формулы (2) и (3).

$$\Delta P_{0-1} = P_{\text{уст}0} - P_{\text{уст}1}, \quad (2)$$

где $P_{\text{уст}0}$ – усилие при установке свежих ТВС;

$P_{\text{уст}1}$ – усилие при установке ТВС с выгоранием в течение одной кампании.

$$\Delta P_{3-2} = P_{\text{изв3}} - P_{\text{изв2}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{изв3}}$ – усилие при извлечении ТВС с выгоранием в течение трех кампаний;

$P_{\text{изв2}}$ – усилие при извлечении ТВС с выгоранием в течение двух кампаний.

Тогда прирост силы трения с выгоранием топлива может быть найден по формулам (4).

$$\Delta F_{1-0} = -\frac{\Delta P_{0-1}}{2}; \Delta F_{2-1} = \frac{\Delta P_2 - \Delta P_1}{2};$$

$$\Delta F_{3-2} = \frac{\Delta P_{3-2}}{2}, \quad (4)$$

где индекс типа «m-n» означает прирост силы трения от топлива, выгоравшего m кампаний, к топливу, выгоравшему n кампаний.

Из-за того, что значения весовой нагрузки фиксировались датчиком автоматически на несовпадающих положениях ЗРШ, упорядочивание значений веса по уровням положения ЗРШ невозможно. Однако, такая сортировка необходима для выполнения математических операций с данными, в том числе для применения формул (1)-(4).

Была принята единая шкала значений положения ЗРШ с ценой деления 10 мм. Для каждой рассматриваемой операции были рассчитаны значения весовой нагрузки для точек основной шкалы высот с помощью метода линейной интерполяции по формуле (5).

$$P_0 = P_n + \frac{(x_0 - x_n) \cdot (P_{n+1} - P_n)}{x_{n+1} - x_n}, \quad (5)$$

где x_0 и P_0 – принятое в единой шкале значение положения захвата РШ и искомое значение величины веса соответственно;

x_n и P_n – наиболее близкая по значению зафиксированная величина положения захвата РШ и вес в этой точке;

x_{n+1} и P_{n+1} – те же величины в следующей точке, зафиксированной СУМП.

Полученный массив данных интерполированных значений использовался для дальнейших расчетов.

Чтобы оценить приращение величин дополнительных внешних сил со временем нахождения ТВС в активной зоне, были проанализированы графики прироста сил трения, построенные по формулам (4) для кассет с разным выгоранием топлива в течение одной, двух или трех топливных кампаний (рис. 6).

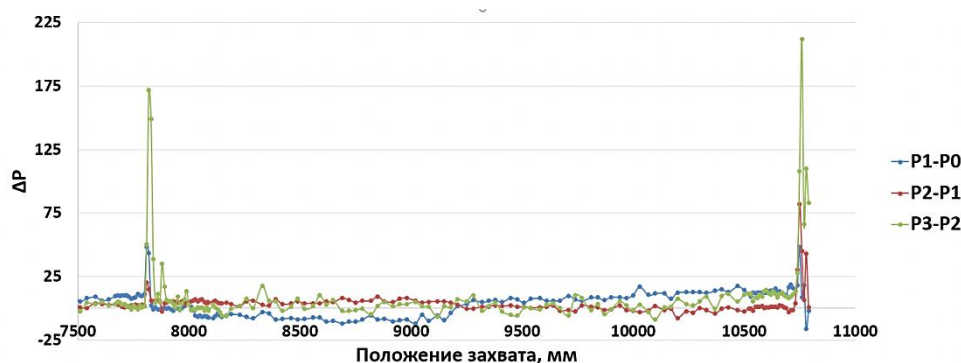


Рисунок 6 – График зависимости прироста силы трения с выгоранием топлива ТВС за две и три топливные кампании по высоте активной зоны [Graph of the dependence of the increase in the friction force with the fuel burnup of the fuel assembly for two and three fuel runs along the height of the core]

Сила трения принимает наибольшие значения в момент отрыва хвостовика ТВС и прохождении первых 50 мм при извлечении. Значения прироста сил трения с увеличением величины выгорания топлива растут. На всех графиках обозначились два уровня положения ЗРШ, на которых прирост силы трения наибольший – положение захвата на уровне 10760 мм и 10780 мм, что соответствует началу движения ТВС и отрыву хвостовика ТВС от опорного стакана.

Описанный выше прирост сил трения на высотах 8000-9250 мм снижается на 20-30 кг при выгорании в течение двух кампаний.

Были определены значения среднего прироста силы трения в килограммах веса за время пребывания кассет в активной зоне в течение двух топливных кампаний, формула (6).

$$\Delta \bar{P} = \bar{P}_{\text{иза3}} - \bar{P}_{\text{изв1}}, \quad (6)$$

где значения веса взяты при извлечении, а индексы «1» и «3» соответствуют кассетам, облученным в течение одной и трех кампаний.

Распределение величины прироста веса по высоте АЗ на начальном этапе подъема ТВС показано на рисунке 7.

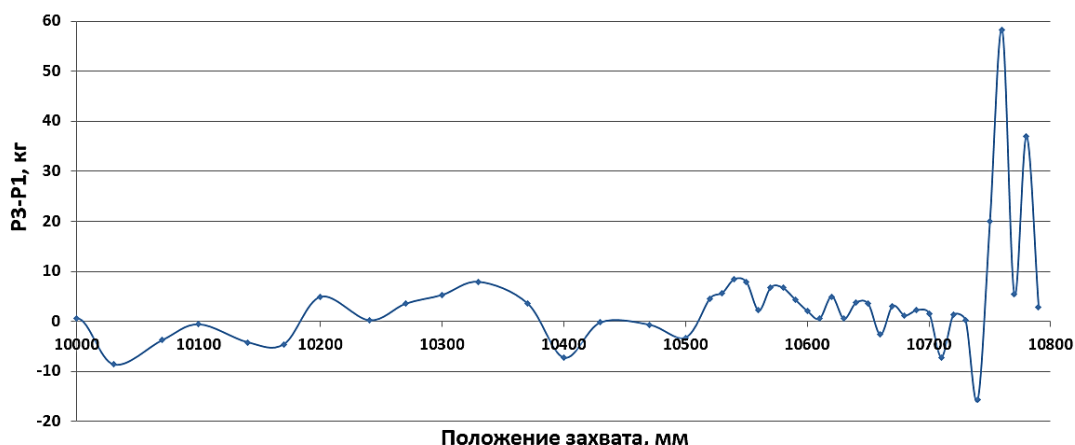


Рисунок 7 – Прирост сил трения при выгорании топлива в течение двух кампаний [The increase in friction forces during fuel burnout during two campaigns]

Из графика видно, что кассета, облученная в течении трех топливных кампаний, в среднем отрывается от точки закрепления в активной зоне и проходит первые 50 мм при извлечении на 60 кг тяжелее, чем после одной топливной кампании.

Анализ сигналов весоизмерительного устройства ЗКл

Деформированное состояние ТВС оказывает влияние и на сопротивление прохождению поглощающих стержней через направляющие каналы. Для проанализированных в разделе 3 операций были построены также типовые графики зависимости усилия на захвате кластера (ЗКл) от его координаты при извлечении ПС СУЗ.

Для оценки разброса значений весовых нагрузок по высоте активной зоны, были рассчитаны среднеарифметические числовые значения веса и их доверительные интервалы в предположении о нормальном распределении результатов измерения веса, формулы (7).

$$P_i = \bar{P}_j \pm \frac{2,086}{\sqrt{k}} \cdot \sigma_i,$$

$$\bar{P}_j = \frac{\sum_{j=1}^k P_{jn}}{k}, \quad (7)$$

$$\sigma_i = \frac{\sum_{j=1}^k (P_{jn} - \bar{P}_j)}{k-1},$$

где P_i – верхняя и нижняя граница доверительного интервала;

P_{in} – зафиксированные значения весовых нагрузок в конкретной точке по высоте активной зоны;

k – количество зафиксированных значений веса на выбранной высоте.

График зависимости среднеарифметических значений веса с указанными верхними и нижними значениями рассчитанного доверительного интервала по высоте активной зоны представлен ниже на рисунке 8.

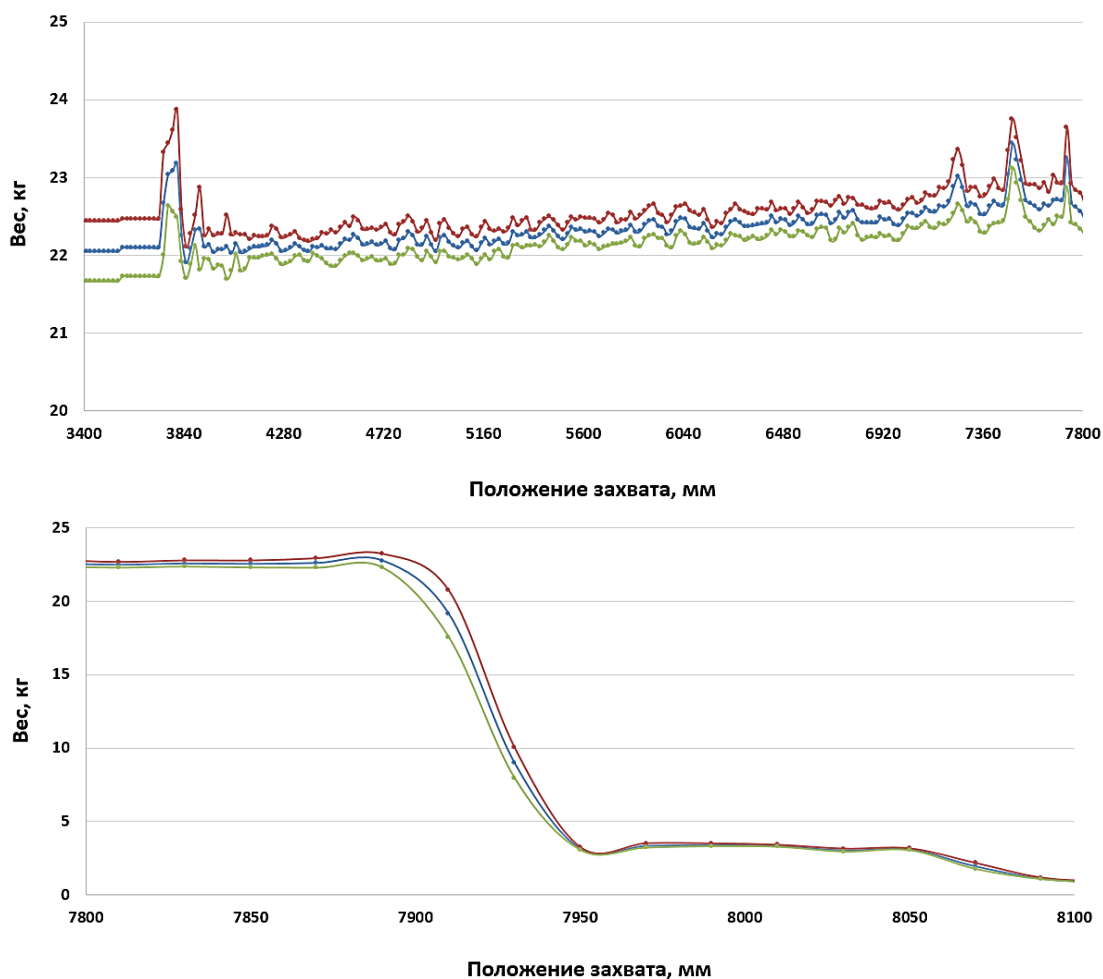


Рисунок 8 – График зависимости среднеарифметических значений веса с указанными верхними и нижними значениями рассчитанного доверительного интервала по высоте активной зоны [Graph of the dependence of weight arithmetic mean values with the indicated upper and lower values of the calculated confidence interval over the core height]

По мере извлечения поглощающего стержня нагрузка на канате снижается с темпом около 0,2 кг/м. При этом масса каната ЗКл не превышает 0,03 кг/м. Таким образом, можно описать характер трения поглощающего стержня в направляющих каналах ТВС как линейно зависмый от погруженной длины.

Заключение

1. Выполненный анализ сигналов весоизмерительной системы МП позволил подтвердить предположение о связи параметров веса кассеты при перемещении ТВС в реакторе с деформацией элементов АЗ реактора ВВЭР-1000. Полученный характер изменения весовой нагрузки на захвате рабочей штанги по высоте АЗ может свидетельствовать о:

а) возникновении дополнительных сил трения порядка 60-100 кгс на уровнях с 1600 до 3000 мм от низа АЗ;

б) увеличении среднего усилия отрыва хвостовика кассет, отработавших три кампании, на 40-60 кгс по сравнению с ТВС, отработавшими одну кампанию;

в) снижении сил трения, описанных в пункте а), на 20-30 кгс при выгорании топлива в течение двух кампаний.

2. Полученные данные могут свидетельствовать об определенных формах деформации комплекта кассет АЗ реактора ВВЭР-1000. Можно заключить, что выгорание топлива приводит, с одной стороны, к затруднению отрыва хвостовика ТВС от опорного стакана АЗ, а с другой стороны, к снижению сил трения в центральной части АЗ. Это может объясняться тем, что деформированная форма ТВС по мере выгорания приходит в соответствие деформированной форме всего комплекта кассет в реакторе.

3. Характер сил трения при извлечении ПС СУЗ свидетельствует об их линейном снижении по мере подъема захвата. Таким образом, описать деформированное состояние направляющих каналов ТВС не представилось возможным.

4. Сигналы весоизмерительного устройства СУ МП имеют возможность дополнительного использования как инструмента для получения предварительных сведений о деформированной форме комплекта кассет в АЗ до проведения послереакторных исследований топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Марков, Д.В. [и др.] Исследования по проблеме, связанной с изгибом ТВС ВВЭР-1000 при эксплуатации / Д.В. Марков, В.С. Поленок, С.В. Павлов, А.В. Смирнов // Сборник докладов V Межотраслевой конференции по реакторному материаловедению, г. Димитровград, 1998. – Т. 1. – С. 47-59.*
2. *Марков, Д.В. Основные закономерности изменения свойств и характеристик топлива ВВЭР и РБМК нового поколения в период эксплуатации по результатам комплексных послереакторных исследований : диссертация ... доктора технических наук: 05.14.03 / Д.В. Марков // Место защиты: ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». – 2018. – 397 с.*
3. *Fuel Assembly Deformation Measurements https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/50/006/50006707.pdf.*
4. *Strasser A., Sunderland D. A review of recent LWR fuel failures // Proc. IAEA TCM «Fuel failure in Normal Operation of Water Reactors: Experience, Mechanisms and Management», Dimitrovgrad, Russia, 26-29 May 1992. IAEA-TECDOC-709. Vienna: IAEA 1993. P.17-25.*
5. *Kanashov B., Amosov S., Lyadov G., Markov D., Ovchinnikov V., Polenok V., Smirnov A., Sukhikh A., Bek Ye., Yenin A., Novikov V. Changes in geometry of claddings and fuel columns of spent WWER-440 and WWER-1000 fuel rods under steady-state and transient operating conditions. Fuel failure in water reactors: causes and mitigation. IAEA. VIENNA. 2003. P. 171-188.*
6. *Dubrovin K.P., Ivanov E.G., Strijov P.N., Yakovlev, V.V. The results of postirradiation examinations of VVER-1000 and VVER-440 fuel rods/ Journal of Nuclear Materials. Volume 178. Issue 2. P. 306-311.*
7. *Bolshagin Sergey N., Gorodkov Sergey S., Sukhino-Khomenko Evgeniya A. The estimation of the control rods absorber burn-up during the VVER-1000 operation. Kerntechnik; Journal Volume: 78; Journal Issue: 4; Conference: 22. AER Symposium 2012, Pruhonice (Czech Republic). 2012. P. 280-284.*
8. *Марков, Д.В. Изменение основных геометрических параметров ТВС ВВЭР-1000 нового поколения при эксплуатации до 58.7 МВт*сут/кгU / Д.В. Марков, Е.А. Звир, В.С. Поленок,*

- В.А. Жителев, Г.В. Шевляков // Межотраслевая научно-техническая конференция «Исследовательскому комплексу ИВВ-2М – 45 лет», г. Заречный, 2011.
9. Якубенко, И.А. Модернизация системы управления перегрузкой ядерного топлива на энергоблоке №1 Ростовской АЭС / И.А. Якубенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 4(9). – С. 35-39.
 10. Федосовский, М.Е. Безопасность перегрузки ядерного топлива на энергоблоках с водородным энергетическим реактором : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / М.Е. Федосовский. – Санкт-Петербург, 2009.
 11. Лапкис, А.А. Виброакустическая паспортизация режимов работы машин перегрузочных энергоблоков ВВЭР / А.А. Лапкис, В.Н. Никифоров, Л.А. Первушин // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 2(27). – С. 82-90.

REFERENCES

- [1] Markov D.V., Polenok V.S., Pavlov S.V., Smirnov A.V. Issledovaniya po probleme, svyazannoy s izgibom TVS VVER-1000 pri ekspluatatsii [Research the Problem Associated with the Bending of WWER-1000 Fuel Assemblies during Operation]. Sbornik dokladov V Mezhotraslevoy konferentsii po reaktornomu materialovedeniyu [Collection of Reports of the V Interdisciplinary Conference on Reactor Materials Science]. Dimitrovgrad 1998. T.1. P.47-59 (in Russian).
- [2] Markov D.V. Osnovnyye zakonomernosti izmeneniya svoystv i kharakteristik topliva VVER i RBMK novogo pokoleniya v period ekspluatatsii po rezul'tatam kompleksnykh poslereaktornykh issledovaniy.: dissertatsiya ... doktora tekhnicheskikh nauk: 05.14.03 [The Main Regularities of Changes in the Properties and Characteristics of WWER and RBMK Fuel of a New Generation during the Operation Period According to the Results of Complex Post-Irradiation Studies .: Doctor of Technical Sciences thesis: 05.14.03]. Mesto zashchity: FGBU «Natsional'nyy issledovatel'skiy tsentr «Kurchatovskiy institut» [FSBI National Research Center Kurchatov Institute]. 2018. 397 p. (in Russian).
- [3] Fuel Assembly Deformation Measurements. URL: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/50/006/50006707.pdf (in English).
- [4] Strasser A., Sunderland D. A review of recent LWR fuel failures // Proc. IAEA TCM «Fuel Failure in Normal Operation of Water Reactors: Experience, Mechanisms and Management», Dimitrovgrad, Russia, 26-29 May 1992. IAEA-TECDOC-709. Vienna: IAEA 1993, p.17-25 (in English).
- [5] Kanashov B., Amosov S., Lyadov G., Markov D., Ovchinnikov V., Polenok V., Smirnov A., Sukhikh A., Bek Ye., Yenin A., Novikov V. Changes in Geometry of Claddings and Fuel Columns of Spent WWER-440 and WWER-1000 Fuel Rods under Steady-State and Transient Operating Conditions. FUEL FAILURE IN WATER REACTORS: CAUSES AND MITIGATION IAEA, VIENNA, 2003. P.171-188 (in English).
- [6] Dubrovin K.P., Ivanov E.G., Strijov P.N., Yakovlev V.V. Results of Postirradiation Examinations of WWER-1000 and VVER-440 fuel rods / Journal of Nuclear Materials. Volume 178. Issue 2. P.306-311 (in English).
- [7] Bolshagin Sergey N., Gorodkov Sergey S., Sukhino-Khomenko Evgeniya A. The Estimation of the Control Rods Absorber Burn-Up during the WWER-1000 Operation. Kerntechnik; Journal Volume: 78; Journal Issue: 4; Conference: 22. AER Symposium 2012, Pruhonice (Czech Republic). 2012. P.280-284 (in English).
- [8] Markov D.V., Zvir Ye.A., Polenok V.S., Zhitelev V.A., Shevlyakov G.V. Izmeneniye osnovnykh geometricheskikh parametrov TVS VVER-1000 novogo pokoleniya pri ekspluatatsii do 58.7 MVt*sut/kgU [Changes in the Main Geometric Parameters of New Generation of WWER-1000 Fuel Assemblies during Operation up to 58.7 MW * Day / kgU]. Mezhotraslevaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Issledovatel'skomu kompleksu IVV-2М – 45 let» [Interdisciplinary Scientific and Technical Conference «Research Complex IVV-2M is 45 Years Old»]. Zarechny. 2011 (in Russian).
- [9] Yakubenko I.A. Modernizatsiya sistemy upravleniya peregruzkoy yadernogo topliva na energobloke №1 Rostovskoy AES [Modernization of the Nuclear Fuel Reloading Control System at Power Unit No. 1 of the Rostov NPP]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2013. № 4(9). P. 35-39 (in Russian).
- [10] Fedosovskiy M.Ye. Bezopasnost' peregruzki yadernogo topliva na energoblokakh s vodo-vodyanym energeticheskim reaktorom: avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Safety of Nuclear Fuel Reloading at Power Units with Pressurized Water Reactors. Abstract of PhD thesis in technical sciences]. Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskii universitet [St. Petersburg Polytechnic University]. St. Petersburg [Sankt-Peterburg]. 2009 (in Russian).

- [11] Lapkis A.A., Nikiforov V.N. Vibroakusticheskaya pasportizatsiya rezhimov raboty mashin peregruzochnykh energoblokov VVER [Vibroacoustic Certification of Operating Modes of Machines for Reloading Power Units of WWER]. 2018. № 2(27). P. 82-90 (in Russian).

Analysis of WWER-1000 Fuel Deformation Using the Refueling Machine Control System

A.A. Lapkis¹, A.N. Bezmateva², E.A. Abidova³

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

¹*ORCID ID: 0000-0002-9431-7046*

e-mail: AALapkis@mephi.ru

²*alanbezm@icloud.com*

³*ORCID iD: 0000-0003-0258-5543*

WoS Researcher ID: O-1870-2018

e-mail: nii_energomash@mail.ru

Abstract – The analysis of the geometric dimensions of fuel assemblies, whose change may lead to mashing of the cassettes in the core, is performed at this stage only after removing the fuel assemblies from the reactor. This paper considers the possibility of analyzing the mashing of WWER-1000 cassettes using the control system of the reloading machine. Based on data from an industrial experiment at the Rostov NPP, a typical distribution of friction forces over the height of the WWER-1000 reactor core is assessed.

Keywords: WWER, nuclear fuel, refueling, refueling machine, weight measuring, fuel assembly deformation.

**КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ
СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 330.101.8

**СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
В АСПЕКТЕ ПРИОРИТЕТОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ
И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

© 2021 И.Е. Лыскова

*Коми республиканская академия государственной службы и управления, Сыктывкар,
Республика Коми, Россия*

В статье актуализируются политико-правовые, социально-экономические и социокультурные аспекты обеспечения производственной безопасности промышленных предприятий. Предлагается общий анализ нормативно-правовых документов, определяющих стратегические цели и концептуальные основы формирования и совершенствования системы производственной безопасности промышленных предприятий в Российской Федерации.

Ключевые слова: национальная и экономическая безопасность, устойчивое развитие, промышленные предприятия, производственная безопасность, промышленная безопасность, охрана труда.

Поступила в редакцию 16.12.2020
После доработки 23.01.2021
Принята к печати 29.01.2021

Стратегические приоритеты национальной и экономической безопасности Российской Федерации определяются рядом нормативно-правовых документов, закрепляющих национальные цели и задачи устойчивого развития российского государства и общества на долгосрочную перспективу. Правовую базу в области обеспечения национальной и экономической безопасности составляют Конституция Российской Федерации, Федеральный закон от 28 декабря 2010 года № 390-ФЗ «О безопасности», Федеральный закон от 28 июня 2014 года № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации», Федеральный закон от 12 июля 1996 года № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике», Федеральный закон от 31 декабря 2014 года № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации», Федеральный закон от 21 июля 1997 года № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных промышленных объектов», Стратегия национальной безопасности Российской Федерации, утвержденная Указом Президента РФ от декабря 2015 года № 683, Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 г., утвержденная Указом Президента РФ от 13 мая 2017 года № 208, Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденная Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 года № 642, а также иные нормативные правовые акты Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации.

Целью исследования является выявление стратегических перспектив формирования системы производственной безопасности промышленных предприятий в

аспекте приоритетов национальной и экономического безопасности Российской Федерации. Основным методом исследования стал комплексный анализ нормативно-правовых документов, определяющих цели экономического, социального и экологического развития России на период до 2030 года.

Государственная политика в области обеспечения безопасности является частью внутренней и внешней политики Российской Федерации и предусматривает комплекс политических, организационных, социально-экономических, военных, правовых, информационных, специальных и иных мер и направлений деятельности органов государственной власти [1].

Стратегические приоритеты национальной и экономической безопасности Российской Федерации характеризуются как важнейшие направления деятельности органов государственной власти, местного самоуправления, социальных институтов по противодействию угрозам в государственной, социальной, экономической, военной, энергетической, экологической, информационной, транспортной, продовольственной, эпидемиологической, идеологической и иных сферах общественной жизнедеятельности.

Стратегические приоритеты Российской Федерации в области обеспечения национальной и экономической безопасности неразрывно связаны с перспективами устойчивого социально-экономического развития по формированию высокого качества и уровня жизни, созданию условий для наращивания политического, экономического, военного, технологического, научного, человеческого потенциалов российского общества, мобилизации ресурсов для закрепления состояния защищенности личности, общества, государства.

Государственные интересы Российской Федерации в области национальной и экономической безопасности направлены на укрепление обороноспособности страны, обеспечение суверенитета, государственной и территориальной целостности, незыблемости основ конституционного строя, укрепление политической и социальной стабильности, экономической независимости, повышение конкурентоспособности российской экономики, повышение темпов экономического роста и социального благополучия.

В Стратегии национальной безопасности Российской Федерации выделены следующие стратегические приоритеты: оборона страны; государственная и общественная безопасность; повышение качества жизни российских граждан; экономический рост; наука, технологии и образование; здравоохранение; культура; экология живых систем и рациональное природопользование; стратегическая стабильность и равноправное стратегическое партнерство [2].

При определении целей производственной безопасности промышленных предприятий особое внимание следует уделить комплексу государственных стратегических приоритетов, формирующих основы экономической, социальной и экологической безопасности.

Одной из значительных стратегических целей национальной безопасности выделяется эффективное *развитие экономики* страны, обеспечение экономической безопасности, создание необходимых условий, содействующих развитию личности, переходу российской экономики на качественно новый уровень технологического развития.

Современная экономическая ситуация в России характеризуется комплексом проблем внешнеэкономического, политического, государственно-управленческого, производственно-хозяйственного, правового, финансового, демографического характера. Однако одной из наиболее серьезных угроз национальной безопасности с экономической точки зрения является низкая конкурентоспособность российской экономики, в значительной степени связанная с отставанием в сфере разработки и

внедрения инновационных технологий, сохранением экспортно-сырьевой модели экономического развития, недостаточным развитием транспортной и энергетической инфраструктуры, слабой инновационной активностью, неблагоприятным инвестиционным климатом, сокращением численности трудовых ресурсов, низкой производительностью труда, недостаточно высоким уровнем профессиональной квалификации и компетентности специалистов и т.д.

Согласно Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года выделяются стратегические приоритеты экономического развития, предусматривающие реализацию следующих целей государственной политики в области обеспечения экономической безопасности России:

- 1) укрепление экономического суверенитета Российской Федерации;
- 2) повышение устойчивости экономики к воздействию внешних и внутренних вызовов и угроз;
- 3) обеспечение экономического роста;
- 4) поддержание научно-технического потенциала развития экономики на мировом уровне и повышение ее конкурентоспособности;
- 5) поддержание потенциала отечественного оборонно-промышленного комплекса на уровне, необходимом для решения задач военно-экономического обеспечения обороны страны;
- 6) повышение уровня и качества жизни населения.

Стратегические цели государственной экономической политики определяют широкую совокупность задач в области обеспечения экономической безопасности страны по следующим направлениям деятельности:

- 1) развитие системы государственного управления, прогнозирования и стратегического планирования в сфере экономики;
- 2) обеспечение устойчивого роста реального сектора экономики;
- 3) создание экономических условий для разработки и внедрения современных технологий, стимулирования инновационного развития, а также совершенствования нормативно-правовой базы в этой сфере;
- 4) устойчивое развитие национальной финансовой системы;
- 5) сбалансированное пространственное и региональное развитие Российской Федерации, укрепление единства ее экономического пространства;
- 6) повышение эффективности внешнеэкономического сотрудничества, и реализация конкурентных преимуществ экспортно ориентированных секторов экономики;
- 7) обеспечение безопасности экономической деятельности;
- 8) развитие человеческого потенциала [3].

Первостепенным условием реализации приоритетов в области обеспечения национальной и экономической безопасности России является необходимость совершенствования человеческих ресурсов, повышение инвестиций в развитие человеческого капитала и развитие человеческого потенциала. Важно отметить, что центральными задачами по реализации этого направления государственной экономической политики являются:

- 1) совершенствование системы общего и профессионального образования на основе современных научных и технологических достижений;
- 2) развитие системы непрерывного образования, в том числе с использованием механизмов государственно-частного партнерства;
- 3) развитие системы квалификаций, совершенствование квалификационных требований к работникам, информирование граждан о востребованных и новых профессиях;
- 4) профессиональная ориентация граждан;

- 5) снижения уровня бедности и имущественного неравенства населения;
- 6) содействие эффективной занятости населения и мобильности трудовых ресурсов;
- 7) совершенствование механизмов обеспечения экологической безопасности и сохранения благоприятной окружающей среды [3].

Достижение целей в области экономической безопасности предполагает мощное развитие промышленно-технологической базы, повышение темпов инновационного развития экономики, создание благоприятных условий для инвестиционной привлекательности российской экономики, улучшения делового климата и развития предпринимательской культуры.

Кроме экономических в системе стратегических приоритетов, направленных на обеспечение национальной и экономической безопасности Российской Федерации, выделяется комплекс целей *социального развития*. Российское государство обосновывает социальную значимость стратегических целей обеспечения национальной и экономической безопасности в области развития науки, технологий и образования как факторов развития производительных сил и модернизации российской экономики; развития системы здравоохранения в интересах повышения уровня и качества жизни российских граждан; сохранения и приумножения культурного наследия посредством эффективной культурной и национальной политики Российской Федерации.

Согласно статье 11 Федерального закона «О науке и научно-технической политике» основными целями научно-технической политики Российской Федерации являются «развитие, рациональное размещение и эффективное использование научно-технического потенциала, увеличение вклада науки и техники в развитие экономики государства, реализацию важнейших социальных задач, обеспечение прогрессивных структурных преобразований в области материального производства, повышение его эффективности и конкурентоспособности продукции, улучшение экологической обстановки и защиты информационных ресурсов государства, укрепление обороноспособности государства и безопасности личности, общества и государства, интеграция науки и образования» [4].

Стратегическими целями национальной безопасности Российской Федерации в области науки, технологий и образования являются:

- 1) развитие системы научных, проектных и научно-технологических организаций, способной обеспечить модернизацию российской экономики, реализацию конкурентных преимуществ России, оборону страны, государственную и общественную безопасность, а также формирование научно-технологических заделов на перспективу;

- 2) повышение социальной мобильности, качества общего, профессионального и высшего образования, его доступности для всех категорий граждан, а также развитие фундаментальных научных исследований [2].

Существенным дополнением к целям обеспечения национальной безопасности в области науки, технологий и образования является постановка целей научно-технологического развития Российской Федерации, создание эффективной системы научно-исследовательской, инновационной и инвестиционной деятельности, повышение уровня технологической культуры в России и роли российской науки в мировом сообществе. Как подчеркивается в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, целью государственной политики в этой области является обеспечение независимости и конкурентоспособности страны за счет создания эффективной системы наращивания и наиболее полного использования интеллектуального потенциала нации. Кроме того, цели научно-технологического развития России ориентированы на повышение качества жизни населения, обеспечения

безопасности и укрепления позиции страны в глобальном рейтинге уровня жизни посредством внедрения инновационных товаров, продуктов, услуг. Инновационное развитие России предусматривает продвижение российских технологий и инновационных продуктов на новые рынки и повышение доходов от экспорта высокотехнологичной продукции, услуг и прав на технологии.

Основные результаты реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации определяются созданием единой системы, объединяющей образование, науку, технологии и инновации, интегрированной с социально-экономической системой страны и обеспечивающей ее независимость, технологическую безопасность и конкурентоспособность.

Одним из основополагающих направлений реализации государственной политики в области научно-технологического развития Российской Федерации в соответствии с приоритетами социально-экономического развития определяется развитие научного и кадрового потенциала. Это предполагает создание возможностей для выявления талантливой молодежи, построения успешной карьеры в области науки, технологий, инноваций, развития интеллектуального потенциала и человеческого капитала страны.

Достижение поставленных целей в области развития науки, технологий и образования должно обеспечиваться посредством:

1) долгосрочного планирования и регулярной актуализации приоритетных научных, научно-технологических проектов, реализуемых конкурентоспособными коллективами исследователей, специалистов, предпринимателей.

2) повышения авторитета и репутации отечественных специалистов и исследователей;

3) развития системы научно-технического творчества детей и молодежи;

4) адресной поддержки молодых ученых и специалистов в области научной, научно-технической и инновационной деятельности, результаты работы которых обеспечивают социально-экономическое развитие России;

5) создания конкурентной среды, открытой для привлечения к работе в России ученых мирового класса и молодых талантливых исследователей, имеющих научные результаты высокого уровня, а также создания новых исследовательских коллективов, ориентированных в том числе на конвергенцию областей знаний и сфер деятельности;

6) разработки и реализации инновационных проектов по созданию при ведущих научных и образовательных организациях социальной инфраструктуры, необходимой для обеспечения целевой мобильности участников научно-технологического развития [5].

Наряду с развитием науки, технологий и образования приоритетными в плане обеспечения национальной безопасности Российской Федерации становятся стратегические цели развития системы здравоохранения и укрепления здоровья населения:

1) увеличение продолжительности жизни, снижение уровня инвалидности и смертности населения;

2) повышение доступности и качества медицинской помощи;

3) совершенствование системы контроля качества, эффективности и безопасности лекарственных средств;

4) соблюдение прав граждан в сфере охраны здоровья и обеспечение связанных с этими правами государственных гарантий [2].

В современных условиях реальные угрозы национальной безопасности Российской Федерации в области охраны здоровья населения являются эпидемии и пандемии (в частности, COVID-19), широкое распространение онкологических, сердечно-сосудистых, эндокринологических заболеваний, ВИЧ-инфекции, туберкулеза, наркомании, алкоголизма, высокий уровень производственного травматизма,

отравлений, необоснованная доступность для потребления психоактивных и психотропных веществ.

Стратегические приоритеты государственной политики в области охраны здоровья населения направлены на развитие системы профилактической медицины; предотвращения заболеваний, связанных с угрозой эпидемиологической и социальной безопасности; повышение доступности, эффективности и качества медицинских услуг, в том числе высокотехнологичной медицинской помощи; разработка и внедрение новых медицинских технологий и лекарственных средств; развитие отечественной фармацевтической отрасли и др.

Среди приоритетов национальной безопасности Российской Федерации исключительную значимость приобретают цели в области развития культуры:

1) сохранение и приумножение традиционных российских духовно-нравственных ценностей как основы российского общества, воспитание детей и молодежи в духе гражданственности;

2) сохранение и развитие общероссийской идентичности народов Российской Федерации, единого культурного пространства страны;

3) повышение роли России в мировом гуманитарном и культурном пространстве [2].

Достижение стратегических целей национальной безопасности в области культуры должно обеспечиваться посредством эффективной культурной и национальной политики, государственной политики в области образования, молодежной политики [6-9]. Основой для реализации данных направлений государственной политики признается исторически сложившаяся система духовно-нравственных и культурно-исторических ценностей многонационального народа России. Среди традиционных российских духовно-нравственных ценностей выделяются «приоритет духовного над материальным, защита человеческой жизни, прав и свобод человека, семья, созидательный труд, служение Отечеству, нормы морали и нравственности, гуманизм, милосердие, справедливость, взаимопомощь, коллективизм, историческое единство народов России, преемственность истории нашей Родины» [2].

Со стороны государства и общества требуются значительные усилия по противостоянию современным угрозам национальной безопасности в области культуры. Особую опасность представляют тенденции, направленные на размывание традиционных духовно-нравственных ценностей и ослабление единства многонационального народа России, пропаганду вседозволенности и насилия, расовой, национальной и религиозной нетерпимости, принижение роли и влияния русской культуры и русского языка в мировой культуре, фальсификацию российской и мировой истории. Требуются комплексные меры со стороны государства и общества по обеспечению культурного суверенитета Российской Федерации, мощному противостоянию внешней идейно-ценностной экспансии и деструктивному информационно-психологическому воздействию, развитию социальной и культурной инфраструктуры, созданию условий для организации культурного досуга, стимулирования творческого развития и культурно-просветительской деятельности населения, развития культурного потенциала России.

Стратегические приоритеты экономической и социальной направленности по обеспечению национальной безопасности дополняются комплексом стратегических целей в области *экологии живых систем и рационального природопользования* [10-11]. Крайне важно подчеркнуть стратегические цели в области экологической безопасности Российской Федерации:

1) сохранение и восстановление природных систем, обеспечение качества окружающей среды, необходимого для жизни человека и устойчивого развития экономики;

2) ликвидация экологического ущерба от хозяйственной деятельности в условиях возрастающей экономической активности и глобальных изменений климата [2].

Современная экологическая ситуация требует реализации высокоэффективной государственной политики, направленной на защиту и воспроизводство природно-экологического потенциала России, совершенствования системы государственного контроля за состоянием окружающей среды и соблюдением экологических нормативов хозяйствующих субъектов, повышение уровня экологического образования и экологической культуры населения страны.

В целях обеспечения экологической безопасности и организации рационального природопользования предусматриваются следующие направления деятельности:

1) стимулирование внедрения инновационных технологий и развития экологически безопасных производств;

2) развитие индустрии утилизации и вторичного использования отходов производства и потребления;

3) создание соответствующих современным экологическим стандартам полигонов для размещения, утилизации и переработки твердых отходов производства и потребления;

4) строительство и модернизация очистных сооружений, внедрение технологий по снижению объема выбросов вредных веществ и сточных вод;

5) повышение технического потенциала и оснащенности сил, участвующих в мероприятиях по предотвращению и ликвидации негативных экологических последствий техногенных катастроф и иных чрезвычайных ситуаций;

6) ликвидация последствий антропогенного воздействия на окружающую среду, а также реабилитация территорий и акваторий, загрязненных в результате такого воздействия, в том числе при осуществлении военной деятельности;

7) минимизация ущерба, причиняемого окружающей среде при разведке и добыче полезных ископаемых, и рекультивацию нарушенных земель;

8) развитие системы государственного экологического контроля и надзора, государственного мониторинга окружающей среды, животного и растительного мира, земельных ресурсов, на осуществление контроля радиационно, химически и биологически опасных отходов, обеспечение соблюдения санитарно-эпидемиологических и санитарно-гигиенических стандартов в отношении питьевой воды, атмосферного воздуха и почв;

9) повышение требований экологических стандартов и создание системы экологических фондов;

10) развитие системы особо охраняемых природных территорий, в том числе морских, сохранение редких исчезающих видов растений и животных, уникальных природных ландшафтов и живых систем;

11) развитие международного сотрудничества в области охраны окружающей среды, в том числе в целях снижения экологических рисков на приграничных территориях Российской Федерации [2].

Стратегические приоритеты экономической, социальной и экологической направленности встраиваются в широкую совокупность целей устойчивого развития, объявленных Организацией Объединенных Наций. Под устойчивым понимается «развитие, соответствующее потребностям нынешнего поколения без ущерба для возможностей будущих поколений удовлетворять свои потребности». Сбалансированность устойчивого развития предполагает взаимозависимость экономических, социальных и экологических целей развития мирового сообщества

[12-13]. Согласно концептуальным документам ООН Концепция устойчивого развития характеризуется как главная концепция XXI века. Резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН закреплены 17 целей и 169 задач по рациональному и эффективному преобразованию современного мира на период 2016 – 2030 годов [14].

Цели и задачи ООН в области устойчивого развития носят комплексный и универсальный характер, имеют четкую социальную, экономическую и экологическую направленность и служат идеологическим ориентиром для разработки национальных стратегий и приоритетов, развития моделей устойчивого развития на глобальном, национальном, региональном, локальном и организационном уровнях.

Цели устойчивого развития ООН 2015 года имеют преемственность с Целями развития на пороге тысячелетия, принятых ООН в 2000 году на период до 2015 года. Из восьми целей, установленных ООН в 2000 году Российская Федерация адаптировала и актуализировала для себя следующие цели:

1. Сокращение бедности и ликвидация голода.
2. Обеспечение доступности образования.
3. Обеспечение гендерного равенства и улучшение положения женщин.
4. Снижение материнской смертности и смертности детей до 5 лет.
5. Борьба с ВИЧ/СПИДом, туберкулезом и другими заболеваниями.
6. Обеспечение экологической устойчивости.
7. Участие в глобальном сотрудничестве, отвечающее российским национальным интересам [15].

В современной ситуации адаптация целей устойчивого развития ООН к российским реалиям происходит на уровне нормативно-правового, программного, научно-методического, информационного, финансового обеспечения. Стратегические приоритеты социально-экономического развития Российской Федерации, цели в области национальной и экономической безопасности соответствуют целям устойчивого развития. При разработке и реализации документов стратегического планирования, государственных программ, плановых документов, в процессе принятия управленческих решений учитываются цели устойчивого развития. Среди них такие значимые документы, как Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденная Распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 года № 1662-р, Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 года № 207-р и другие.

Значительная роль в обеспечении актуальных экономических, социальных и экологических приоритетов, в целях осуществления «прорывного научно-технологического и социально-экономического развития Российской Федерации, увеличения численности населения страны, повышения уровня жизни граждан, создания комфортных условий для их проживания, а также условий и возможностей для самореализации и раскрытия таланта каждого человека», установленным на период до 2024 г., отводится национальным приоритетным проектам (программам) по следующим направлениям: демография, здравоохранение, образование, жилье и городская среда, экология, безопасные и качественные автомобильные дороги, производительность труда и поддержка занятости, наука, цифровая экономика, культура, малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы, международная кооперация и экспорт [16].

Однако пандемия COVID-19 негативным образом повлияла на современную социально-экономическую ситуацию. Как отметил Лю Чжэньмин, заместитель Генерального секретаря по экономическим и социальным вопросам ООН, «... Сейчас, по прошествии трети срока, отведенного на осуществление Повестки дня в области

устойчивого развития, очевидно, что мир отстает от графика достижения глобальных целей к 2030 году. До вспышки COVID-19 прогресс был неравномерным, и в большинстве областей требовались более активные действия. Пандемия резко затормозила деятельность по достижению многих целей устойчивого развития, а в некоторых случаях свела на нет результаты работы за несколько десятилетий» [17]. Со стороны органов государственной власти требуются значительные усилия для поддержания экономической стабильности, социального благополучия, национальной безопасности.

Достижение конкретных, осязаемых результатов реализации экономических, социальных и экологических целей устойчивого развития возможно на отраслевом и организационном уровне, в частности в сфере промышленного производства.

Стоит отметить, что цели и задачи промышленной политики Российской Федерации соответствуют экономическим, социальным и экологическим целям устойчивого развития отрасли и обеспечивают государственные и общественные интересы в области национальной и экономической безопасности.

В статье 4 Федерального закона РФ от 31 декабря 2014 года № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации» фиксируются следующие цели промышленной политики:

- 1) формирование высокотехнологичной, конкурентоспособной промышленности, обеспечивающей переход экономики государства от экспортно-сырьевого типа развития к инновационному типу развития;
- 2) обеспечение обороны страны и безопасности государства;
- 3) обеспечение занятости населения и повышения уровня жизни граждан Российской Федерации.
- 4) Задачами промышленной политики являются:
- 5) создание и развитие современной промышленной инфраструктуры, инфраструктуры поддержки деятельности в сфере промышленности, соответствующей целям и задачам, определенным документами стратегического планирования на федеральном уровне;
- 6) создание конкурентных условий осуществления деятельности в сфере промышленности по сравнению с условиями осуществления указанной деятельности на территориях иностранных государств;
- 7) стимулирование субъектов деятельности в сфере промышленности осуществлять внедрение результатов интеллектуальной деятельности и освоение производства инновационной промышленной продукции;
- 8) стимулирование субъектов деятельности в сфере промышленности рационально и эффективно использовать материальные, финансовые, трудовые и природные ресурсы, обеспечивать повышение производительности труда, внедрение импортозамещающих, ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий;
- 9) увеличение выпуска продукции с высокой долей добавленной стоимости и поддержка экспорта такой продукции;
- 10) поддержка технологического перевооружения субъектов деятельности в сфере промышленности, модернизация основных производственных фондов исходя из темпов, опережающих их старение;
- 11) снижение риска чрезвычайных ситуаций техногенного характера на объектах промышленной инфраструктуры;
- 12) обеспечение технологической независимости национальной экономики [18].

Одним из значимых направлений укрепления национальной и экономической безопасности Российской Федерации является государственная политика в области промышленной безопасности. Промышленная безопасность определяется как комплекс технических и организационных мер по обеспечению состояния защищенности

промышленных объектов, поддержанию стабильности технологических процессов, исключению (сведению к минимуму) опасности возникновения аварий или инцидентов, устранению воздействия опасных и вредных факторов производства на людей и окружающую среду, недопущению причинения вреда имуществу юридических и физических лиц, государственному и муниципальному имуществу.

Объективно промышленное производство является источником потенциальной опасности и угрозы. Соответственно, целями государственной политики в области промышленной безопасности является «предупреждение аварий и инцидентов на промышленных объектах, решение правовых, экономических и социальных задач, направленных на обеспечение роста промышленного производства, реализация конституционных прав граждан на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности, на благоприятную окружающую среду, и укрепление правопорядка в области промышленной безопасности» [19].

Приоритетными направлениями государственной политики в области промышленной безопасности, определяющими широкую совокупность соответствующих им задач, являются:

- 1) совершенствование нормативно-правового регулирования и государственного управления в области промышленной безопасности;
- 2) разработка и внедрение единых критериев оценки рисков аварий на промышленных объектах и категорирования таких объектов;
- 3) усиление защиты промышленных объектов от угроз техногенного и природного характера, а также от террористических угроз;
- 4) обеспечение комплексной защиты и противоаварийной устойчивости промышленных объектов и их инфраструктуры;
- 5) повышение эффективности федерального государственного контроля и надзора в области промышленной безопасности;
- 6) сокращение количества бесхозных промышленных объектов;
- 7) эффективное кадровое обеспечение деятельности в области промышленной безопасности;
- 8) развитие культуры промышленной безопасности, осознание личной ответственности за состояние промышленной безопасности и формирование нетерпимого отношения к нарушениям требований промышленной безопасности;
- 9) урегулирование вопросов в области промышленной безопасности на территориях (объектах), над которыми юрисдикция Российской Федерации в этой области не осуществляется;
- 10) развитие международного сотрудничества в области промышленной безопасности [19].

Со стороны органов государственной власти особое внимание уделяется исполнению требований промышленной безопасности, которые должны соответствовать нормам в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, санитарно-эпидемиологического благополучия населения, охраны окружающей среды, экологической безопасности, пожарной безопасности, охраны труда, строительства, а также обязательным требованиям, установленным в соответствии законодательством Российской Федерации о техническом регулировании (ст. 3.2. Федерального закона РФ от 21 июля 1997 года (ред. от 29 июля 2018 года) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов») [20].

Широкий комплекс целей и требований обеспечения промышленной безопасности дополняется системой охраны труда на промышленных предприятиях. Система промышленной безопасности и система охраны труда формируют *систему производственной безопасности* промышленных предприятий.

Среди целей и задач устойчивого развития фиксируется значимость содействия полной и производительной занятости и достойной работе для всех. В 2001 г. Генеральный директор Международной организации труда Хуан Сомавия (Juan Somavia) отмечал, что главной целью этой организации является содействие «созданию возможностей получить достойную и производительную работу в условиях свободы, равенства, социальной защищенности и соблюдения человеческого достоинства. Мы объединили все это понятием «достойная работа». Достойная работа – безопасная работа. А безопасная работа со своей стороны является положительным фактором повышения производительности и экономического роста» [21].

Конституция Российской Федерации является основным правовым документом, который закрепляет юридические нормы по защите прав и свобод человека и гражданина, в том числе в области обеспечения безопасности личности, общества, государства. Однако в условиях чрезвычайных ситуаций для обеспечения безопасности могут устанавливаться отдельные ограничения личных прав и свобод, с указанием срока их действия (статья 56 Конституции РФ). Согласно статье 71 Конституции РФ в ведении государства находятся вопросы установления основ федеральной политики в области государственного, экономического, экологического, социального, культурного и национального развития Российской Федерации. Широкий спектр задач по обеспечению экономической, социальной и экологической безопасности находится в совместном ведении Российской Федерации и ее субъектов (статья 72 Конституции РФ). Статья 41 Конституции РФ фиксирует ответственность должностных лиц за сокрытие фактов и обстоятельств, которые создают угрозу безопасности для жизни и здоровья людей. В Конституции подчеркивается обязанность граждан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам (статья 58 Конституции РФ). Статья 37 Конституции РФ устанавливает трудовые права и социальные гарантии человека, включая право каждого работника на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены [22].

Конституционные гарантии по обеспечению безопасности труда согласуются с международными нормами в сфере экономической и трудовой деятельности. Конвенция № 155 Международной организации труда «О безопасности и гигиене труда и производственной среде», принятая в г. Женеве 22.06.1981 году на 67-ой сессии Генеральной конференции МОТ, предусматривает необходимость национальной политики в области безопасности и гигиены труда и безопасной производственной среде. Целью национальной политики в области безопасности труда является предупреждение несчастных случаев и причинения вреда здоровью, которые могут возникнуть в процессе трудовой деятельности. Важно отметить, что термин «здоровье» в отношении труда означает «не только отсутствие болезни или недуга, он включает также влияющие на здоровье физические и психические элементы, которые имеют непосредственное отношение к безопасности и гигиене труда» [23]. Для гарантированного обеспечения согласованности национальной политики в области охраны труда и мероприятий по ее реализации формируются государственные основы системы управления охраной труда.

В соответствии с нормами международного права в Трудовом кодексе Российской Федерации устанавливаются основы государственной политики в области охраны труда. Статья 209 Трудового кодекса РФ фиксирует, что охрана труда – это «система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия» [24].

В статье 210 Трудового кодекса РФ определяется широкий спектр направлений государственной политики в области охраны труда, в том числе:

- 1) обеспечение приоритета сохранения жизни и здоровья работников;
- 2) нормативно-правовое регулирование в области охраны труда;
- 3) государственная экспертиза и оценка условий труда;
- 4) содействие общественному контролю за соблюдением прав и законных интересов работников в области охраны труда;
- 5) профилактика несчастных случаев и повреждения здоровья работников;
- 6) защита законных интересов работников, пострадавших от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, а также членов их семей на основе обязательного социального страхования работников от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- 7) установление гарантий и компенсаций за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;
- 8) координация деятельности в области охраны труда, охраны окружающей среды и других видов экономической и социальной деятельности;
- 9) распространение передового отечественного и зарубежного опыта работы по улучшению условий и охраны труда;
- 10) международное сотрудничество в области охраны труда;
- 11) установление порядка обеспечения работников средствами индивидуальной и коллективной защиты, а также санитарно-бытовыми помещениями и устройствами, лечебно-профилактическими средствами за счет средств работодателей и др. [24].

Соблюдение норм и требований охраны труда в процессе производственной деятельности обеспечиваются совокупностью стандартов в области безопасности труда [25].

Таким образом, изучив и проанализировав широкий спектр нормативно-правовых источников, можно заключить, что стратегические приоритеты производственной безопасности промышленных предприятий включают совокупность целей, направленных на обеспечение промышленной безопасности и соблюдение норм и требований в области охраны труда. Производственная безопасность промышленных предприятий является составной частью системы национальной и экономической безопасности Российской Федерации. Стратегические цели национальной и экономической безопасности неразрывно связаны с целями устойчивого развития и предусматривают комплекс задач политико-правового, социально-экономического и социокультурного характера, обеспечивающих интересы безопасности, благополучия и развития личности, общества, государства, мирового сообщества в целом [26-27].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 28.12.2010 г. № 390-ФЗ «О безопасности» / Собрание законодательства РФ, 03.01.2011. № 1, ст. 2.
2. Указ Президента РФ от 31.12.2015 г. № 683 «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации» / Собрание законодательства РФ, 04.01.2016, № 1 (часть II), ст. 212.
3. Указ Президента РФ от 13.05.2017. № 208 «О стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 г.» / Собрание законодательства РФ, 15.05.2017. ст. 2902.
4. Федеральный закон от 12 июля 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике». – URL : <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 16.12.2020).
5. Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» / Собрание законодательства РФ, 05.12.2016, №49, ст. 6887.
6. Указ Президента Российской Федерации от 24.12.2014 № 808 «Об утверждении Основ государственной культурной политики». – URL : <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 16.12.2020).
7. Указ Президента Российской Федерации от 19.12.2012 № 1666 (ред. от 06.12.2018) «О стратегии государственной национальной политики Российской Федерации на период до 2015 года» / Собрание законодательства РФ, 24.12.2012, № 52, ст. 7477.

8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.02.2016 № 326-р (ред. от 30.03.2018) «Об утверждении Стратегии государственной культурной политики на период до 2013 года» / Собрание законодательства РФ, 14.03.2016, № 11, ст. 1552.
9. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.05.2015 № 996-р «Об утверждении Стратегии развития воспитания в Российской Федерации на период до 2025 года». – URL : <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 16.12.2020).
10. Указ Президента РФ от 19.04.2017 № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года». – URL : <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 16.12.2020).
11. Распоряжение Правительства РФ от 18.12.2012 № 2423-р «Об утверждении Основ государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года». – URL : <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 16.12.2020).
12. ГОСТ Р ИСО 2121-2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента устойчивого развития. Требования и практическое руководство по менеджменту устойчивости событий. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 40 с.
13. ГОСТ Р 56548-2015/ISO/DIS/37101. Национальный стандарт Российской Федерации. Устойчивое развитие административно-территориальных образований. Системы менеджмента. Общие принципы и требования. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 30 с.
14. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. – ООН, Нью-Йорк, сентябрь 2015 г.
15. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2016 год. Цели устойчивого развития и Россия / под ред. С.Н. Бобылева, Л.М. Григорьева. – Москва : Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2016. – 298 с.
16. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» / Собрание законодательства РФ, 14.05.2018, № 20, ст. 2718.
17. Доклад о целях в области устойчивого развития за 2020 г. – URL : http://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Russian.pdf.
18. Федеральный закон РФ от 31 декабря 2014 г. № 488-ФЗ (ред. от 20.07.2020) «О промышленной политике в Российской Федерации». – URL: <http://www.pravo.gov.ru>, (дата обращения: 20.07.2020).
19. Указ Президента Российской Федерации от 6 мая 2018 г. № 198 «Об основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» // Собрание законодательства РФ, 14.05.2018. № 20, ст. 2815.
20. Федеральный закон РФ от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ (ред. от 29 июля 2018 г.) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» / Собрание законодательства РФ, 28.07.1997, № 30, ст. 3588.
21. Руководство по системам управления охраной труда. МОТ – СУОТ 2001 / ILO-OSH 2001. Женева: Международное бюро труда, 2003. – 32 с.
22. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020). – URL : <http://www.pravo.gov.ru>, 04.07.2020 (дата обращения: 16.12.2020).
23. Конвенция № 155 Международной организации труда «О безопасности и гигиене труда и производственной среде» (принята в г. Женеве 22.06.1981 г. на 67-ой сессии Генеральной конференции МОТ) / Собрание законодательства РФ, 10.12.2001, № 50, ст. 4652.
24. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 09.11.2020). – URL: <http://www.pravo.gov.ru>, 09.11.2020. (дата обращения: 16.12.2020).
25. ГОСТ 12.0.230-2007. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования (введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 10.07.2007 № 169-ст) (ред. от 31.10.2013). – Москва : Стандартинформ, 2016. – 20 с.
26. Лыскова, И.Е. Основные задачи формирования эффективных поведенческих моделей сотрудников в аспекте менеджмента качества человеческих ресурсов (на примере Госкорпорации «Росатом») / И.Е. Лыскова // Глобальная ядерная безопасность. – 2018, – № 4(29). – С. 109-117.
27. Лыскова, И.Е. Внедрение моделей устойчивого развития и бережливого производства в систему экологической и социальной безопасности современной организации (на примере Госкорпорации «Росатом») / И.Е. Лыскова // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 4(33), – С. 85-95.

REFERENCES

- [1] Federal'nyy zakon ot 28.12.2010 g. № 390-FZ «O bezopasnosti» [Federal Law of 28.12.2010 No. 390-FZ «On Security»]. Sobraniye zakonodatel'stva RF [Collected Legislation of the Russian Federation]. 03.01.2011. No. 1, st. 2 (in Russian).
- [2] Ukaz Prezidenta RF ot 31.12.2015 g. № 683 «O strategii natsional'noy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii» [Decree of the President of the Russian Federation of December 31, 2015 No. 683 «On the National Security Strategy of the Russian Federation»]. Sobraniye zakonodatel'stva RF [Collected Legislation of the Russian Federation]. January 4, 2016, No.1 (Part II), st. 212 (in Russian).
- [3] Ukaz Prezidenta RF ot 13.05.2017. № 208 «O strategii ekonomicheskoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 g» [Decree of the President of the Russian Federation of 05/13/2017. No. 208 «The Strategy of Economic Security of the Russian Federation for the Period up to 2030»]. Sobraniye zakonodatel'stva RF [Collected Legislation of the Russian Federation]. 15.05.2017, st. 2902 (in Russian).
- [4] Federal'nyy zakon ot 12 iyulya 1996 g. № 127-FZ «O nauke i gosudarstvennoy nauchno-tekhnicheskoy politike» [Federal Law of July 12, 1996 No. 127-FZ « Science and State Scientific and Technical Policy»]. URL: <http://www.pravo.gov.ru> – 16.12.2020 (in Russian).
- [5] Ukaz Prezidenta RF ot 1 dekabrya 2016 g. № 642 «O Strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii» [Decree of the President of the Russian Federation of December 1, 2016 No. 642 «On the Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation»]. Sobraniye zakonodatel'stva RF [Collected Legislation of the Russian Federation]. 05.12.2016, No. 49, st. 6887 (in Russian).
- [6] Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 24.12.2014 № 808 «Ob utverzhdenii Osnov gosudarstvennoy kul'turnoy politiki» [Decree of the President of the Russian Federation of December 24, 2014 No. 808 «On Approval of the Fundamentals of State Cultural Policy»]. URL: <http://www.pravo.gov.ru> – 16.12.2020 (in Russian).
- [7] Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 19.12.2012 № 1666 (red. ot 06.12.2018) «O strategii gosudarstvennoy natsional'noy politiki Rossiyskoy Federatsii na period do 2015 goda» [Decree of the President of the Russian Federation of December 19, 2012 No. 1666 (as amended on December 6, 2018) «The Strategy of the State National Policy of the Russian Federation for the Period up to 2015»]. Sobraniye zakonodatel'stva RF [Collected Legislation of the Russian Federation]. 245.12.2012. No.52, st. 7477 (in Russian).
- [8] Rasporyazheniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 29.02.2016 № 326-r (red. ot 30.03.2018) «Ob utverzhdenii Strategii gosudarstvennoy kul'turnoy politiki na period do 2013 goda» [Order of the Government of the Russian Federation dated February 29, 2016 No. 326-r (as amended on March 30, 2018) «Approval of the Strategy of the State Cultural Policy for the Period up to 2013»]. Sobraniye zakonodatel'stva RF [Collected Legislation of the Russian Federation]. 14.03.2016. No11, st. 1552 (in Russian).
- [9] Rasporyazheniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 29.05.2015 № 996-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya vospitaniya v Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda» [Order of the Government of the Russian Federation dated May 29, 2015 No. 996-r «Approval of the Strategy for the Development of Education in the Russian Federation for the Period up to 2025»]. URL: <http://www.pravo.gov.ru> – 16.12.2020 (in Russian).
- [10] Ukaz Prezidenta RF ot 19.04.2017 № 176 «O Strategii ekologicheskoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda» [Decree of the President of the Russian Federation of April 19, 2017 No. 176 «The Strategy of the Environmental Safety of the Russian Federation for the Period up to 2025»]. URL: <http://www.pravo.gov.ru> – 16.12.2020 (in Russian).
- [11] Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 18.12.2012 № 2423-r «Ob utverzhdenii Osnov gosudarstvennoy politiki v oblasti ekologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda» [Order of the Government of the Russian Federation of December 18, 2012 No. 2423-r «On Approval of the Fundamentals of State Policy in the Field of Environmental Development of the Russian Federation for the Period up to 2030»]. URL: <http://www.pravo.gov.ru> – 16.12.2020 (in Russian).
- [12] GOST R ISO 20121-2014. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Sistemy menedzhmenta ustoychivogo razvitiya. Trebovaniya i prakticheskoye rukovodstvo po menedzhmentu ustoychivosti sobyitiy [GOST R ISO 20121-2014. National Standard of the Russian Federation. Sustainable Development Management Systems. Requirements and Practical Guidance for Event Sustainability Management]. Moskva [Moscow]: Standartinform. 2015. 40 p. (in Russian).
- [13] GOST R 56548-2015/ISO/DIS/37101. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Ustoychivoye razvitiye administrativno-territorial'nykh obrazovaniy. Sistemy menedzhmenta. Obshchiye printsipy i trebovaniya [GOST R 56548-2015 / ISO / DIS / 37101 National Standard of the Russian

- Federation. Sustainable Development of Administrative-Territorial Entities. Management Systems. General Principles and Requirements]. Moskva [Moscow]: Standartinform. 2016. 30 p. (in Russian).
- [14] Preobrazovaniye nashego mira: Povestka dnya v oblasti ustoychivogo razvitiya na period do 2030 goda. OON, N'yu-York, sentyabr' 2015 g. [Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. – UN, New York, September 2015] (in Russian).
- [15] Doklad o chelovecheskom razvitii v Rossiyskoy Federatsii za 2016 god. Tseli ustoychivogo razvitiya i Rossiya [2016 Human Development Report of the Russian Federation. Sustainable Development Goals and Russia]. Pod red. S.N. Bobylova, L.M. Grigor'yeva [ed. S.N. Bobyleva, L.M. Grigoriev]. Moskva: Analiticheskiy tsentr pri Pravitel'stve Rossiyskoy Federatsii [Moscow: Analytical Center for the Government of the Russian Federation]. 2016. 298 p. (in Russian).
- [16] Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 07.05.2018 g. № 204 «O natsional'nykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2024 goda» [Decree of the President of the Russian Federation of 07.05.2018 No. 204 «National Goals and Strategic Objectives of the Development of the Russian Federation for the Period up to 2024»]. Sobraniye zakonodatel'stva RF [Collected Legislation of the Russian Federation, 14.05.2018, No.20, st. 2718]. 14.05.2018. No. 20, st. 2718 (in Russian).
- [17] Doklad o tselyakh v oblasti ustoychivogo razvitiya za 2020 g. [Sustainable Development Goals Report 2020]. URL: http://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Russian.pdf (in Russian).
- [18] Federal'nyy zakon RF ot 31 dekabrya 2014 g. № 488-FZ (red. ot 20.07.2020) «O promyshlennoy politike v Rossiyskoy Federatsii» [Federal Law of the Russian Federation of December 31, 2014 No. 488-FZ (as amended on July 20, 2020) «Industrial Policy in the Russian Federation»]. URL: <http://www.pravo.gov.ru> – 20.07.2020 (in Russian).
- [19] Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 6 maya 2018 g. № 198 «Ob osnovakh gosudarstvennoy politiki Rossiyskoy Federatsii v oblasti promyshlennoy bezopasnosti na period do 2025 goda i dal'neyshuyu perspektivu» [Decree of the President of the Russian Federation of May 6, 2018 No. 198 «The Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the Field of Industrial Safety for the Period up to 2025 and beyond»]. Sobraniye zakonodatel'stva RF [Collected Legislation of the Russian Federation]. 14.05.2018. No.20, st. 2815 (in Russian).
- [20] Federal'nyy zakon RF ot 21 iyulya 1997 g. № 116-FZ (red. ot 29 iyulya 2018 g.) «O promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'yektov» [Federal Law of the Russian Federation of July 21, 1997 No. 116-FZ (as amended on July 29, 2018) «Industrial Safety of Hazardous Production Facilities»]. Sobraniye zakonodatel'stva RF [Collected Legislation of the Russian Federation]. 28.07.1997. No.30, st. 3588 (in Russian).
- [21] Rukovodstvo po sistemam upravleniya okhranoy truda. MOT – SUOT 2001 / ILO-OSH 2001. Zheneva: Mezhdunarodnoye byuro truda [Guidelines for Occupational Safety and Health Management Systems. ILO – OSH 2001 / ILO-OSH 2001. Geneva: International Labor Office]. 2003. 32 p. (in Russian).
- [22] Konstitutsiya Rossiyskoy Federatsii (prinyata vsenarodnym golosovaniyem 12.12.1993 s izmeneniyami, odobrennymi v khode obshcherossiyskogo golosovaniya 01.07.2020) [The Constitution of the Russian Federation (adopted by popular vote on 12.12.1993 with amendments approved during the nationwide vote on 01.07.2020)]. URL: <http://www.pravo.gov.ru>, 04.07.2020 – 16.12.2020 (in Russian).
- [23] Konventsia № 155 Mezhdunarodnoy organizatsii truda «O bezopasnosti i gigiyene truda i proizvodstvennoy srede» (prinyata v g. Zheneve 22.06.1981 g. na 67-oy sessii General'noy konferentsii MOT) [Convention No. 155 of the International Labor Organization «Occupational Safety and Health and the Working Environment» (adopted in Geneva on June 22, 1981 at the 67th session of the ILO General Conference)]. Sobraniye zakonodatel'stva RF [Collection of legislation of the Russian Federation]. 10.12.2001. No.50, st. 4652 (in Russian).
- [24] Trudovoy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 30.12.2001 № 197-FZ (red. ot 09.11.2020) [Labor Code of the Russian Federation of December 30, 2001 No. 197-FZ (as amended on November 9, 2020)]. URL: <http://www.pravo.gov.ru>, 09.11.2020 – 16.12.2020 (in Russian).
- [25] GOST 12.0.230-2007. Mezhgosudarstvennyy standart. Sistema standartov bezopasnosti truda. Sistemy upravleniya okhranoy truda. Obshchiye trebovaniya (vvedon v deystviye Prikazom Rostekhregulirovaniya ot 10.07.2007 № 169-st) (red. ot 31.10.2013) [GOST 12.0.230-2007. Interstate Standard. Occupational Safety Standards System. Occupational Safety Management Systems. General Requirements (entered into force by the Order of Rostekhregulirovanie dated July 10, 2007 No. 169-st) (as amended on October 31, 2013)]. Moskva [Moscow]: Standartinform. 2016. 20 p. (in Russian).
- [26] Lyskova I.Ye. Osnovnyye zadachi formirovaniya effektivnykh povedencheskikh modeley sotrudnikov v aspekte menedzhmenta kachestva chelovecheskikh resursov (na primere Goskorporatsii «Rosatom») [The Main Tasks of the Formation of Effective Behavioral Models of

Employees in the Aspect of Quality Management of Human Resources (on the example of the State Corporation «Rosatom»)]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2018. №4(29). P. 109-117 (in Russian).

- [27] Lyskova, I.Ye. Vnedreniye modeley ustoychivogo razvitiya i berezhlivogo proizvodstva v sistemu ekologicheskoy i sotsial'noy bezopasnosti sovremennoy organizatsii (na primere Goskorporatsii «Rosatom») [Implementation of Models of Sustainable Development and Lean Production in the System of Environmental and Social Security of Modern Organization (on the example of the State Atomic Energy Corporation «Rosatom»)]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2019. №4(33). P. 85-95 (in Russian).

Strategic Objectives of Industrial Enterprises ' Production Safety in the Aspect of National and Economic Security Priorities of the Russian Federation

I.E. Lyskova

The Komi Republican academy of State Service and Administration, Kommunisticheskaya St, 11, Syktyvkar, Russia, 167000
ORCID ID: 0000-0003-2748-2794
WoS ResearcherID: T-1644-2018
e-mail: IrinaLyskova@mail.ru

Abstract – The article actualizes the political, legal, socio-economic and socio-cultural aspects of ensuring production safety of industrial enterprises. A general analysis of regulatory documents defining strategic goals and conceptual foundations for the formation and improvement of the system of production safety of industrial enterprises in the Russian Federation is proposed.

Keywords: national and economic security, sustainable development, industrial enterprises, production safety, industrial safety, labor protection.

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

УДК 338.24 : 351.862.6

**К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛАЕНС-КОНТРОЛЯ
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ
ЭКОНОМИЧЕСКОГО КРИЗИСА**

© 2021 М.В. Головки*, А.Н. Сетраков**, А.В. Анцибор***, С.П. Агапова***,
И.А. Ухалина***, Н.А. Ефименко***

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

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

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

В данной статье рассматриваются преимущества внедрения комплаенс-контроля на предприятиях. Для обоснования авторской позиции используются аналитические материалы авторитетных организаций в сфере комплаенса. Рассматривается опыт ГК «Росатом» разработки и реализации комплаенс-дисциплины. Приводятся показатели, свидетельствующие об эффективности системы комплаенс-контроля на предприятии. Обосновывается необходимость и эффективность использования инструментов цифровизации для осуществления комплаенс-контроля.

Ключевые слова: комплаенс-контроль, коррупционные схемы, госкорпорации, ГК «Росатом», цифровые технологии, инструменты цифровизации, атомная отрасль.

Поступила в редакцию 27.01.2021

После доработки 29.01.2021

Принята к публикации 08.02.2021

Преимущества современных тенденций цифровизации традиционно рассматриваются с точки зрения их положительного влияния на производительность труда, снижение издержек, создание новых рабочих мест и в целом на конкурентоспособность предприятий и территорий [1, 2]. В то же время все более очевидным становится, что повышение эффективности менеджмента также во многом зависит от того, насколько активно и, что важно, адекватно применяются информационные технологии.

Развивающийся экономический кризис, вызванный пандемией коронавируса, актуализирует проблему обеспечения комплаенс-дисциплины на предприятиях. Термин «комплаенс-контроль» прочно вошел в обиход управленцев не только в банковской сфере, но и других отраслях. Комплаенс-контроль дает возможность своевременно выявлять и предотвращать коррупционные и мошеннические схемы, используемые инсайдерами в целях максимизации личной выгоды, как правило, путем сговора с контрагентами и должностными лицами государственных и муниципальных органов власти. Помимо этого, комплаенс-контроль позволяет выявлять профессиональные ошибки работников компаний, что позволяет своевременно их корректировать и

устранять, изменять при необходимости систему автоматизированного учета операций, цифровые платформы, а также обучать (переобучать) работников и т.п. [3].

Использование качественных комплаенс-механизмов защиты интересов компаний позволяет повысить вероятность сохранения бизнеса и более легкого преодоления последствий кризисных явлений в экономике за счет оптимизации расходов в условиях распространения коронавируса (изучение возможностей отсрочки платежей, правильного оформления обоснований неисполнения контрактных обязательств и отнесения их к форс-мажорным обстоятельствам), надлежащей организации работы сотрудников компании в условиях обновленного законодательства, соблюдения прав защиты персональных данных в период исполнения специальных мер, направленных на защиту от распространения коронавирусной инфекции, проверки возможности применения мер государственной поддержки бизнеса и проч.

Современная ситуация дестабилизирует финансовую систему и систему здравоохранения и, к сожалению, создает дополнительные предпосылки для развития мошеннических схем, управленческих ошибок и преступной деятельности. Многие компании сегодня сталкиваются с проблемами в операционной деятельности, обусловленными перебоями в производственном и трудовом процессах, процессе движения денежных потоков, снижением материальной мотивации сотрудников и их увольнением и т.п. Помимо перечисленного, предприятия подвержены дополнительным проверкам со стороны контролирующих и правоохранительных органов, других стейкхолдеров (клиентов, акционеров), наряду с возрастающими расходами, связанными с необходимостью соблюдения скорректированного пандемией законодательства. Все это приводит к необходимости увеличения объема ресурсов, выделяемых на организацию и функционирования корпоративных комплаенс-программ. Бдительность и проактивность топ-менеджмента позволит своевременно предотвратить, выявить и исправить возникающие сложности, защитить от нарушений законодательства, финансовых хищений, коррупции.

В рамках первой линии защиты можно выделить такие приоритетные сферы как инновации, закупки, маркетинг, B2B/B2G, стартап-проекты, благотворительность. Здесь основными инструментами становятся комплаенс-контроль, due dilligence, мониторинг и тестирование. Во второй линии защиты в функционал комплаенс-менеджмента включаются операции по data-аналитике, надзору, расследованиям и внутреннему аудиту. Комплаенс-контроль дает возможность своевременно выявлять и предотвращать коррупционные и мошеннические схемы в указанных сферах, используемые инсайдерами в целях максимизации личной выгоды, как правило, путем сговора с контрагентами и должностными лицами государственных и муниципальных органов власти.

Согласно данным опроса, проведенного АО «КМПГ», приоритетными областями комплаенса, по мнению российских предприятий, являются следующие (рис. 1) [4].

В 2020 году «лидерство» антикоррупционного комплаенса среди приоритетных областей комплаенса осталось неизменным и составило 93% в 2019 г. по сравнению с 89% в 2018 году. Значительное число опрошенных отметило о возможности и необходимости применения иностранного антикоррупционного законодательства (Закон США о противодействии коррупции за рубежом (51%), Закон Великобритании о борьбе со взяточничеством (45%), Закон Франции «О прозрачности, борьбе с коррупцией и модернизации экономики» (12%)).

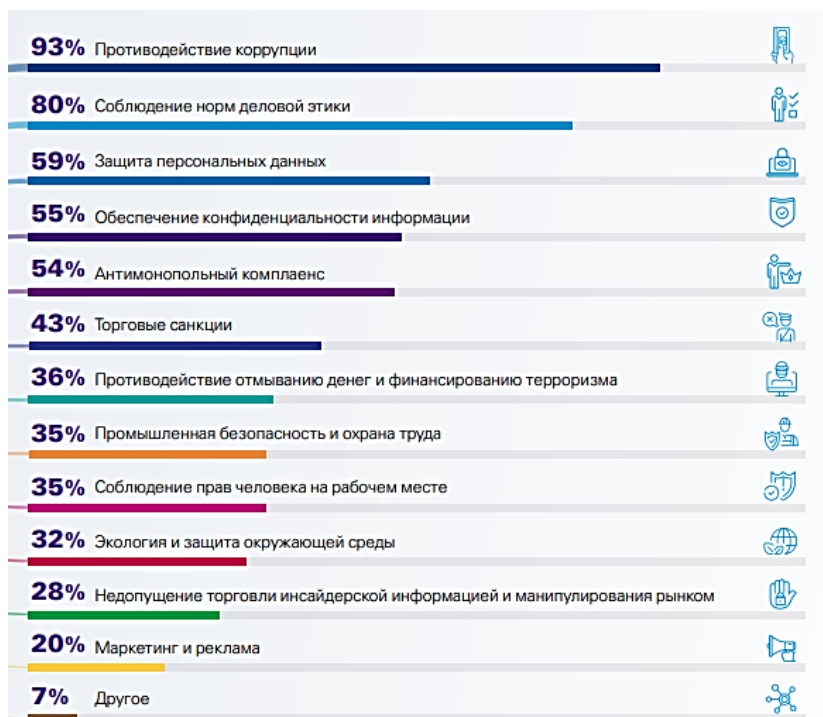


Рисунок 1 – Приоритетные области комплаенса по мнению российских предприятий [Compliance priority areas according to russian enterprises]

В таблице 1 [4] представлена продолжительность существования функции комплаенса на предприятиях различных отраслей. Так, у 82% опрошенных комплаенс функционирует более одного года, в том числе у 46% – от 3 до 10 лет, и у 24% – от года до трех лет. Доля респондентов, у которых функция комплаенса существует менее 1 года, выросла в два раза – с 7% в 2018 году до 14% в 2020 году. Нефтегазовая отрасль является индустрией, где комплаенс-функция начала формироваться раньше всех, а наиболее «молодой» отраслью в этом плане является сфера инноваций и технологий.

Таблица 1 – Функция комплаенса на российских предприятиях различных отраслей [Compliance function at Russian enterprises in various industries]

Отрасль	Доля респондентов, %	Менее 1 года	От 1 года до 3 лет	От 3 до 10 лет	Свыше 10 лет
Автомобильная	5	25	0	50	25
Инновации и технологии	11	50	12,5	25	0
Коммуникации, связь и телеком	12	0	33	67	0
Медиа, реклама	1	100	0	0	0
Металлургическая и горнодобывающая	7	0	40	20	20
Нефтегазовая	8	17	17	33	33
Оказание услуг	1	0	100	0	0
Производство потребительских товаров	5	0	0	75	25
Розничная торговля	10	0	0	67	33
Строительная	5	0	25	75	0
Транспортная	4	33	34	0	33
Фармацевтическая	12	0	33	67	0
Химическая	4	0	33	33	0
Энергетика	7	20	20	60	0

Пример работы эффективной системы комплаенс-контроля демонстрируют также предприятия сферы энергетики. В частности, Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» (далее – ГК «Росатом»). Стратегическое значение для развития национальной экономики, а также активная внешнеэкономическая деятельность

обусловили необходимость внедрения комплаенс-контроля в деятельность корпорации на основе бенчмаркинга ведущих зарубежных компаний и принципах менеджмента качества, предусмотренных стандартами ИСО 9001. Функционирование системы комплаенс-контроля позволяет системно влиять на эффективность компаний, особенно государственных корпораций. Так, при нарушении антимонопольного законодательства корпорация, уплачивает штраф из средств бюджета, так как именно государство является основным акционером. Несмотря на то, что комплаенс не является обязательной функцией, для менеджмента госкорпораций рекомендуется устанавливать специальные КРІ, которые мотивировали бы минимизацию правонарушений, например, в сфере антимонопольного регулирования, законодательства о торгах, со стороны госкорпораций. Помимо жесткого контроля со стороны основного акционера (государства), это позволит максимально эффективно бороться с потерями ресурсов, а также обеспечивать не только экономическую, но и экологическую безопасность функционирования предприятий, входящих в контур госкорпораций. Так, когда Федеральная антимонопольная служба РФ (далее – ФАС) расследует дела в сфере антимонопольного законодательства, зачастую выявляются коррупционные схемы, связанные с нарушениями госзаказчика на торгах (Федеральный закон «О защите конкуренции» от 26 июля 2006 г. № 135-ФЗ, это сговор между органом власти и хозяйствующим субъектом). Нередки случаи сговора государственных заказчиков с потенциальными поставщиками о цене торгов с целью выигрыша определенного участника. Это относится к коррупционным деяниям, в свою очередь приводящим к необоснованным расходам федерального бюджета. Так, в частности, Костромским УФАС России выявлено подобное правонарушение АО «Концерн Росэнергоатом» с привлечением к административной ответственности с уплатой штрафа порядка 1 млн. руб. [5] Нижегородским УФАС России признало АО «Инжиниринговую компанию «Атомстройэкспорт»» нарушившим федеральный закон о закупках и выдало предписание об отмене протоколов и пересмотре итогов конкурса с учетом выданных замечаний [6].

Топ-менеджмент ГК «Росатом» проводит политику интеграции комплаенса во все сферы деятельности предприятий. Например, в контексте выполнения требований конкурентного законодательства, осуществляется работа по контролю закупочной деятельности всех предприятий контура госкорпорации на основе механизма внутреннего рассмотрения споров. В результате происходит снижение жалоб в ФАС за счет своевременного выявления потенциальных рисков и нарушений и их ликвидации.

Деятельность ГК «Росатом» в указанной сфере осуществляется в соответствии с Планом противодействия коррупции государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» на 2018- 2020 гг., разработанным в соответствии с Федеральным законом от 25.12.2008 г. № 273-ФЗ «О противодействии коррупции» и другими нормативно-правовыми актами федерального уровня.

Эффективность мероприятий, реализуемых в рамках комплаенс-контроля подтверждается, например, следующим [7]:

- лидирующая позиция ГК «Росатом» (1-е место) в рейтинге главных администраторов средств федерального бюджета Федерального казначейства России;
- в 2019 году по результатам проверок государственными органами России отсутствовали существенные нарушения;
- в 2019 году были привлечены к дисциплинарной ответственности 586 сотрудников ГК «Росатом», уволены 11 топ-менеджеров;
- предотвращен материальный ущерб на сумму более 13 млрд руб.;
- к дисциплинарной и материальной ответственности привлечено 1 200 должностных лиц;

– в правоохранительные органы направлено 320 материалов о выявленных признаках правонарушений, по которым возбуждено свыше 140 уголовных дел.

Эффективность самого комплаенса можно оценить по следующим критериям:

– периодически подводятся итоги самостоятельной оценки рисков, выполняемой специалистом по комплаенсу в организации;

– осуществляется тестирование сотрудников по итогам обучения этическо-экономическим принципам работы в рамках существующей комплаенс-программы;

– формируются протоколы проверок деятельности организации специалистами по внутреннему контролю и аудиту;

– внедрены в практику личные сообщения сотрудников об обнаруженных нарушениях комплаенс-дисциплины и обеспечена соответствующая защита их прав и свобод;

– обеспечена высокая скорость реакции на обращения, поступающие извне;

– соответствие деятельности организации действующим международным стандартам в сфере комплаенса и противодействия коррупции;

– отчеты о проверках контрольно-надзорных органов без существенных замечаний;

– разработаны внутриорганизационные алгоритмы оценки эффективности менеджеров и линейных сотрудников предприятия [8, 9].

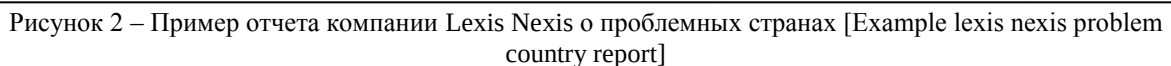
В условиях, когда современные организации осваивают цифровые технологии и уровень автоматизации постоянно повышается, нормативно-правовая база динамично изменяется, необходимо опираться на преимущества новейших цифровых технологий, в решение проблем комплаенса. Это даст возможность обнаруживать риски коррупции в ходе транзакций посредством выявления тенденций, закономерностей, связей и отклоняющихся значений.

В этих целях рекомендуется использование специализированных онлайн-сервисов, позволяющих аккумулировать практически все сведения о компании, размещенные как в специфических базах данных (например, финансовая отчетность, недобросовестных закупщиков, руководители, попавшие в реестр лиц, уволенных в связи с утратой доверия), а также в проводить мониторинг СМИ на негативные новости, получать полную информацию о компаниях, находить связи, биографические данные физических лиц, юридическую историю (по архивам судебных разбирательств), проверять по спискам санкций и политически значимых лиц (PEP Desk Database, World Compliance). Автоматизированным информационным системам в механизме комплаенс-контроля отводится значительное место [10]. Так, в марте 2020 года ФАТФ опубликовала доклад Digital Identity, посвященный проблеме использования электронных идентификационных систем национальными регуляторами и предприятиями, позволяющими исследовать благонадежность контрагентов по методике, рекомендованной ФАТФ [11].

Особое внимание корпоративному менеджменту следует уделять проверке потенциальных контрагентов – due dilligence. В этих целях рекомендуется использование специализированных онлайн-сервисов, позволяющих аккумулировать практически все сведения о компании, размещенные как в специфических базах данных (например, финансовая отчетность, недобросовестных закупщиков, руководители, попавшие в реестр лиц, уволенных в связи с утратой доверия), а также в проводить мониторинг СМИ на негативные новости, получать полную информацию о компаниях, находить связи, биографические данные физических лиц, юридическую историю (по архивам судебных разбирательств), проверять по спискам санкций и политически значимых лиц (PEP Desk Database, World Compliance).

На сегодняшний день сформировано множество списков санкций международного уровня:

Особого внимания заслуживает анализ аффилированности потенциальных контрагентов с оффшорными компаниями или непосредственное владение ими, проводимый авторитетными компаниями, например, Lexis Nexis (рис. 2) [12].



ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, № 1(38) 2021

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад Всемирного Банка о мировом развитии «Цифровые дивиденды» [Электронный ресурс]. – URL: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/23347/210671RuSum.pdf> (дата обращения: 12.10.2020).
2. Стратегия развития информационного общества в России на 2017-2030 годы, утвержденная Указом Президента РФ от 09.05.2017 г. № 203 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (дата обращения: 12.10.2020)
3. *Абрамов, В.Ю.* Руководство по применению комплаенс-контроля в различных сферах хозяйственной деятельности : практическое пособие / В.Ю. Абрамов. – Москва: Юстицинформ, 2020. – 172 с.
4. Комплаенс в СНГ и ближнем зарубежье: исследование КПМГ – КПМГ в России : Загл. с экрана [Электронный ресурс]. – URL: <https://home.kpmg/ru/ru/home/insights/2020/05/compliance-in-cis-survey.html> (дата обращения: 15.01.2021).
5. ФАС оштрафовала Росэнергоатом почти на 1 млн. руб. за создание условий для победы на торгах по продаже имущества Костромской АЭС : Загл. с экрана [Электронный ресурс]. – URL: <https://fas.gov.ru/publications/22315/> (дата обращения: 15.01.2021).
6. ФАС предписала Атомстройэкспорту пересмотреть итоги конкурса на поставку гермоклапанов для Курской АЭС : Загл. с экрана [Электронный ресурс]. – URL: <https://fas.gov.ru/publications/21898> (дата обращения: 15.01.2021).
7. Официальный сайт ГК «Росатом». Публичная отчетность за 2019 год [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosatom.ru/upload/iblock/033/03395b2a9751b4fcd385d746a2f9df15.pdf> – (дата обращения: 12.10.2020)
8. *Golovko M.V., Rudenko V.A., Krivoshlykov N.I.* Influence of institutional transformations on the choice of mechanisms for ensuring economic development and security of nuclear power engineering enterprises. *Espacios*. 2018. Т. 39. № 31.
9. *Plotnikov, V., Golovko, M., Fedotova, G., Rukinov, M.* (2020), «Ensuring national economic security through institutional regulation of the shadow economy», in *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 87. P.342-351.
10. Стратегия развития информационного общества в России на 2017-2030 годы, утвержденная Указом Президента РФ от 09.05.2017 г. № 203 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (дата обращения: 12.10.2020).
11. Guidance on Digital Identity. FATF, Paris, 2020 [Электронный ресурс]. – URL: www.fatf-gafi.org/publications/documents/digital-identity-guidance.html (дата обращения: 21.12.2020).
12. Официальный сайт компании «Lexis Nexis» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lexisnexis.ru/> (дата обращения: 12.10.2020).

REFERENCES

- [1] *Doklad Vsemirnogo Banka o mirovom razvitiy «Tsifrovyye dividendy»* [World Bank World Development Report Digital Dividends]. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/23347/210671RuSum.pdf> – 12.10.2020 (in Russian).
- [2] *Strategiya razvitiya informatsionnogo obshchestva v Rossii na 2017-2030 gody, utverzhennaya Ukazom Prezidenta RF ot 09.05.2017 g. № 203* [Strategy for the development of the information society in Russia for 2017-2030, approved by the Decree of the President of the Russian Federation of 09.05.2017 No. 203]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> – 12.10.2020 (in Russian).
- [3] *Abramov V.Yu. Rukovodstvo po primeneniyu komplayens-kontrolya v razlichnykh sferakh khozyaystvennoy deyatel'nosti: prakticheskoye posobiye* [Guidelines for the Use of Compliance Control in Various Spheres of Economic Activity: a Practical Guide]. Moskva: Yustitsinform [Moscow: Justicinform]. 2020. 172 p. (in Russian).
- [4] *Komplayens v SNG i blizhnem zarubezh'ye: issledovaniye KPMG – KPMG v Rossii.* – [Compliance in the CIS and Neighboring Countries: Study by KPMG – KPMG in Russia]. URL: <https://home.kpmg/ru/ru/home/insights/2020/05/compliance-in-cis-survey.html>. – 15.01.2021 (in Russian).
- [5] *FAS oshtrafovala Rosenergoatom pochni na 1 mln. rub. za sozdaniye usloviy dlya pobedy na torgakh po prodazhe imushchestva Kostromskoy AES.* [FAS Fined Rosenergoatom Almost 1 Million Rubles. for Creating Conditions for Winning the Auction for the Sale of Property of the Kostroma NPP]. URL: <https://fas.gov.ru/publications/22315/> – 15.01.2021 (in Russian).
- [6] *FAS predpisala Atomstroyeksportu peresmotret' itogi konkursa na postavku germoklapanov dlya Kurskoy AES* [FAS Ordered Atomstroyexport to Revise the Results of the Tender for the Supply of Pressurized Valves for the Kursk NPP]. URL: <https://fas.gov.ru/publications/21898> – 15.01.2021 (in Russian).

- [7] Ofitsial'nyy sayt GK «Rosatom». Publichnaya otchetnost' za 2019 god [Official Site of the State Corporation Rosatom. Public reporting for 2019]. URL: <https://rosatom.ru/upload/iblock/033/03395b2a9751b4fcd385d746a2f9df15.pdf> – 12.10.2020 (in Russian).
- [8] Golovko M.V., Rudenko V.A., Krivoslyukov N.I. Influence of Institutional Transformations on the Choice of Mechanisms for Ensuring Economic Development and Security of Nuclear Power Engineering Enterprises. *Espacios*. 2018. T. 39. № 31 (in English).
- [9] Plotnikov, V., Golovko, M., Fedotova, G., Rukinov, M. (2020), «Ensuring National Economic Security through Institutional Regulation of the Shadow Economy», in *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 87. P.342-351 (in English).
- [10] Strategiya razvitiya informatsionnogo obshchestva v Rossii na 2017-2030 gody, utverzhennaya Ukazom Prezidenta RF ot 09.05.2017 g. № 203 [Strategy for the Development of the Information Society in Russia for 2017-2030, approved by the Decree of the President of the Russian Federation of 09.05.2017 No. 203]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> – 12.10.2020 (in Russian).
- [11] Guidance on Digital Identity. FATF, Paris, 2020. URL: www.fatf-gafi.org/publications/documents/digital-identity-guidance.html – 21.12.2020 (in English).
- [12] Ofitsial'nyy sayt kompanii «Lexis Nexis» [Official website of the company «Lexis Nexis»]. URL: <https://www.lexisnexis.ru/> – 12.10.2020 (in Russian).

Issue of Compliance Control Efficiency at Nuclear Industry Enterprises in Economic Crisis Conditions

M.V. Golovko^{*1}, A.N. Setrakov^{2}, A.V. Antsibor^{***3}, S.P. Agapova^{***4},
I.A. Ukhalina^{***5}, N.A. Efimenko^{***6}**

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

*** 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*

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

¹ORCID iD: 0000-0002-4835-9800

WoS Researcher ID: J-2461-2016

e-mail: MVGolovko@mephi.ru

²ORCID iD: 0000-0001-5599-440X

WoS Researcher ID: AAP-73782020

e-mail: aleksandr-maior@inbox.ru

³ORCID iD: 0000-0002-1192-4554

WoS Researcher ID: K-6051-2018

e-mail: AVAntsibor@mephi.ru

⁴ORCID iD: 0000-0002-8484-2912

WoS Researcher ID: E-4842-2017

e-mail: svetlana-1164@mail.ru

⁵ORCID iD: 0000-0002-1928-7510

WoS Researcher ID: E-3153-2017

e-mail: uhalina@yandex.ru

⁶ORCID iD: 0000-0001-8113-6759

WoS Researcher ID: E-3439-2017

e-mail: NAEfimenko@mephi.ru

Abstract – This article discusses the benefits of implementing compliance control in enterprises. Analytical materials of authoritative organizations in the field of compliance are used to substantiate the author's position. Experience is considered Rosatom State Corporation development and implementation of compliance discipline. Indicators are given that testify to the effectiveness of the compliance control system at the enterprise. The necessity and efficiency of using digitalization tools for compliance control is substantiated.

Keywords: compliance control, corruption schemes, state corporations, Rosatom State Corporation, digital technologies, digitalization tools, nuclear industry.

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

УДК 378.147:811.111

**ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКОВ В
УСЛОВИЯХ СМЕШАННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ
МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ГК «РОСАТОМ»**

© 2021 Л.В. Захарова, Н.В. Бунамес, И.В. Зарочинцева, Ю.А. Лупиногина,
М.А. Мелких

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

В статье рассматриваются проблемы самостоятельного изучения иностранного языка в техническом вузе при подготовке молодых специалистов для ГК «Росатом» в условиях смешанного обучения, основные принципы и методы обучения с использованием электронных систем, анализируются типичные ошибки, затрагиваются вопросы текущего и итогового контроля.

Ключевые слова: самостоятельная работа, смешанное обучение, электронная образовательная платформа, самосознание, рефлексивность, самодисциплина, личная ответственность.

New approaches in education significantly change the students' role in the educational process: along with the transfer of knowledge from the teacher to the student, it is necessary to include the students themselves in active learning activities. One of the strategic directions of the Volgodonsk Engineering Technical Institute MEPhI (VETI NRNU MEPhI) that is the training of professional personnel, who can work effectively in a changing environment, is being actively implemented starting from the first year of the training course. In accordance with the project «Development of the National Research Nuclear University for 2018-2022» 50% of VETI NRNU MEPhI graduates should be fluent in a foreign language at the Intermediate level by 2022. This indicator is determined by the Development Program Passport, and the same Passport determines a list of specialties where the graduates must show the Intermediate level of language proficiency.

The students' independent work plays an important part in solving this problem. The ability to carry out independent work is an important quality for specialists in the nuclear industry, especially in the years of intensive development of the latest technologies and computer equipment, which affect all spheres of life during the information society formation. The very property of information presupposes its constant renewal, and it forces students to keep up with the understanding and application of this information in their professional activities and requires to master new knowledge and skills independently.

The Foreign Languages Department of VETI MEPhI pays special attention to the provision of educational programs with opportunities for distance or blended learning. The use of a blended learning model allows to arouse the interest of students, increase their academic performance [1]. Such a model takes into account the changing lifestyle of society, which is very important in the conditions of the modern rhythm of life, especially for part-time students, where flexible training schedules are most in demand. All further and independent work, in particular, for first-year students of the full-time and part-time form of

study, largely depends on the correct organization, planning and conducting of overview lectures. Given that the initial acquaintance with the discipline takes place at the overview lectures, the lecturer needs to reveal the main content of the subject, show its role in the future specialty. Students acquire subsequent knowledge on their own in the intercessional period; therefore, the overview classes should pursue the goal of showing the peculiarities of independent study of the subject. The main attention is paid to the most rational techniques and methods of independent study of a foreign language, taking into account its peculiarities: the sequence of studying certain topics, making notes, mastering vocabulary, working with reference literature, dictionaries, etc.

Within the framework of the educational standard, the number of classroom hours has increased, the independent work format has changed, and the socio-cultural context of learning a foreign language has significantly changed for VETI students lately. The structure of the «Foreign language» discipline has changed both in terms of increasing the number of hours (almost four times), and in terms of content. In the first and second year students master the Pre-Intermediate level. The main textbook for teaching a foreign language is *Navigate*, Oxford University Press. The textbook contains new interesting texts, modern global topics, and is equipped with an excellent electronic platform with video and audio activities, tests, additional materials. But in connection with the requirements of modern trends and the digitalization of the educational process, the staff of the department has to create tutorials based on the textbook, where they insert hyperlinks to services, platforms, and sites for additional, independent work of students to master a foreign language. This filling with the Internet resources allows students to refine the material that they need independently. Audio and video files are embedded into the electronic version of the textbook, as well as links to homework are given.

Students study «Fundamentals of Professional Communication in a Foreign Language» and «Technical Foreign Language» in the third, fourth and fifth years. *Navigate Intermediate* is used for general English and one of the textbooks for special purposes is added depending on the students' specialty, e.g. *Engineering* by Charles Lloyd, James A. Frazier, *English for the Energy Industry* by Simon Campbell, or *Nuclear English* by Serge Gorin and others [2].

The organization of independent work in the framework of blended and distance learning is carried out using the LMS Moodle (Learning Management System) that allows to create a networked environment for virtual e-learning, which includes the means of preparing and delivering the educational content, as well as the means of managing the educational process. The organization of the work at the Moodle platform by the Foreign Languages Department is described in the article «Language Competence Formation Among VETI NRNU MEPhI Students in the View of State Corporation «Rosatom» Export-Oriented Policy» in detail [2]. The main attention is focused only on the independent work of full-time and part-time students in this article.

Understanding perfectly well that the educational technologies in the study of a foreign language cannot replace the help of a lecturer, the Foreign Languages Department has organized a connection between the lecturer and students in the form of consultations [3]. This is due to the fact that in the process of independent study of the discipline, performing tests, many students encounter various kinds of difficulties; they are to know what forms of assistance they can receive during the intercessional period at the university. Personal tuition as traditional effective forms of student assistance is conducted on the most complex issues or topics that are not fully described in textbooks or presented on educational platforms. The lecturer does not work with the student «in general», but with a specific personality, with their strengths and weaknesses, individual abilities and inclinations, performing the main task – to teach students to learn, to see and develop the best qualities of a student as a future specialist. To teach a student to acquire knowledge independently, the lecturer must develop their skills of independent learning this means that the work is performed without the direct participation

of the lecturer, but on their instructions, at a specially provided time for this. Let's consider the typical mistakes that arise in the process of independent work of part-time students.

Observing the process of training students at non-linguistic universities during practical (classroom) classes, tests or exams it is revealed that when reading an unfamiliar text, students immediately take up the dictionary. They do not even look through the text, they do not get acquainted with the content of the text, do not find out what the text is about, but immediately begin to search for unfamiliar words. From the students' notes while working on the text, which we reviewed, we can conclude that they do not know how to work with the dictionary; do not try to understand unfamiliar words based on context or word-forming characteristics. They do not recognize a word if it appears in a modified form (in the plural, in variable forms of tenses, in a comparative degree, etc.). Therefore, the translation of the text is sometimes completely meaningless. The same situation is observed when working on a text without a dictionary. After reading the text, many students cannot highlight the main idea and make generalizing questions for the text; they do not know how to make a brief retelling, to evaluate what has been read.

Reports on a given topic are often inconsistent, meaningless, and illogical. Students pronounce what seems easier to them, using memorized phrases or phrases in which they are not afraid to make mistakes. They usually don't care about the content of the statement. Such cases indicate a lack of skills for independent work. The development of such skills requires purposeful, internally motivated, structured by the students themselves activities performed and corrected by them in terms of process and result in the totality of fulfilled actions. Its implementation requires a sufficiently high level of self-awareness, reflectivity, self-discipline, and personal responsibility. Independent work should not be a goal in itself, it can be an effective means of teaching, a means of forming the students' activity [4].

In the methodology of teaching a foreign language various types of independent work are used; they help students acquire knowledge, skills and abilities independently. The task of the lecturer is to teach them the methods of self-selection of work techniques that ensure the earliest possible language acquisition [5]. In our opinion, the development of the students' independent work skill should be carried out in the following directions: teaching a conscious attitude towards classes, towards learning in general; mastering new material; consolidation and refinement of knowledge; developing the ability to apply knowledge in practice; the formation of a creative character, the ability to apply knowledge in a complicated situation. Each of the listed groups may include several types of independent work, since the solution of the same didactic task can be carried out in different ways. These groups are closely related to each other. This connection is due to the fact that the same types of work can be used to solve various didactic problems. The learner must know what to do, in what sequence, what the final result is to be, and how this task can enrich his experience. He must accept the task, otherwise the proper effect is impossible. Awareness of the goal of a task (exercise) is nothing more than the application of the principle of consciousness in the organization of independent work.

The lecturer needs to equip trainees with rational methods of educational activity, based on the nature of the activity itself and the capabilities of the trainees, their experience in a foreign language. It is necessary to be able to see supports in the material of activities, which facilitate overcoming difficulties in the course of independent work; in this case, it is equally important to use ready-made (objective) samples and create your own (subjective) ones [6].

The lecturers of the department use various organizational forms of independent work: work in pairs, individual work, in small groups, etc. These forms are designed to create and develop organizational, informational, cognitive and communicative skills of students. The individual form of independent work can be manifested in two versions: a. all students perform one common task individually, this is effective in consolidating new material. The lecturer, controlling the assignment, can get an objective picture of understanding new

material and then adjust further stages; b. students perform different tasks, depending on the level of mastery. When difficulties arise, the lecturer provides assistance in accordance with the principle of individualization in the learning process.

Working in pairs and small groups is effective in developing speaking skills, it has both pronounced positive aspects and disadvantages: when working in pairs and small groups, all students are involved, they have the opportunity to speak out, listen to others. Small groups reduce the so-called «speaking complex», which often occurs in groups with different levels of language proficiency; mutual assistance of trainees is clearly manifested.

One of the disadvantages of this type of work is the lack of lecturer's control while doing the tasks, especially when it comes to such a form of speech activity as speaking. To make these forms effective and fruitful, trainees must have certain skills of independent work. For example, when working with a text, a student must have such skills: see supports in the text, ignore unfamiliar words if they do not affect general understanding, be able to highlight the main idea, draw conclusions from what has been read, etc [7]. An important role is played by the ability to use reference literature, in particular dictionaries. Often, learners cannot quickly find the necessary word in the text, since they cannot select the dictionary form of a word, they cannot choose the proper meaning from several data. Teaching to work with a dictionary and other reference literature is the task of the lecturer.

Mastering word formation skills also plays an important part in successful independent work. It should be noted that, for example, the German language is replete with complex words, in contrast to the Russian language. Students often have problems translating complex nouns, especially when translating special texts. For example, the complex noun *das Kernkraftwerk* (German) – a nuclear power plant, creates difficulties in translation, since this noun consists of 3 separate words and skills are required for correct translation. It should be noted that not all complex words have equivalents in Russian; they can be translated by phrases, and sometimes even sentences.

Self-control plays an important role in the development of independent work skills, since this work involves minimal participation of the lecturer in the educational process. When learning a foreign language, mistakes are inevitable. There are many ways to correct mistakes: the lecturer themselves points out the mistake, gives the opportunity to correct the mistake to other students, suggests the correct option for self-control, etc [8]. But if we are talking about independent work, then it is necessary to provide trainees with the opportunity to correct their mistakes themselves, in this case the mistake can become a developing factor in the learning process, without slowing it down. If the learner recognizes the mistakes of other students, this means that he/she is able to control his/her speech activity better. This is especially important if they work in pairs or small groups.

Independent work is effective if it is one of the constituent elements of the educational process, and special time is provided for it at each lesson. Therefore, the choice of types, volume and content of independent work plays an important part. It must be pointed out that the principle of accessibility and regularity, the connection between theory and practice, the principle of a gradual approach in task difficulty are of great importance in this matter. Learning activities offered for independent work should not be new in the way they are performed [7]. The wording in the learning activities should be clear, students should have a clear picture of what the task is and how its implementation will be checked. This makes the work meaningful and contributes to its more successful execution. Forms of work should be familiar, as new or less familiar forms will create difficulties in the process of work. Very easy and vice versa difficult tasks are not recommended for this form of work.

Difficult activities should be performed under the supervision of a lecturer to maximize the learning effect. In addition, when performing more difficult tasks, if difficulties arise, the student may lose interest in the learning process. At the first stage of the independent work skill formation, the lecturer should offer simpler tasks in form and content in order to form the

simplest work skills. Similar performance of tasks should be preceded under his guidance with clear explanations, which is fundamental for the formation of more complex skills and abilities necessary for independent work at a later stage. It should be noted that tasks are selected depending on the goal that the lecturer sets for themselves in independent work and on the level of language proficiency in a particular group. If the purpose of the work is to revise what has been studied in a group with weak students, then it is advisable to raise a task according to ready-made templates. In groups with a high level of language proficiency, it is necessary to offer tasks that require the application of knowledge in a new situation.

It is also worth remembering such an important factor as the time that the lecturer allocates for completing tasks in independent work. In groups with different levels of language proficiency, this factor must be constantly taken into account. It requires an individual approach to each student or group. For example, when working with a text and activities to it, the lecturer must have several types of activities (in terms of volume, complexity) in order to switch those who successfully completed activities to more complex ones in time.

Students are to be instructed not to write or pronounce words if they do not understand the meaning. It happens that a student repeats words or sentences after the lecturer, without understanding their meaning [9]. In this case, they should be asked to address the lecturer with the question: «Was bedeutet das? Ich verstehe das nicht (German)». «Queignifiee mot? Répétez s'ilvous plaît encore une fois. Je ne comprends (French)». «Could you repeat it, please? I didn't catch» (English). The lecturer, in turn, to check if the students understands him, should ask the questions: «Verstehst du das? Was verstehst du nicht? Wer hat etwas nicht verstanden? Etc. (German)». «Comprenez-vous? Qu'est – ce que tu ne comprends pas? Qui ne comprend pas? (French)». «Do you understand it? Is it clear for you?» In this context, students understand their main task – to learn to read and speak a foreign language, as well as that to be able to speak is to be able to express their thoughts, and not to say what they have learned by heart.

Great attention is paid to reading as a type of speech activity, which provides one of the forms of written – verbal communication. By reading, the information contained in the recorded corpus (the text) is extracted, that is, the content that the student receives during reading and their acquaintance with the genres of texts, with their lexical and compositional structure, with linguistic means of expressing cause-and-effect and other relationships.

Let us highlight several principles of teaching reading:

- reading should include both receptive and reproductive activity of students, i.e. reproduction of a sound image, syntagmatic division of the text, correct intonation design of each syntagma and the phrasal stress positioning.

- it presupposes reliance on mastering the language structure (its structural and constituent elements).

- teaching to read in a foreign language should be based on the students' reading experience in their native language, which dictates the need to develop the speed of reading [10].

Close attention is paid to the selection and composition of texts for teaching reading and working on them. The specialties of training as well as the level of students' language training are taken into account.

There should be distinguished four functions currently set to the text:

- 1) vocabulary enrichment and expansion;
- 2) language material practicing;
- 3) the development of oral speech – speaking;
- 4) development of reading skills.

The main function of the text is to teach reading, while others have a subordinate, auxiliary character.

Reading a text is essentially a practice in speech activity. The purpose of such reading is to obtain a certain result, the essence of which is to understand the semantic content of the text. Naturally, reading is assessed by this indicator.

When reading functions as a type of speech activity and students are aware of this, several conditions should be observed:

- 1) creating confidence in the student that he can read;
- 2) the content of the texts for reading must be meaningful to the reader;
- 3) the actual content of texts in a foreign language can be used in another type of educational or other activity;
- 4) the student must be sure that he is required to understand the content of the text, and not just the ability to voice it.

The nature of the reading is greatly influenced by the type of assessment. In this case, the object of control should be the content, not the linguistic side of the text [10].

We believe that the development of other types of speech activity should «adjust» to the acquiring reading skills. In order to learn how to extract some information for themselves from what they read, students are to do many different exercises. They are to be aware of the colloquial speech features; they should know that dialogue requires a quick reaction and a short response. At the same time, students should be taught to express their thoughts in simple grammatical forms in order to avoid speech errors and not to experience difficulties in searching for unknown words [8]. Special exercises contribute to the development of this skill. Students are offered, for example:

- 1) simplify complex sentences:
 - a) Er sagte seinem Freund, das er ihn heute besuchen wird.
 - b) Mit grossem Vergnügen lerne ich die Deutsche Sprache.
 - c) Er sagte dem Freunde: «Ich komme heute».
 - d) Ich lerne sehr gern Deutsch.
- 2) convey the content of the sentence, said in Russian, in a foreign language. For example: Since the weather was very frosty, we had to stay at home and have fun reading interesting books. (Das Wetter war sehr kalt, wir müssten zu Hause sitzen. Wir lasen. – Das Wetter war frostig. Wir saßen zu Hause und lasen. Die Bücher waren interessant. – Es war sehr kal. Wir blieben zu Hause. Wir lasen interessante Bücher (German). Comme il faisait froid nous devions rester à la maison. Nous lisions des livres intéressants. – Il faisait froid. Nous restions à la maison et nous lisions. Des livres étaient intéressants. Il faisait froid. Nous restions à la maison. Nous lisions. Des livres étaient intéressants (French). Since the weather was very frosty, we had to stay at home and have fun reading interesting books. – The weather was very frosty. We had to stay at home and have fun reading interesting books (English).

When studying new material, the lecturer should indicate the possibilities of its application. So, when studying the topic «Portrait of a Man», students should point out the possibility of describing themselves or a friend (another person); complain of feeling ill (e.g. ich habe Augenschmerzen. Ich kann nicht lesen; ich habe Halsschmerzen, ich kann nicht laut sprechen; ich habe Kopfschmerzen); understand and be able to use complex words composed of familiar stems (for example, das Kopfschmerzen, das Kopftuch, die Handarbeit, der Handschuh); understand and be able to use phraseological expressions (bis dahin läuft noch viel Wasser in die Elbe herunter; ich bin ganz Ohr; zu Fuss gehen); understand words formed using suffixes of various parts of speech (menschlich, herzlich); recognize words that include familiar roots (Augenkrankheit, Kernkraftwerk).

The above general methods of organizing work in the study of a foreign language and specific methods of working with a text, in our opinion, can help form the basis for students' independent work. And to make the process of language mastering continuous, the Moodle

platform is actively used, where audio- and video- materials on each studied topic are posted, where students can learn to hear, watch and speak out the material on their own [11].

Teaching a foreign language at a university is inextricably linked with an increase in volume, therefore, there is an increase in the methodological support of students' independent work on the Moodle platform. In this regard, the Foreign Languages Department of VETI MEPhI decided to study the students' attitude to the Moodle educational platform. The Foreign Languages Department carried out a survey among the students from the first to the fifth years of various specialties. The dominant number of respondents was students of the second and third years, who use this educational platform most actively – 40,6% and 36,6%, respectively.

Thus, as a result of the survey, it turned out that, in general, students are satisfied with the way as the Moodle platform is organized – 82.3%. The main advantage of the platform in the study of a foreign language, students call accessibility – 38.5%. The time saving is no less significant – 29.9%, which is very important with growing workloads. 26.4% of students appreciate the opportunity to use third-party information sources when passing the tests that testifies, on the one hand, to the students' ability to use Internet resources, and, on the other hand, to insufficiently firmly mastered knowledge of this or that unit.

The active use of the Moodle platform in the educational process of VETI MEPhI began with the transfer of students to distance learning in the winter of 2020. Since then, the platform has been constantly updated and improved. However, any system can have its disadvantages, that's what we wanted to find out in our survey. What are the disadvantages of the Moodle platform students see in the process of foreign language learning? The main disadvantage 45% of students considers a system failure. This objective reason is caused by the work of the Internet and is associated with a huge load on the network. But there is one more question that made us introduce a lot of changes in the platform's operation: 41.4% of respondents find inconvenient the material arrangement on Moodle. This significant observation made it possible to change qualitatively the material arrangement. Unfortunately, the students failed to find the answer what to be improved in the platform? More than a half, 55.5% of the respondents, found it difficult to answer this question, and 34.7% frankly do not know what should be done.

When asked what other educational platforms or sites you use in learning a foreign language, only a small percentage of students answered that they use Quizlet, British Council or watch films in English; 32.6% play games, but most of the respondents do not use any platforms in learning a foreign language. This is typical for students of non-linguistic universities and is explained by the heavy workload in other disciplines, and it is also a reason for increasing motivation in learning a foreign language.

Thus, extracurricular independent work of students as a special form of educational activity is the result of the interaction of a lecturer and students in the process of learning a foreign language. At the same time, the lecturer organizes and manages independent work on mastering a foreign language speech activity, and the use of electronic educational resources, in particular, the Moodle platform, allows students to show an increasing degree of cognitive independence while performing reproductive, transformative and creative activities.

Summarizing the above, it should be noted that in accordance with the export-oriented strategy of the State Corporation Rosatom, the educational and self-educational functions of a foreign language have significantly increased in VETI. Improving the quality of teaching a foreign language, first of all, is associated with the improvement of teaching methods, the choice of forms of work and the motivation of students. Independent work, as one of the productive forms, becomes of great importance in the process of teaching a foreign language; therefore, for the effective organization of students' independent work, the lecturer must organically plan the educational process, set clear tasks and choose the right way to solve these problems, having the necessary educational and methodological base. The use of

electronic systems, in particular Moodle, allows to supervise the independent work of students at a higher level. Blended learning of a foreign language at VETI develops the ability to form strategies for independent work, which will further lead to an increase in the students' ability to make independent decisions in the professional sphere at the enterprises of the State Corporation «Rosatom». The search for new approaches has led to the emergence of additional methods in working on the Moodle platform, such as the development of a whole range of trajectories that contribute to the improvement of speaking skills, such as Traveling, Lifestyle, Technology, Mass Media, Life Goals, Study Habits and others. Using these methods makes it possible to make training students effective in the field of foreign languages within the framework of personnel training for the world market to maintain leadership positions in the nuclear power industry.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдрус, И. Мировой опыт использования технологий дистанционного образования / Айдрус Ирина, Ахмед Зейн. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-opyt-ispolzovaniya-tehnologiy-dstantsionnogo-obrazovaniya>.
2. Зарочинцева, И.В. Формирование языковой компетенции студентов ВИТИ НИЯУ МИФИ в свете экспортоориентированной политики ГК «Росатом» / И.В. Зарочинцева, Л.В. Захарова, Ю.А. Лупиногина, Н.В. Бунамес, Е.В. Колесникова // Глобальная ядерная безопасность. – 2020. – № 3(36). – С. 95-103.
3. Воног, В.В. Использование LMS Moodle при обучении иностранному языку в аспирантуре в рамках смешанного и дистанционного образования / В.В. Воног, О.А. Прохорова. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-lms-moodle-pri-obuchenii-inostrannomu-yazyku-v-aspiranture-v-ramkah-smeshannogo-i-dstantsionnogo-obrazovaniya>.
4. Терехова, Н.В. Педагогическое руководство самостоятельной деятельностью студентов : дисс. канд. пед. наук / Н.В. Терехова. – Москва, 1996. – 168 с.
5. ABC : методические рекомендации по иностранным языкам. – Москва : Высшая школа, 1985. – Вып. 8. – 79 с.
6. Щукин, А.Н. Методы и технологии обучения иностранным языкам / А.Н. Щукин. – Москва : Икар, 2017. – 240 с.
7. Казаков, В.А. Самостоятельная работа студентов / В.А. Казаков. – Киев, 1988. – 280 с.
8. Пассов, Е.И. Уроки иностранного языка / Е.И. Пассов, Н.Е. Кузовлева. – Москва : Глосса-пресс; Ростов-на-Дону : Феникс, 2010. – 638.
9. Щукин, А.Н. Методика обучения речевому общению на иностранном языке / А.Н. Щукин. – Москва : ИКАР, 2011. – 452 с.
10. Семенова, Г.Н. Обучение чтению на иностранном языке в неязыковом вузе / Г.Н. Семенова, Н.В. Бунамес // Машиностроение и техносфера XXI века : сборник трудов международной научно-технической конференции. – Донецк, 2004. – Т. 3 – С. 93-95.
11. Колдина, М.И. Управление самостоятельной работой студентов вуза / М.И. Колдина, О.И. Ваганова, А.В. Трутанова. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-samostoyatelnoy-rabotoy-studentov-vuza>.

REFERENCES

- [1] Aydrus Irina, Ahmed Zane. Mirovoy opyt ispol'zovaniya tekhnologiy distantsionnogo obrazovaniya [World Experience in Using Distance Education Technologies.] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-opyt-ispolzovaniya-tehnologiy-dstantsionnogo-obrazovaniya>
- [2] Zarochintseva I.V., Zakharova L.V., Lupinogina Yu.A., Bunames N.V., Kolesnikova E.V. Formirovaniye yazykovoy kompetentsii studentov VITI NIYAU MIFI v svete eksportooryentirovannoy poliki GK «Rosatom» [Language Competence Formation Among VETI NRNU MEPhI Students in the View of State Corporation «Rosatom» Export-Oriented Policy]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2020. No.3(36). P.95-103 (in Russian).
- [3] Vonog V.V., Prokhorova O.A. Ispol'zovaniye LMS Moodle pri obuchenii inostrannomu yazyku v aspiranture v ramkakh smeshannogo i distantsionnogo obrazovaniya [Using LMS Moodle in Teaching a Foreign Language in Postgraduate Studies in the Framework of Mixed and Distance Education.] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-lms-moodle-pri-obuchenii-inostrannomu-yazyku-v-aspiranture-v-ramkakh-smeshannogo-i-dstantsionnogo-obrazovaniya>

- inostrannomu-yazyku-v-aspiranture-v-ramkah-smeshannogo-i-distantionnogo-obrazovaniya (in Russian).
- [4] Terekhova N.V. Pedagogicheskoye rukovodstvo samostoyatel'noy deyatel'nost'yu studentov [Pedagogical Guidance of Students' Independent Activities]. Moskva [Moscow]. 1996. 168 p. (in Russian).
 - [5] AVS: metodicheskiye rekomendatsii po inostrannym yazykam [ABC: Guidelines for Foreign Languages.] Moskva: Vysshaya shkola [Moscow: Higher school]. 1985. Issue 8. 79 p. (in Russian).
 - [6] Shchukin A.N. Metodiki i tekhnologii obucheniya inostrannym yazykam [Methods and Technologies of Teaching Foreign Languages.]. Moskva: Ikar [Moscow: Ikar]. 2014 (in Russian).
 - [7] Kazakov V.A. Samostoyatel'naya rabota studentov [Independent Work of Students]. Kiev, 1988. 280 p. (in Russian).
 - [8] Passov E.I., Kuzovleva N.E. Uroki inostrannogo yazyka [Foreign Language Lessons.] Moskva: Glossa-press; Rostov-na-Donu: Feniks [Moscow: Glossa-press; Rostov-on-Don: Phoenix]. 2010 (in Russian).
 - [9] Shchukin A.N. Metodika obucheniya rechevomu obshcheniyu na inostrannom yazyke [Methodology for Teaching Speech Communication in a Foreign Language.] Moskva: Ikar [Moscow: Ikar]. 2014 (in Russian).
 - [10] Semenova G.N., Bunames N.V. Obucheniye chteniyu na inostrannom yazyke v neyazykovom vuze [Reading Instruction in a Foreign Language in a Non-Linguistic University]. Mashinostroyeniye i tekhnosfera XXI veka : sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Mechanical Engineering and Technosphere of the XXI Century. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Donetsk. 2004. V.3. P.93-95 (in Russian).
 - [11] Koldina M.I., Vaganova O.I., Trutanova A.V. Upravleniye samostoyatel'noy rabotoy studentov vuza [Management of University Students' Independent Work]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-samostoyatelnoy-rabotoy-studentov-vuza> (in Russian).

Independent Work Peculiarities in the Process of Foreign Language Study in Blended Learning Environment While Training Young Specialists for the State Corporation «Rosatom»

**L.V. Zakharova¹, N.V. Bunames², I.V. Zarochintseva³, Yu.A. Lupinogina⁴
M.A. Melkikh⁵**

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

¹ORCID iD: 0000-0003-1496-3935

WoS Researcher ID: M-3905-2018

e-mail: zakharova11@mail.ru

²ORCID iD: 0000-0001-7957-694X

WoS Researcher ID: E-4506-2015

e-mail: bunames@bk.ru

³ORCID iD: 0000-0001-6412-8714

WoS Researcher ID: M-3835-2018

e-mail: michael.mus.2000@mail.ru

⁴ORCID iD: 0000-0002-4327-1172

WoS Researcher ID: M-3826-2018

e-mail: matashonok@mail.ru

⁵ORCID iD: 0000-0002-4221-8185

e-mail: maria.alexeevnaa@gmail.com

Abstract – The article deals with the problems of foreign language independent work in technical high schools when training specialists for State Corporation «Rosatom» in conditions of mixed education, basic principles and methods of training using electronic systems, analyzes typical mistakes, current and final control.

Keywords: independent work, mixed learning, electronic educational platform, self-awareness, reflectivity, self-discipline, personal responsibility.

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

УДК 316.354.2:[69:621.039]

**РИСКИ РАДИКАЛЬНОГО ИСЛАМИЗМА В ВОПРОСАХ
БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

© 2021 А.Н. Недорубов, Н.И. Лобковская

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

В работе рассматриваются риски строительства и эксплуатации объектов атомной энергетики в странах с преобладающим мусульманским населением, неоднозначно относящимся к развитию атомной отрасли в своих странах. Проведенный анализ освещает вопрос проявления радикального исламизма на территориях размещения объектов атомной отрасли и позволяет выделить наиболее значимые и специфические особенности заявленной проблемы.

Ключевые слова: радикальный исламизм, террористическая угроза, безопасность строительства и эксплуатации объектов атомной отрасли, религиозные ценности, атомная энергетика, атомная электрическая станция, риски, экстремизм.

Поступила в редакцию 24.07.2020

После доработки 25.01.2021

Принята к печати 08.02.2021

Исламизм правомерно определяется явлением политическим, способствующим созданию условий решения внутренних и внешних противоречий в странах с преобладающим мусульманским населением на основе норм шариата. Если этот феномен не затрагивает светские государства, то его можно рассматривать как внутреннюю специфику исламских стран. Однако экономическое неблагополучие многих из них обостряет не только «выталкивающие» обстоятельства, заставляющие людей искать лучшей жизни за пределами своей родины, но и радикализирует исламизм, провоцируя его трансформацию в экстремизм. Быть экстремистом-одиночкой почти невозможно – ограничены ресурсы, поэтому появляются организованные группы единомышленников, и идеология крайнего исламизма в сознании ее носителей мигрирует в благополучные страны, находя уязвимые места в их цивилизационной мембране.

Организованные группы радикально настроенных исламистов для достижения высших религиозных целей нередко прибегают к террористическим методам борьбы за свои идеалы. В их поле зрения попадают те объекты, при воздействии на которые будут наиболее ощутимые и болезненные последствия для противника (противником же чаще всего признается светское экономически благополучное государство с доминирующими ценностями морали постмодерна), например, рекреационные зоны, объекты культурного наследия, промышленная инфраструктура, наконец, объекты атомной энергетики.

Десять лет назад исламистская угроза нависла над большей частью Европы. Особенно остро это ощущалось в странах со значительным кластером мусульманского населения. Используя социально-экономические «болевые точки» общества, они с легкостью вербовали в свои ряды новых сторонников, делая ставку на образованную

молодежь, выпускников высших учебных заведений, опытных инженеров и сотрудников различных корпораций. Сначала террористы наметили подвергнуть атаке значимые мероприятия – фестиваль театрального искусства в Авиньоне, международный марафон в Лондоне, фестиваль электронной музыки Tomorrowland в Бельгии. В зоне агрессивного внимания находились культурно-исторические объекты, в том числе парижские – Эйфелева башня и Лувр. Были запланированы теракты в барах и на рынках, нападения на представителей полиции. Цель была одна – порождение и распространение страха у населения. Но затем террористы замахнулись на промышленную инфраструктуру, в том числе на атомные электростанции.

Подготовка высокопрофессиональных кадров для работы на ядерных энергетических объектах в разных странах начинается уже на этапе формирования базовых компетенций и воспитания приверженности профессиональным ценностям будущих инженеров-атомщиков [1, 2]. При этом необходимо превентивно учитывать, что работники стратегически важных предприятий могут быть подвержены различным идеологическим влияниям, в том числе радикальным и экстремистским. Это касается не только стран с преобладающим мусульманским населением. Шесть лет назад возник инцидент на одной из французских АЭС в связи с допуском для работы на ней сотрудника, исповедующего ислам: руководство атомной станции отказало ему в разрешении работать на объекте, после того как он провалил процесс проверки (причины руководство не могло раскрыть). Через суд инженеру снова разрешили работать, пока его снова не отстранило руководство атомной электростанции на основании постановления начальника полиции, который отметил, что «запрет не был основан на таких критериях, как религия или раса...», но исключительно на вопросах безопасности» [3]. И это решение имело основания.

В 2013 г. французская полиция расшифровала электронную переписку между 29-летним работником одной из АЭС, алжирца по происхождению, у которого было двое детей, проживавшем в южнофранцузском городе Воклюз, с одиозным руководителем AQIM – филиала Аль-Каиды в странах африканского Магриба. Этот куратор группировки предложил ему написать свои возможности по организации джихада по месту его жительства и работы. Сам работник, Али М. выдвинул идею осуществить атаку на АЭС Кадараш. Однако эти планы оказались сорваны. Али М. предложил совершить теракт против простых жителей в развлекательных клубах, в торговых центрах и около полицейских участков и муниципальных учреждений. Помимо этого, он предложил сделать основной целью историко-культурные объекты и различные культурные мероприятия Южной Франции, куда стекаются тысячи зрителей и участников на фестиваль театров в Авиньоне (недалеко от Атомной электростанции Маркуль). После этого его куратор из AQIM предложил ему пройти в Алжире специальную боевую подготовку. По завершении «обучения» он должен был вернуться домой и ждать указаний. Однако, вовремя расшифровав переписку, в июне 2013 года полицейские задержали алжирца. Адвокат Али М. заявил, что его клиенту начисто «промыли мозги» и задержание стало для него облегчением [4]. Данное дело вовсе не исключительный случай.

В марте 2016 года произошли теракты в международном аэропорту и на станции метро Мальбек в Брюсселе [5]. Опасения по поводу ядерного терроризма возросли после того, как бельгийские СМИ сообщили, что террористы-смертники, убившие несколько десятков человек в этот день, первоначально рассматривали возможность нападения на ядерную установку, прежде чем полицейские рейды, которые поймали ряд подозреваемых сообщников, заставили их сменить цели. Бельгийские силовики установили, что смертники братья Бакрауи, приведшие в действие бомбы в Брюсселе, установили видеонаблюдение за домом руководителя национальной атомной программы. Видеозаписи подходов к дому и маршрутов движения руководителя-

атомщика были найдены в квартирах террористов. После взрывов в стране, АЭС Тианж была взята под усиленную защиту [6, 7].

То, что главным объектом для террористических атак являлись именно атомные электростанции, вызвало настоящую панику в СМИ и в обществе. Но и это не было основной целью террористов. Их главная задача – построение Всемирного исламского халифата, в том числе на территории Европы и России. Обезумевшие фанатики готовы убивать всех, кто стоит у них на пути, ради воцарения самых жестоких норм ортодоксального шариата. Они стремятся устроить ядерный апокалипсис. На сегодняшний день в Европе действуют более 150 ядерных реакторов, нуждающихся в усиленных мерах безопасности. В 30-ти километровой зоне пятидесяти из них проживает более чем по 100 тыс. человек. И безопасность этого населения становится, пожалуй, самой главной задачей для всех специализированных служб, которые должны обратить внимание не только на технические и технологические стороны защиты, но и на такие факторы, как социокультурные особенности групп населения.

Эксперты по безопасности тогда заявили, что взрыв ядерного реактора выходит за рамки навыков воинствующих групп, однако ядерная промышленность имеет некоторые уязвимые места, которые могут быть ими использованы. По мнению Пейджа Стаутленда, руководителя независимой организации по ядерной безопасности NTI, риск использования отдельными лицами, получающими доступ к чувствительной энергетической инфраструктуре, включая ядерные объекты, все более возрастает [8].

В 2014 г. был зафиксирован странный случай преднамеренного акта саботажа на бельгийском ядерном реакторе электростанции Дул 4. Было установлено, что один из сотрудников имел контакты с запрещенными группировками в Сирии. В декабре того же года бельгийская полиция отследила передвижения высокопоставленного чиновника атомной отрасли страны и его связи с исламистами, совершившими теракты в Париже в ноябре 2014 года, в которых погибло 130 человек. В результате безопасность вокруг бельгийских атомных станций была усилена. Отраслевые эксперты заявили, что преднамеренно вызвать катастрофическое расплавление ядерного реактора было бы трудно, поскольку в диспетчерской никогда не бывает одного человека, обычно там находится от четырех до шести операторов в любое время. Это, по словам Бертрана Барре, бывшего руководителя Areva (бельгийской государственной энергетической компании) снижает риск самоубийственных действий. Однако нельзя исключать преднамеренных актов саботажа. В 2014 году реактор Дул 4 был остановлен через четыре месяца после того, как кто-то намеренно повредил его турбину, слив 65 000 литров масла. Преступника так и не нашли [9].

В условиях наращивания информационного потока и виртуализации всех сфер жизни общества риск террористических кибератак все выше. Большинство атомных станций были построены до появления интернета или даже компьютерной эры, и их диспетчерские пункты работают по аналоговой технологии XX-го века. По мнению NTI, атомные станции сейчас быстро оцифровываются, увеличивая риск того, что хакеры могут завладеть интересующей их информацией.

Наибольший же риск террористических атак связан с ядерным топливным циклом, который включает обогащение урана, производство и переработку топлива, транспортировку и хранение радиоактивных материалов. Специалисты утверждают, что бассейны, в которых охлаждается отработавшее ядерное топливо, более уязвимы, чем сами реакторы [10]. Особое беспокойство вызывают такие установки, как Ла-Гаага во Франции или Селлафилд в Великобритании, где отработавшее топливо из десятков реакторов хранится в бассейнах, прежде чем оно будет переработано или помещено в бочки для сухого хранения. Каждую неделю плутоний – один из двух ключевых компонентов ядерной бомбы, наряду с высокообогащенным ураном –

транспортируется по суше из Ла-Гааги в Маркуль на юге Франции для переработки в смешанное оксидное топливо [11].

Эксперты также обеспокоены тем, что боевики воруют радиоактивные материалы с медицинских или промышленных объектов. Радиоактивные изотопы используются в десятках областей применения, от лечения рака до контроля сварных швов трубопроводов, и тысячи упаковок с небольшим количеством радиоактивного материала ежегодно отправляются по всей Европе. Похищенные радиоактивные материалы из этих партий могут быть объединены с традиционными взрывчатыми веществами для создания «грязной бомбы» [12]. В то время как радиоактивность, распространяемая таким устройством, вряд ли будет смертельной, она создаст огромную панику и загрязняет обширную область, которую будет очень сложно обеззараживать. В это связи стоит вспомнить, что еще в 1995 году чеченские боевики установили в московском парке баллон с радиоактивным цезием, но не взорвали его и предупредили российские власти, которые успели деактивировать устройство.

С середины 1990-х годов государства-члены МАГАТЭ зафиксировали более чем 3000 случаев исчезновения радиоактивных материалов. Бывший генеральный директор МАГАТЭ Юкия Аmano сказал, что лишь немногие из этих инцидентов связаны с материалами, которые могут быть использованы для изготовления ядерного взрывного устройства, но некоторые из недостающих материалов могут быть использованы для разработки грязной бомбы. «Тот факт, что никогда не было крупного теракта с использованием радиоактивных материалов, не означает, что это не могло бы произойти», – сказал Аmano [13]. Тем временем, поддерживая должный уровень благосостояния, развитые страны активно используют энергию мирного атома, который продолжает быть «мирным» только благодаря профессиональной ответственности и приверженности принципам культуры безопасности [14] главных представителей этой стратегически важной для всего человечества отрасли.

Исламский мир является важнейшим геополитическим субъектом всей системы интернациональных связей. Глубокие потрясения и большие события современной политики связаны с мусульманским миром или отдельными исламскими структурами. Это заставляет лидеров стран и корпораций вникнуть в сущность признаков и причин, а также направлений развития религиозных факторов в этих государствах. Одним из все более заметных социокультурных условий безопасного строительства и использования объектов атомной отрасли при высоком потоке беженцев и переселенцев из зон повышенной социально-экономической напряженности становится необходимость учитывать исламизм как религиозно-политический фактор.

Приведенные выше тенденции в развитии одной из наиболее влиятельных отраслей свидетельствует о том, что исламский мир становится одним из важнейших игроков мировой политики, позицию и интересы которого вынуждены учитывать все наиболее значимые мировые политические центры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руденко, В.А. К вопросу об эффективных практиках подготовки кадров для реализации экспортоориентированной стратегии ГК «Росатом» / В.А. Руденко, М.В. Головкин, Ю.А. Евдошкина, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 1(30) – С. 124-135.
2. Лобковская, Н.И. Профессиональное целеполагание как составляющая культуры безопасности будущего специалиста-атомщика / Н.И. Лобковская, Ю.А. Евдошкина // Современное образование. – 2017. – № 1. – С. 32-38. – URL : http://e-notabene.ru/pp/article_22498.html (дата обращения: 23.06.2020).
3. A muslim engineer, who has been denied access to French nuclear power stations, is to learn at the end of this month whether the decision to bar him will be overturned, his lawyer announced today. – URL: <http://www.rfi.fr/en/france/20140818-muslim-engineer-challenges-ban-access-french-nuclear-plants> (дата обращения: 01.06.2020).

4. *Samuel, H.* Islamist plot to blow up Eiffel Tower, Louvre and nuclear power plant foiled, say French police. – URL: <https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/europe/france/10956636/> (дата обращения: 10.06.2020).
5. How Belgium Tried and Failed to Stop Jihadist Attacks. – URL: <https://www.theatlantic.com/international/archive/2016/03/belgium-attacks-isis/474945/> (дата обращения: 20.06.2020).
6. La Dernière Heure: главной целью подрыва террористов в Брюсселе были АЭС. – URL: <https://spbdnevnik.ru/news/2016-03-24/La-Derniere-Heure--glavnoy-tselyu-podryva-terroristov-v-bryussele-byli-aes> (дата обращения: 23.06.2020).
7. Серия терактов в Брюсселе: в аэропорту и метро прогремели взрывы / РИА Новости. – URL: <https://ria.ru/20160322/1394449726.html> (дата обращения: 23.06.2020).
8. *Tamarkin, T., Zahran, M.* The Petro-Islamist Threat: How Fusion Energy Can Save the World. – URL: <https://fusion4freedom.com/petro-islam-fusion-save-the-world/> (дата обращения: 10.06.2020).
9. *De Clercq, G., Steitz, Ch.* Militant interest in attacking nuclear sites stirs concern in Europe. – URL: <https://www.reuters.com/article/us-belgium-blast-nuclear/militant-interest-in-attacking-nuclear-sites-stirs-concern-in-europe-idUSKCN12A1PF> (дата обращения: 10.06.2020).
10. Как хранят отработавшее ядерное топливо, а, главное, зачем? / EnergyLand.info : Интернет-портал сообщества ТЭК. – URL: <http://www.energyland.info/analitic-show-170467> (дата обращения: 23.06.2020).
11. Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий / Под общей редакцией И.И. Линге, А.А. Абрамова. – Москва : Госкорпорация «Росатом», 2017. – 187 с.
12. *Бочарников, И. В.* Влияние исламского фактора на характер и содержание современных международных политических процессов / И. В. Бочарников. – URL: <https://nic-pnb.ru/analytics/vliyaniye-islamskogo-faktora-na-harakter-i-soderzhanie-sovremennyh-mezhdunarodnyh-politicheskikh-protsessov/> (дата обращения: 12.06.2020).
13. *Ожаровский, А.* Юкиа Аmano: МАГАТЭ не дает гарантию ядерной безопасности / А. Ожаровский. – URL: <https://bellona.ru/2010/06/19/yukia-amano-magat-e-ne-daet-garantiya-yade/> (дата обращения: 12.06.2020).
14. *Руденко, В.А.* Подготовка квалифицированных кадров для зарубежных АЭС как фактор обеспечения безопасности в области использования атомной энергии // В.А. Руденко, С.А. Томилин, В.Г. Бекетов // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 1(22). – 78-84.

REFERENCES

- [1] Rudenko V.A., Golovko M.V., Evdoshkina Yu.A., Vasilenko N.P. K voprosu ob effektivnykh praktikakh podgotovki kadrov dlya realizatsii eksportoorientirovannoy strategii GK «Rosatom» [Issue of Effective Training Practices for Implementing the Export-Oriented Strategy of Rosatom]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2019. № 1(30). P. 124-135 (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 the Future Nuclear Specialist]. *Sovremennoe obrazovanie* [Modern education]. 2017. № 1. P. 32-38. URL: http://e-notabene.ru/pp/article_22498.html – 14.11.2019 (in Russian).
- [3] A Muslim Engineer, Who Has Been Denied Access to French Nuclear Power Stations, Is to Learn at the End of This Month Whether the Decision to Bar Him Will Be Overturned, His Lawyer Announced Today. – URL: <http://www.rfi.fr/en/france/20140818-muslim-engineer-challenges-ban-access-french-nuclear-plants> – 01.06.2020 (in English).
- [4] Samuel, H. Islamist Plot to Blow up Eiffel Tower, Louvre and Nuclear Power Plant Foiled, Say French Police. URL: <https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/europe/france/10956636/> – 10.06.2020.
- [5] How Belgium Tried and Failed to Stop Jihadist Attacks. URL: <https://www.theatlantic.com/international/archive/2016/03/belgium-attacks-isis/474945/> – 20.06.2020 (in English).
- [6] La Dernière Heure: glavnoy tsel'yu podryva terroristov v Bryussele byli AES [La Dernière Heure: the Main Purpose of Undermining Terrorists in Brussels Was Nuclear Power Plants]. URL: <https://spbdnevnik.ru/news/2016-03-24/La-Derniere-Heure--glavnoy-tselyu-podryva-terroristov-v-bryussele-byli-aes> – 23.06.2020 (in English).
- [7] Seriya teraktov v Bryussele: v aeroportu i metro progremeli vzryvy [Series of Terrorist Attacks in Brussels: Explosions Thundered at the Airport and Metro]. RIA Novosti. URL: <https://ria.ru/20160322/1394449726.html> – 23.06.2020 (in Russian).

- [8] Tamarkin, T., Zahran, M. The Petro-Islamist Threat: How Fusion Energy Can Save the World. URL: <https://fusion4freedom.com/petro-islam-fusion-save-the-world/> – 10.06.2020 (in English).
- [9] De Clercq, G., Steitz, Ch. Militant Interest in Attacking Nuclear Sites Stirs Concern in Europe. URL: <https://www.reuters.com/article/us-belgium-blast-nuclear/militant-interest-in-attacking-nuclear-sites-stirs-concern-in-europe-idUSKCN12A1PF> – 10.06.2020 (in English).
- [10] Kak khranyat otrabotavsheye yadernoye toplivo, a, glavnoye, zachem? [How Is Spent Nuclear Fuel Stored, and, Most Importantly, Why?]. EnergyLand.info: Internet-portal soobshchestva TEK [EnergyLand.info: Internet portal of the fuel and energy complex]. URL: <http://www.energyland.info/analitic-show-170467> – 23.06.2020 (in Russian).
- [11] Luchshiye zarubezhnyye praktiki vyvoda iz ekspluatatsii yadernykh ustanovok i reabilitatsii zagryaznennykh territoriy [Best Foreign Practices for Decommissioning Nuclear Installations and Remediation of Contaminated Areas]. Pod obshchey redaktsiyey I.I. Linge, A.A. Abramova [Edited by I.I. Linge, A.A. Abramov]. Moskva: Goskorporatsiya «Rosatom» [Moscow: State Corporation «Rosatom»]. 2017. 187 p. (in Russian).
- [12] Bocharnikov I.V. Vliyaniye islamskogo faktora na kharakter i sodержaniye sovremennykh mezhdunarodnykh politicheskikh protsessov [Influence of the Islamic Factor on the Nature and Content of Modern International Political Processes]. URL: <https://nic-pnb.ru/analytics/vliyanie-islamskogo-faktora-na-harakter-i-soderzhanie-sovremennykh-mezhdunarodnykh-politicheskikh-protsessov/> – 12.06.2020 (in Russian).
- [13] Ozharovsky, A. Yukia Amano: MAGATE ne dayet garantiyu yadernoy bezopasnosti [Yukia Amano: IAEA Does Not Guarantee Nuclear Safety]. URL: <https://bellona.ru/2010/06/19/yukia-amano-magate-ne-daet-garantiya-yade/> – 12.06.2020 (in Russian).
- [14] Rudenko V.A., Tomilin S.A., Beketov V.G. Podgotovka kvalifitsirovannykh kadrov dlya zarubezhnykh AES kak faktor obespecheniya bezopasnosti v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii [Training of Qualified Personnel for Foreign NPPs as a Safety Factor in the Field of Atomic Energy Use]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2017. № 1(22). 78-84 (in Russian).

Radical Islamism Hazards in Issues of Safety of Nuclear Industry Facility Construction and Operation

A.N. Nedorubov¹, N.I. Lobkovskaya²

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

¹ORCID: 0000-0002-3413-7449

e-mail: batrakan@rambler.ru

²ORCID iD: 0000-0002-0297-5800

WoS Researcher ID: O-3879-2018

e-mail: NILobkovskaya@mephi.ru

Abstract – The paper discusses the hazards of construction and operation of nuclear power facilities in countries with a predominantly Muslim population that is ambiguous about the development of the nuclear industry in their countries. The analysis shows the issue manifestation of radical Islamism in the territories where nuclear facilities are located and makes it possible to single out the most significant and specific features of the stated problem.

Keywords: radical Islamism, terrorist threat, safety, hazards of construction and operation of nuclear power facilities safety, religious values, nuclear energy, nuclear power plant, risks, extremism.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА

Абидова Е.А.	84
Агапова С.П.	110
Адаменков А.К.	57
Анцибор А.В.	110
Безматъева А.Н.	84
Болдырева Н.А.	75
Бунамес Н.В.	118
Бурдаков С.М.	38
Годунов С.Ф.	44
Головко М.В.	110
Горская О.И.	7
Губеладзе А.Р.	18
Губеладзе О.А.	18
Дамаскина М.Б.	38
Ефименко Н.А.	110
Желецкий Д.И.	38
Зарочинцева И.В.	118
Захарова Л.В.	118
Кравец С.Б.	75
Кравчук А.И.	44
Кравчук А.С.	44
Кузин С.А.	75
Лапкис А.А.	84
Лобковская Н.И.	127
Лупиногина Ю.А.	118
Лыскова И.Е.	94
Малахов М.И.	57
Медулька И.В.	7
Мелких М.А.	118
Недорубов А.Н.	127
Ожерельев В.Д.	57
Сетраков А.Н.	110
Смалюк А.Ф.	44
Сурин В.И.	57
Томилин С.А.	44
Ульянов В.Ю.	26
Ухалина И.А.	110

AUTHOR INDEX OF VOL. 1, 2021

Abidova E.A.	84
Adamenkov A.K.	57
Agapova S.P.	110
Antsibor A.V.	110
Bezmateva A.N.	84
Boldyreva N.A.	75
Bunames N.V.	118
Burdakov S.M.	38
Damaskina M.B.	38
Efimenko N.A.	110
Godunov, S.F.	44
Golovko M.V.	110
Gorskaya O.I.	7
Gubeladze A.R.	18
Gubeladze O.A.	18
Kravchuk A.I.	44
Kravchuk A.S.	44
Kravets S.B.	75
Kuzin S.A.	75
Lapkis A.A.	84
Lobkovskaya N.I.	127
Lupinogina Yu.A.	118
Lyskova I.E.	94
Malakhov M.I.	57
Medulka I.V.	7
Melkikh M.A.	118
Nedorubov A.N.	127
Ozhereliev V.D.	57
Setrakov A.N.	110
Smaliuk A.F.	44
Surin V.I.	57
Tomilin S.A.	44
Ukhalina I.A.	110
Ulyanov V.Yu.	26
Zakharova L.V.	118
Zarochintseva I.V.	118
Zheletskiy D.I.	38

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 konstruktov. [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]. Officialnij 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 ЛИТЕРАТУРЫ 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. Ванникова 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 : 26.03.2019).

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 : 03.09.2019).

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

2021, 1(38)

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

Сдано в набор 09.03.2021 г.

Компьютерная верстка Казак Ю.Ю.

Подписано к печати 16.03.2021 г.

Бумага «Снегурочка» 80 г/м². Объем 8,56. печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ (ф) НИЯУ МИФИ