

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

# GLOBAL NUCLEAR SAFETY

2021, 2(39)

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](mailto: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, 2(39)

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](mailto:oni-viti@mephi.ru)  
Адрес типографии: 347360, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94.

Москва

## CONTENTS

---

2021, 2(39)

---

### THE PROBLEMS OF NUCLEAR, RADIATION AND ECOLOGICAL SAFETY

Assessment of Ammunition Group Explosiveness in Destructive Effects Conditions and Ways to Reduce It

*O.A. Gubeladze, A.R. Gubeladze* ..... 7

Possibility of Using Ballistic Missile Launchers in the Study of Shock-Compressed Substance Properties

*S.I. Gerasimov, V.I. Erofeev, I.V. Zanezin, V.A. Kikeev, A.P. Kalmykov, E.G. Kosyak, P.G. Kuznetsov, N.V. Lapichev* ..... 15

Some Aspects of International Cooperation in Environmental Issues in Nigeria

*B.K. Orumo, A.P. Elokhin, A.I. Ksenofontov* ..... 25

---

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

Analysis and Optimization of Three-Beam Traverse Structure Elements for Reactor Cavity Reinforced Concrete Block Installation

*S.A. Tomilin, R.V. Pirozhkov, E.A. Tsvetlik, E.V. Pinchuk, S.F. Godunov* ..... 35

The Application of Potential Theory for Neutron Field Configuration Analysis of Isotropic Sources

*V.Ya. Shpicer, V.V. Krivin, V.A. Tolstov, L.S. Khegay, I.O. Ishigov* ..... 49

---

### NUCLEAR FACILITIES EXPLOITATION

Comparative Study of Spectral Regulation Range of Excess Reactivity Control in Pressurized Water Reactors Using Zirconium Displacers for Uranium and Thorium Fuel Cycles

*A.I. Elazaka, V.I. Savander, G.V. Tikhomirov* ..... 58

Control Valve Condition Checking by Spectral Analysis

*D.V. Shvets, I.A. Mikshin, A.A. Lapkis, E.S. Arsenteva* ..... 68

Analysis of the Possibility of Ice Melting Intensity Monitoring by Direct Current in High-Voltage Electrical Systems

*E.S. Moloshnaya, V.V. Nechitailov, I.V. Melnikov, S.A. Baran* ..... 77

---

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

The Main Directions of Formation and Development of Safety Culture in the Russian Federation

*I.E. Lyskova* .....84

Providing a High Level of Safety Culture when Exporting Nuclear Power Technologies

*V.A. Rudenko, T.S. Popova, Yu.A. Evdoshkina* .....101

---

Author Index of vol. 2, 2021 .....111

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

Номер 2(39), 2021

---

### ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Оценка групповой взрывоопасности боеприпасов в условиях деструктивных воздействий и пути ее снижения

*О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе*.....7

Возможность использования баллистических метательных установок в задаче исследования свойств ударно сжатых веществ

*С.И. Герасимов, В.И. Ерофеев, И.В. Занегин, В.А. Кикеев,  
А.П. Калмыков, Е.Г. Косяк, П.Г. Кузнецов, Н.В. Лапичев*.....15

Некоторые аспекты международного сотрудничества по экологическим вопросам в Нигерии

*Б.К. Орумо, А.П. Елохин, А.И. Ксенофонов*.....25

---

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

Анализ и оптимизация элементов конструкции трехлучевой траверсы для монтажа армоблока бетонной шахты реактора

*С.А. Томилин, Р.В. Пирожков, Е.А. Цвелик, Э.В. Пинчук, С.Ф. Годунов*.....35

Применение теории потенциала к анализу конфигурации нейтронного поля изотропных источников

*В.Я. Шпицер, В.В. Кривин, В.А. Толстов, Л.С. Хегай, И.О. Ишигов*.....49

---

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Сравнительная оценка диапазона спектрального регулирования запаса реактивности в реакторах с водой под давлением с помощью циркониевых вытеснителей для уранового и ториевого топливных циклов

*А.И. Элазака, В.И. Савандер, Г.В. Тихомиров*.....58

Контроль состояния регулирующей арматуры методом спектрального анализа

*Д.В. Швец, И.А. Микишин, А.А. Лапкис, Е.С. Арсентьева*.....68

Анализ возможности контроля интенсивности плавки гололеда постоянным током в высоковольтных электрических системах

*Е.С. Молошина, В.В. Нечитайлов, И.В. Мельников, С.А. Баран*.....77

---

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

Основные направления формирования и развития культуры безопасности в российской  
федерации

*И.Е. Лыскова* .....84

Обеспечение высокого уровня культуры безопасности при экспорте ядерных  
энергетических технологий

*В.А. Руденко, Т.С. Попова, Ю.А. Евдошкина* .....101

---

Авторский указатель номера 2(39), 2021 .....110

---

---

## ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

---

УДК 623.454.8:662.2

### ОЦЕНКА ГРУППОВОЙ ВЗРЫВООПАСНОСТИ БОЕПРИПАСОВ В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ПУТИ ЕЕ СНИЖЕНИЯ

© 2021 О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе

*Донской государственный технический университет (ДГТУ), Ростов-на-Дону, Ростовская обл., Россия*

Размещение боеприпасов на небольшой площади создает опасность группового взрыва в результате деструктивных воздействий. Обеспечить групповую взрывобезопасность боеприпасов, увеличивая расстояние между ними, невозможно из-за ограниченного объема, в котором они размещены. Это можно обеспечить с помощью применения защитных экранов от воздействия высокоскоростных ударников. Другим направлением является поиск оптимальных схем размещения боеприпасов в хранилище, обеспечивающих минимизацию количества осколков, попадающих в боеприпасы. Также рассматривается влияние внешнего фона нейтронов при групповом хранении ядерных боеприпасов.

*Ключевые слова:* боеприпасы, нерегламентируемые деструктивные воздействия, групповая взрывоопасность, инициирующее воздействие, самоподдерживающаяся цепная реакция, флюенс нейтронов.

Поступила в редакцию 11.03.2021

После доработки 25.03.2021

Принята к печати 01.04.2021

Хранение боеприпасов (БП), их эксплуатация в составе систем вооружения предполагает компактное размещение БП на небольшой площади, что в свою очередь создает опасность группового взрыва в результате нерегламентированных деструктивных воздействий (НДВ) [1]. Групповая взрывоопасность (ГВО) возникает в результате передачи детонации (горения) через воздушный промежуток или упругую среду при взрыве одного из рядом расположенных БП. Критическая энергия возбуждения взрыва является характеристикой заряда бризантного взрывчатого вещества (ВВ) и определяется как минимальная энергия, необходимая для инициирования взрыва (горения) заряда в оболочке (на практике используют такие параметры, как критический диаметр и критическое давление) [2]. Воздействие поражающих элементов (ПЭ) с энергией больше критической приводит к детонации заряда ВВ, и как следствие, вызывает детонацию соседних БП. Поэтому исследование вопросов обеспечения групповой взрывобезопасности (ГВБ) является актуальным.

БП, в котором в результате воздействия инициируется взрыв, считают активным. Чтобы охарактеризовать деструктивное воздействие взрыва активного боеприпаса на размещенные в непосредственной близости аналогичные исправные БП необходимо определить характеристики деструктивных факторов (ДФ) взрыва в каждой точке окружающего пространства:

- давление во фронте продуктов детонации в ближней зоне (до 6-ти радиусов заряда);
- давление во фронте продуктов детонации в дальней зоне;
- начальная скорость осколков;
- количество образовавшихся осколков;
- плотность распределения осколков по массе и скорости;

- максимальная дальность разлета осколков;
- спад скорости (от расстояния).

Поле разрушительного действия взрыва можно условно разделить на зоны: зону действия продуктов детонации; зону совместного действия продуктов детонации и ударной волны; зону фугасного действия, где определяющим фактором является воздушная ударная волна (ВУВ). Избыточное давление во фронте ударной волны определяется по формуле (1).

$$\Delta P_{\Phi} = \left( \alpha \frac{M_{\Phi}^{0,33}}{r} + b \cdot \frac{M_{\Phi}^{0,67}}{r^2} + c \cdot \frac{M_{\Phi}}{r^3} \right) \cdot 10^5, \quad (1)$$

где  $M_{\Phi}$  – эквивалентная масса ВВ, кг;

$a, b, c$  – экспериментальные константы;

$r$  – расстояние от центра взрыва до объекта, м.

Анализ результатов расчета избыточного давления во фронте ударной волны при инициировании зарядов БП с  $M_{\Phi}$  22 и 75 кг (рис. 1) показал, что безопасное расстояние для рядом расположенных боеприпасов начинается с 1,5 и 2,5 метров соответственно.

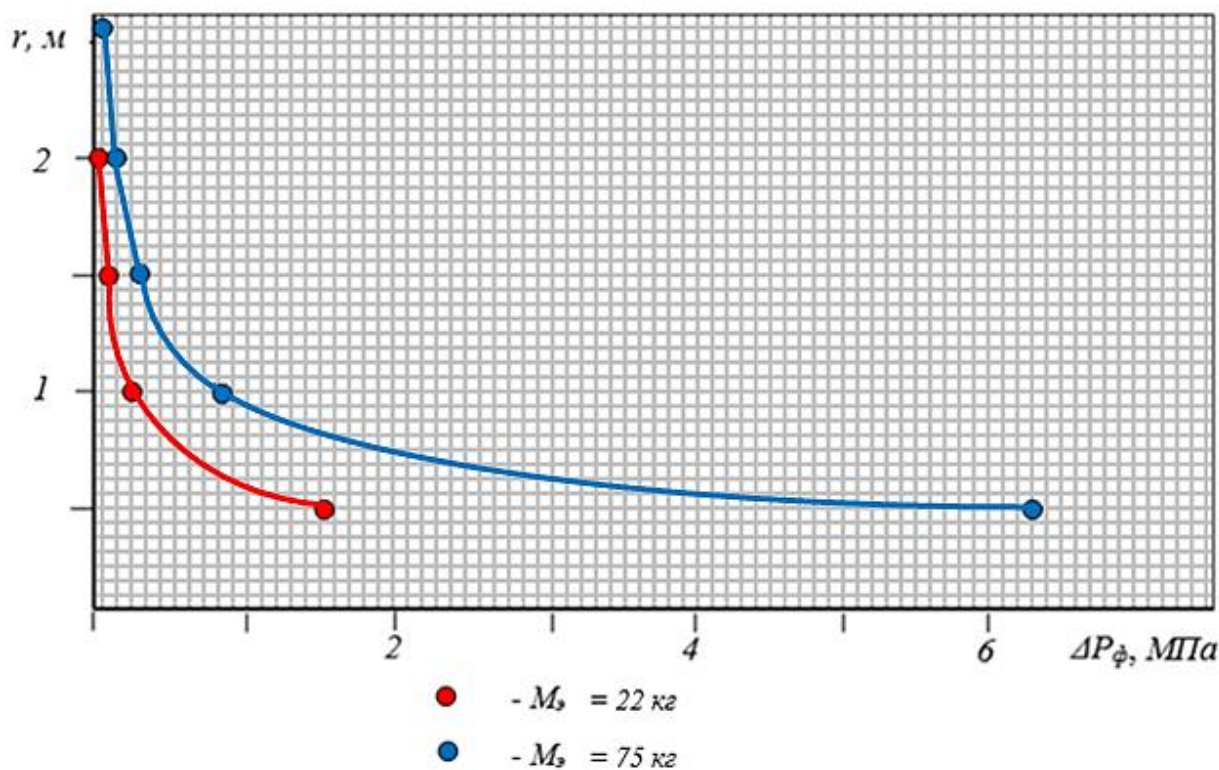


Рисунок 1 – Результаты расчета избыточного давления во фронте ударной волны при инициировании зарядов боеприпасов [Results of calculating the excess pressure in the shock wave front when initiating ammunition charges]

Активный заряд, разрушаясь, образует множество осколков различной массы и формы. Параметры осколочного поля (углы разлета и скорости) имеют широкий диапазон значений. В работе [3] рассмотрена модель для определения предельного значения скорости осколков при неорганизованном дроблении его оболочки. Установлено, что начальная скорость ударной волны существенно превышает скорость осколков, но с некоторого расстояния осколки движутся впереди ВУВ (рис. 2).



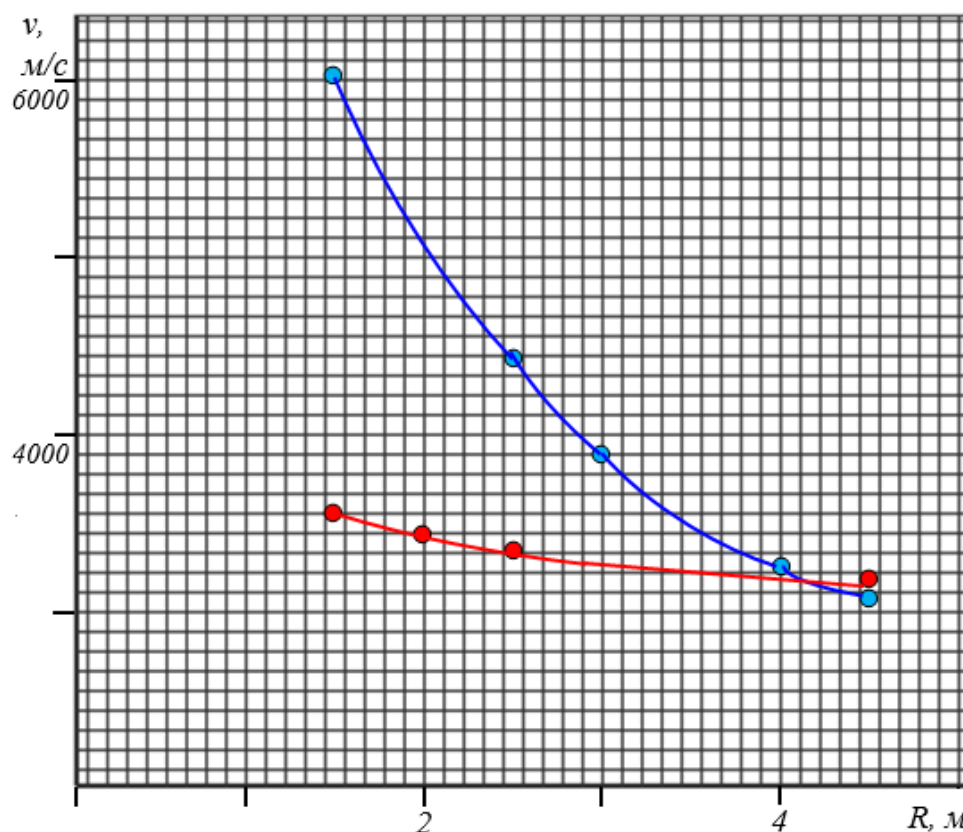


Рисунок 2 – Результаты расчета скоростей фронта ударной волны и осколков при инициировании зарядов боеприпасов [Results of calculating the velocities of the shock wave front and fragments when initiating ammunition charges]

Поражающее действие осколков в основном определяется их скоростью перед преградой, а взрывобезопасность боеприпаса будет оцениваться величиной запреградной скорости. В работе [4] представлена модель, позволяющая определять скорость перед преградой, критическую скорость пробития преграды и скорость осколка за преградой в случае ее пробития.

Критическая скорость пробития преграды может быть определена по формуле (2).

$$v_{кр} = \left[ v_{nn}^2 - v_{zn}^2 \exp\left(2\chi^* \cdot \frac{m_n}{m_0}\right) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

где  $v_{nn}$  – скорость ударника перед преградой;

$m_n$  – масса материала преграды, выбитого ударником;

$\chi^*$  – уточненный параметр;

$m_0$  – масса ударника.

Из выражения (2) определим  $v_{zn}$ . С учетом того, что при скоростях  $\sim 0,3 \div 1,5$  км/с сопротивляемость проникновению ударника  $f = H_d + \chi^* \rho_n v_{nn}$  (здесь  $H_d$  – динамическая твердость материала преграды и  $\rho_n$  – плотность материала преграды) получим формулу (3).

$$v_{zn} = \left[ \frac{v_{nn}^2}{\exp\left(2\chi^* \frac{m_n}{m_0}\right)} - \frac{H_d}{\chi^* \rho_n} \left[ \exp\left(2\chi^* \frac{m_n}{m_0}\right) - 1 \right] \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Скорость перед преградой определяется выражением (4).

$$v_{nn} = v_0 / \exp(-c_x \rho_e S l / 2m_0), \quad (4)$$

где  $c_x$  – коэффициент сопротивления ударника;

$\rho_e$  – плотность воздуха;

$S$  – площадь Миделя;

$l$  – расстояние до преграды;

$v_0$  – начальная скорость ударника.

Анализ результатов расчета показал, что для инициирования взрывчатого превращения в заряде бризантного ВВ запреградная скорость осколка должна превысить 1,05 км/с.

Таким образом, обеспечить ГВБ боеприпасов по показателю  $V_{zn}$ , увеличивая расстояние между БП, невозможно из-за ограниченного объема, в котором они размещены. Это можно обеспечить с помощью применения защитных экранов [5]. Полученные результаты позволили принять ряд конструктивно-технических решений по пассивной защите объектов от воздействия высокоскоростных ударников [6-8].

Одним из направлений дальнейших исследований является поиск оптимальных схем размещения БП в хранилище, обеспечивающих минимизацию количества осколков, попадающих в боеприпасы.

На рисунке 3 представлена система БП ( $S$ ) в хранилище.

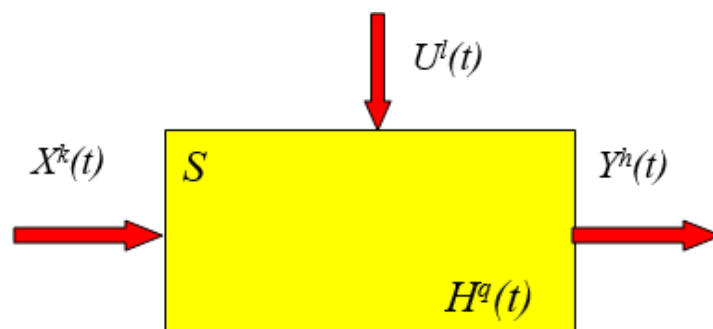


Рисунок 3 – Система боеприпасов [Ammunition system]

Исследуемый объект  $S$  представим в виде модели, которая имеет следующие характеристики:  $X$  – совокупность начальных условий и внешних воздействий;  $H$  – внутренние параметры, определяющие возможные состояния системы;  $Y$  – параметры безопасности системы;  $U$  – параметры управления риском инициирования БП. Используя оператор преобразования  $F_s$ , запишем закон функционирования системы выражением (5).

$$Y^h(t) = F_s[X^k(t), H^q(t), U^l(t)]. \quad (5)$$

Стойкость к параметрам поля взрыва рассматривается как вероятность сохранения работоспособности объекта  $S$  при внешнем воздействии. Ее оценку можно провести с помощью частных показателей: вероятности попадания ПЭ в уязвимую область; вероятности пробития корпуса БП; вероятности инициирования заряда ВВ; вероятности образования необходимых параметров поля взрыва, способных инициировать пассивные БП.

Представим систему БП как площадной объект (рис. 4). Площадь разбивается на зоны поражения ( $1, 2, \dots, n$ ). Пусть один из боеприпасов станет активным в результате

НДВ. Осколки будут воздействовать на другие БП, находящиеся в зоне видимости, вызывая их инициирование [9]. Результаты моделирования показали, что вероятность инициирования всей группы БП без принятия дополнительных мер защиты будет стремиться к 1,0 (независимо от расположения активного боеприпаса).

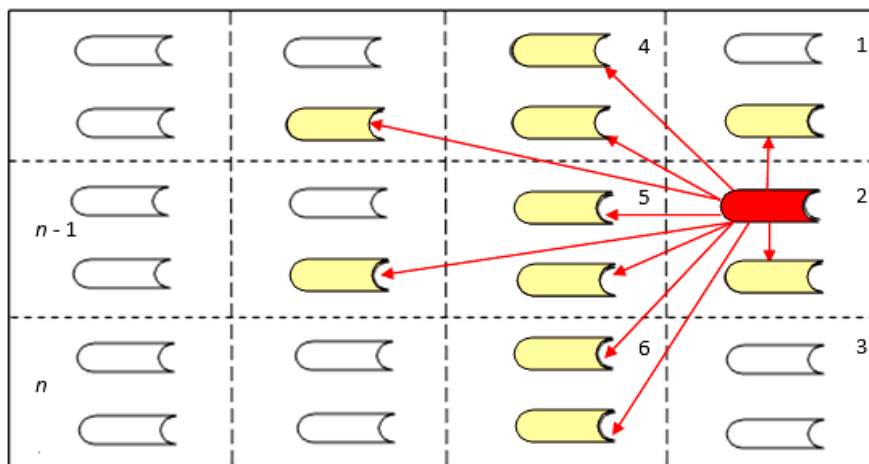


Рисунок 4 – Схема инициирования БП [Ammunition initiation scheme]

Как уже отмечалось, снижения числа последующих взрывов, вызванных инициирующим действием осколков активного боеприпаса, можно достичь путем оптимизации вариантов ориентации БП. Данная задача является многокритериальной и может быть решена с использованием метода Парето, то есть максимальная вероятность  $P_{max}$  взрыва какого-либо БП из группы при конкретном варианте их размещения и математическое ожидание  $M_{\delta n}$  числа взорвавшихся БП в результате поражающего действия осколков при этом же варианте размещения должны быть минимизированы.

Расчет проводился для 28-ми вариантов схем размещения 24 БП с одинаковым количеством ВВ. Из рисунка 5 видно, что только за счет изменения осевой направленности  $P_{max}$  и  $M_{\delta n}$  можно уменьшить в несколько раз.

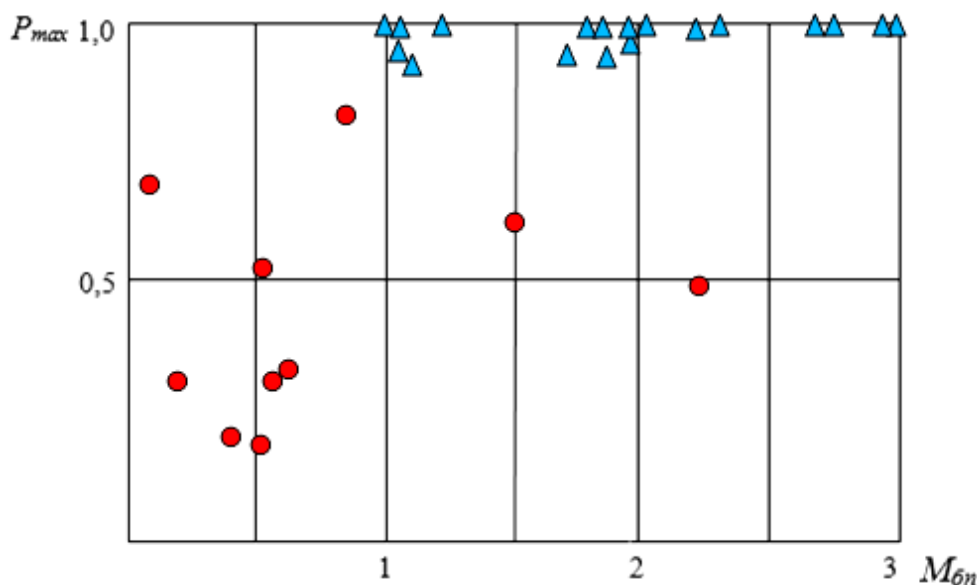


Рисунок 5 – Результаты оптимизации размещения БП [Results of ammunition placement optimization]

Задача определения взрывоопасности объекта с ядерными боеприпасами (ЯБП) с учетом возможности возникновения самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР)

представляет большой интерес. Ее решение сводится к определению факторов, влияющих на исход аварии, их структуры и характера связей между этими факторами.

Одним из главных факторов, влияющих на кинетику СЦР, является начальный фон нейтронов и время их жизни в системе. Нейтроны возникают при делении тяжелых ядер и некоторых типах взаимодействия различных видов излучения с веществом. Они обладают большой проникающей способностью. В условиях реальной аварийной ситуации нейтронное иницирование ядерного заряда, как правило, определяется собственным нейтронным фоном делящихся материалов, входящих в состав ЯБП. Величина этого фона такова, что вероятность иницирования цепной реакции крайне мала. Однако, следует рассмотреть ситуацию, когда на заряд будет влиять внешний фон нейтронов. Реализация подобного воздействия возможна при групповом хранении ЯБП.

Большую часть жизненного цикла значительное число ядерных боеприпасов находится на хранении в специальных хранилищах. На этом этапе безопасность обеспечивается соблюдением требований общей нормативной и эксплуатационной документации. Например, запрещено хранение в одном с ЯБП помещении обычных боеприпасов, а также двухярусное хранение ядерных боеприпасов. Имеются определенные ограничения на совместное хранение различных типов ЯБП.

Для группы ЯБП следует учитывать их концентрацию  $K_{ЯБП}$  на площади объекта, формула (6).

$$K_{ЯБП} = n/(LH). \quad (6)$$

Здесь  $L$  и  $H$  – длина и ширина площадки хранения,  $n$  – количество ЯБП. Тогда на вероятность иницирования СЦР будут влиять скорость генерации нейтронов, время их жизни, а также плотность распределения ЯБП на конкретной площади. В случае размещения нескольких боеприпасов в составе головной части ракеты площадь определяется радиусом платформы, на которой они установлены.

В работе [10] рассмотрена задача воздействия флюенса нейтронов на сферическую оболочку из делящихся материалов. В квазистационарном приближении на основе метода электростатической аналогии получено аналитическое решение задачи диффузии нейтронов в сферической системе координат. Зависимость может быть использована для инженерных расчетов при оценке стойкости к флюенсу нейтронов на начальных этапах анализа нейтронного разогрева и проведении размерных оценок. Ее адекватность подтверждена путем сравнения результатов расчета с результатами расчета по эмпирической зависимости и методикам, приведенным в работах [11, 12]. Удовлетворительная точность результатов даёт возможность предположить, что полученная зависимость позволяет делать расчёты по внутреннему энерговыделению в делящихся материалах при внешнем облучении флюенсом нейтронов без привлечения сложных математических моделей, что важно на начальных этапах моделирования аварийных ситуаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин, В.В. Развитие теории анализа аварийной ситуации при хранении взрывчатых веществ : монография / В.В. Ильин, В.В. Козлов, И.Т. Севрюков. – Пермь : Западно-Уральский институт экономики и права, 2012. – 186 с.
2. 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 (29). – С. 24-30.
3. 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(32). – С. 33-40.
4. Губеладзе, О.А. Моделирование высокоскоростного удара / О.А. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – № 1(14). – С. 61-69.
  5. Губеладзе, О.А. Разработка пассивной защиты подвижного агрегата с ядерно и радиационно опасным объектом / О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 1(30) – С. 7-15.
  6. Сахабудинов, Р.В. Научно-методические основы обеспечения физической защиты ядерноопасных объектов / Р.В. Сахабудинов, О.А. Губеладзе. – Ростов-на-Дону : ООО «Терра», 2006. – 153 с.
  7. Патент 2211434 Российская Федерация, МПК(51) F41H 5/04 (2000.01) F41H 11/08(2000.01). Защитное ограждение : заявитель и патентообладатель Краснов А.А., Ткачев В.П. – № 2002116356/02 ; заявл. 17.06.02 ; опубл. 27.08.03, бюл. № 24. – 8 с.
  8. Патент 2229675 Российская Федерация, МПК(51) F41H 5/14 (2000.01). Мобильный развертываемый защитный экран : заявитель и патентообладатель Краснов А.А., Ткачев В.П. – № 2003106026/02 ; заявл. 03.03.03 ; опубл. 27.05.04, бюл. № 15 – 13 с.
  9. Kubota N. Propellants and Explosives. Thermochemical Aspects of Combustion. – New York: John Wiley & Sons, 2015. – 560 p.
  10. Левченко, Е.М. Анализ процессов в системе подкритических сборов делящихся материалов при внешнем нейтронном облучении / Е.М. Левченко, О.А. Губеладзе, В.М. Хмура // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2010. – № 5 (спецвыпуск) – С. 131-134.
  11. Критические параметры делящихся материалов и ядерная безопасность : справочник / Л.С. Диев, Б.Г. Рязанов, А.П. Мурашов [и др]. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 176 с.
  12. Фролов, В.В. Ядерно-физические методы контроля делящихся веществ / В.В. Фролов. – Москва : Атомиздат, 1976. – 189 с.

## REFERENCES

- [1] Ilyin V.V., Kozlov V.V., Sevryukov I.T. Razvitie teorii analiza avarijnoj situacii pri hranenii vzyryvchatyh veshchestv: monografiy [Development of Theory of Analysis of Emergency Situation in Storage of Explosives: monograph]. Perm': Zapadno-Ural'skiy institut ekonomiki i prava [Perm: West Ural Institute of Economics and Law]. 2012. 186 p. (in Russian).
- [2] 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).
- [3] Gubeladze O.A., Gubeladze A.R. Otsenka posledstviy vozdeystviya kineticheskikh udarnikov na vzyryvoopasnyy ob'ekt s malogabaritnoj yadernoj energeticheskoy 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).
- [4] Gubeladze, O.A. Modelirovanie vysokoskorostnogo udara [Modeling of High-Speed Blow]. Globalnaia iadernaia bezopasnost [Global Nuclear Safety]. 2015. №1. P. 61-69. (in Russian).
- [5] Gubeladze O.A., Gubeladze A.R. Razrabotka passivnoj zashchity podvignogo agregata s yadernoi i radiatsionnoopasnym ob'ektom [Passive Protection Development of the Mobile Unit of Nuclear and Radiation Hazardous Objects]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2019. №1(30). P. 7-15 (in Russian).
- [6] Sakhabudinov R.V., Gubeladze O.A. Nauchno-metodicheskie osnovy obespecheniya fizicheskoy zashchity yadernoopasnykh ob'ektov. [Scientific and Methodical Bases of Ensuring Physical Protection of Nuclear-Dangerous Objects]. Rostov-na-Donu: ООО «Терра» [Rostov-on-Don: Limited liability company «Terra»]. 2006. 153 p. (in Russian).
- [7] Krasnov A.A., Tkachev V.P. Zashchitnoe zagragnenie [Protective boom]. Patent 2211434 Rossiyskaya Federatsiya, MPK(51) F41H 5/04 (2000.01) F41H 11/08(2000.01) [Patent 2211434 Russian Federation, IPC (51) F41H 5/04 (2000.01) F41H 11/08 (2000.01)]. № 2002116356/02; yayavl. 17.06.02; opubl. 27.08.03, byul. № 24. 8 s. [No. 2002116356/02; declared 06.17.02; publ. 08.27.03, bul. No. 24. 8 p.]. 2003 (in Russian).
- [8] Krasnov A.A., Tkachev V.P. Mobilnyj razvertyvaemyj zashchitnyj ekran [Mobile Expandable Protective Screen]. Patent 2229675 Rossiyskaya Federatsiya, MPK(51) F41H 5/14 (2000.01)]. № 2003106026/02 ; yayavl. 03.03.03 ; opubl. 27.05.04, byul. № 15. 13 s. [Patent

- 2229675 Russian Federation, IPC (51) F41H 5/14 (2000.01). No. 2003106026/02; declared 03.03.03; publ. 05/27/04, bul. No. 15. 13 p.]. 2004 (in Russian).
- [9] Kubota N. Propellants and Explosives. Thermochemical Aspects of Combustion. New York: John Wiley & Sons, 2015. 560 p.
- [10] Levchenko E.M., Gubeladze O.A., Khmura V.M. Analiz processov v sisteme podkriticheskikh sborok deljashchihsja materialov pri vneshnem nejtronnom obluchenii [Analysis of Processes in System of Sub-Critical Assemblies of Fissile Materials with External Neutron Irradiation]. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskiye nauki. № S (spetsvypusk) [University News North-Caucasian Region. Technical science series. Application. Special Issue]. 2010. P. 131-134 (in Russian).
- [11] Diev L.S., Ryazanov B.G., Murashov A.P. [and others] Kriticheskie parametry deljashchihsja materialov i jadernaja bezopasnost [Critical Parameters of Fissile Materials and Nuclear Safety]. Moskva: Energoatomizdat [Moscow. Energoatomizdat]. 1984. 176 p. (in Russian).
- [12] Frolov V.V. Jaderno-fizicheskie metody kontrolja deljashchihsja veshchestv [Nuclear-Physical Methods of the Control of Fissile Substances]. Moskva: Atomizdat [Moscow. Atomizdat]. 1976. 189 p. (in Russian).

## Assessment of Ammunition Group Explosiveness in Destructive Effects Conditions and Ways to Reduce It

O.A. Gubeladze<sup>1</sup>, A.R. Gubeladze<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>ORCID iD: 0000-0001-6018-4989

WoS Researcher ID: F-6921-2017

e-mail: buba26021966@yandex.ru

<sup>2</sup>ORCID iD: 0000-0002-6966-6391

WoS Researcher ID: F-7215-2017

e-mail: buba26021966@yandex.ru

**Abstract** – The ammunition placement in a small area creates the group explosion danger as a result of destructive effects. It is impossible to ensure the group explosive safety of ammunition, by increased distance between them, due to the limited volume in which they are placed. This can be achieved by using protective screens against the high-speed strikers impact. Another direction is the search for optimal ammunition placement schemes in storage that minimize the number of fragments falling into ammunition. The neutrons external background influence during the group storage of nuclear ammunition is also considered.

**Ключевые слова:** ammunition, unregulated destructive effects, group explosion hazard, initiating action, self-sustaining chain reaction, neutron fluence.

---

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

---

УДК 623.5

**ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ  
МЕТАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ЗАДАЧЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
СВОЙСТВ УДАРНО СЖАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

© 2021 С.И. Герасимов<sup>\*,\*\*,\*</sup>, В.И. Ерофеев<sup>\*\*\*</sup>, И.В. Занегин<sup>\*</sup>, В.А. Кикеев<sup>\*\*\*</sup>,  
А.П. Калмыков<sup>\*</sup>, Е.Г. Косяк<sup>\*\*</sup>, П.Г. Кузнецов<sup>\*\*</sup>, Н.В. Лапичев<sup>\*</sup>

*\*Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт  
экспериментальной физики, Саров, Нижегородская обл., Россия*

*\*\*Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, Саров,  
Нижегородская обл., Россия*

*\*\*\*Институт проблем машиностроения РАН, Нижний Новгород, Россия*

Описано оборудование баллистического полигона, используемое для исследования физических и механических свойств материалов, подвергаемых воздействию интенсивных динамических нагрузок. Для изучения свойств ударно-сжатых веществ применялись взрывные генераторы ударных волн на основе мощных конденсированных взрывчатых веществ. Кратко изложены методы разгона используемых ударников в разных режимах метания с пушками различного типа. Приведена методическая отработка в пушечных опытах на легкогазовой пушке, в которых подтверждены условия сохранного разгона ударников в стволах пушек и параметры заряжания последних, обеспечивающие требуемые скорости соударения ударника и мишени. Представлены численные и экспериментальные результаты отработки выбранных режимов метания.

*Ключевые слова:* ударно-волновое нагружение, взрывной генератор, баллистическая установка, легкогазовая пушка, дульный выхлоп.

Поступила в редакцию 18.03.2021

После доработки 30.03.2021

Принята к печати 09.04.2021

Исследование физических и механических свойств материалов, подвергаемых воздействию интенсивных динамических нагрузок, представляет собой важную научную проблему. В результате ударно-волнового нагружения в материалах возникают как обратимые, так и необратимые физические, физико-химические и механические процессы, среди них – сильное сжатие твердых тел, экстремально высокие температуры в зонах контакта, фазовые превращения, изменение электронной структуры, упрочнение твердых тел в ударных волнах и т.п. [1]

Для изучения свойств ударно-сжатых веществ, в основном, применялись взрывные генераторы ударных волн на основе мощных конденсированных ВВ. Последние позволяют получать скорости движения ударников от 0,3 до 6 км/с и давления в образцах до ~ 200 ГПа для металлов, близких по плотности к железу [1].

Практика работ с генераторами ударных волн плоской геометрии свидетельствует о том, что разновременность выхода фронта ударной волны из экранов, на которые устанавливаются исследуемые образцы, не лучше 0,05 мкс в круге диаметром 40 мм, что и определяет границы «рабочей» области экранов. Такая симметрия выхода ударной волны в настоящее время неудовлетворительна. Это явилось одной из основных предпосылок широкого применения во многих лабораториях метательных систем пушечного типа вместо генераторов ударных волн, основанных на ВВ, например [2, 3]. Ствольные баллистические установки широко применяются в



исследованиях аэродинамических свойств и полей обтекания гиперскоростных моделей на баллистических полигонах [1].

В наиболее совершенных баллистических установках разгон ударника и его соударение с мишенью осуществляется со значительно меньшим перекосом, чем во взрывных генераторах ударных волн.

Существенное преимущество получения ударных волн при помощи нагружения исследуемой мишени ударником, разгоняемым баллистической установкой, состоит в том, что в процессе «плавного», в отличие от взрывных генераторов ударных волн, разгона ударника в пушке практически не изменяется его термодинамическое состояние. Это дает возможность точно определять параметры начального состояния материала ударника и мишени.

Пороховая пушка ПБП-85 и легкогазовая пушка ЛГП-85/23, используемые в экспериментах, представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пушки (вид спереди – сверху): а) – пороховая пушка ПБП-85; б) – легкогазовая пушка ЛГП-85/23 [Cannons (front view – top): a) – PBP-85 powder gun; b) – light gas gun LGP-85/23]

Основные характеристики используемых пушек представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики пушек [Main characteristics of guns]

| Тип пушки                       | Калибр<br>ствола, мм | Длина ствола, м | Масса ударника с<br>поддоном, кг | Скорость<br>метания, км/с |
|---------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------------------|---------------------------|
| Пороховая пушка ПБП-85          | 85                   | 7 - 14          | 0,8                              | до 2,2                    |
| Легкогазовая пушка<br>ЛГП-85/23 | 23                   | 5 - 10          | 0,02                             | до 7                      |

Следует отметить, что пороховая пушка ПБП-85 по своей сути является первой ступенью двухступенчатой легкогазовой пушки ЛГП-85/23.



Пушки оснащены моноблочной зарядной камерой с затвором винтового типа и двухсекционными стволами. Число секций стволов варьируется в зависимости от требуемой скорости разгона ударника. Испытательный комплекс включает в свой состав технологические системы, предназначенные для заполнения легкогазовой пушки рабочим газом (водородом) до давления  $\sim 10$  Мпа и вакуумирования пороховой и легкогазовых пушек и приемных камер до остаточного давления  $\sim 1,0$  КПа.

Конструкции метаемых объектов (МО) разрабатывались с учетом реализации требуемых программой испытаний скоростей соударения ударника и мишени, прочности метаемого объекта на этапе его разгона в стволе установки и надежной обтюрации метаемых газов. Используемые для исследований свойств ударно сжатых веществ метаемые объекты представляли (рис. 2) собой ударники в виде дисков из алюминиевых сплавов Д16 и АД1, размещаемых на передних торцах поддонов из полиэтилена.

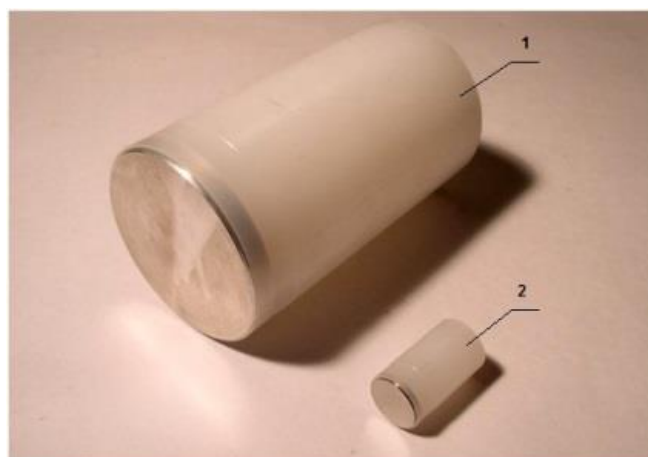


Рисунок 2 – Метаемые объекты для пороховой (1) и легкогазовой (2) пушек [Throwable objects for powder (1) and light gas (2) cannons]

Диаметры ударников были выполнены почти калиберными (83 мм – при калибре ствола 85 мм и 21 мм – при калибре 23 мм), чтобы волны разрежения от их боковых поверхностей не нарушали однородности картины соударения. Поскольку схема проведения эксперимента требует обеспечивать плоскопараллельный подход ударника к исследуемой мишени, лобовая поверхность ударника была обработана методом шлифования для обеспечения ее неплоскостности не хуже 0,01 мм, а сам ударник был размещен в выборке на переднем торце поддона таким образом, чтобы перпендикулярность его лобовой поверхности боковой поверхности поддона была не хуже 0,02 мм.

Длины поддонов и приемных камер выбиралась из условия, чтобы в момент встречи лобовой поверхности ударника с исследуемой мишенью хвостовая часть поддона еще находилась в стволе. Последнее исключает преднагружение исследуемой мишени метаемым газом и обеспечивает плоскопараллельный подход ударника к мишени.

Так как диаметр обтюрирующего пояса поддона превышает диаметр ствола, перед установкой метаемого объекта в ствол пороховой пушки он предварительно выдерживался в холодильной камере при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$  не менее 15 часов с целью исключения необходимости его запрессовки. За время от момента установки метаемого объекта в ствол до выстрела ( $\approx 3,5$  часа) поддон принимал температуру ствола ( $\approx 20^{\circ}\text{C}$ ).

На рисунке 3 приведена зависимость давления пороховых газов от времени, действующего на метаемый объект в стволе, при реализации скорости метаемого объекта на дульном срезе  $\sim 2000$  м/с.

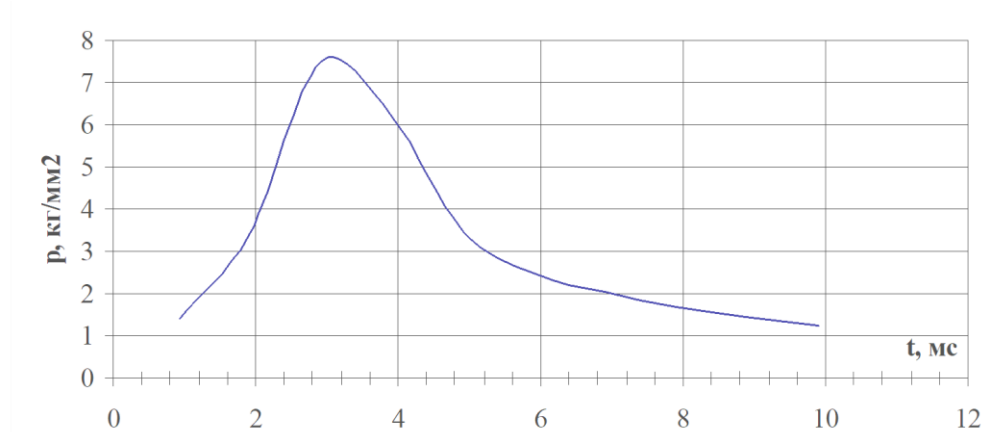


Рисунок 3 – Зависимость давления пороховых газов на метаемый объект от времени при величине дульной скорости  $\sim 2000$  м/с. [Time dependence of the pressure of powder gases on the projectile at a muzzle velocity of  $\sim 2000$  m/s.]

На рисунке 4 представлены графики прогибов  $f$  лобовой поверхности ударника по радиусу  $r$  в фиксированные моменты времени, соответствующие:

$t_m(p_{\max})=2,9$  мс – момент времени максимального нагружения метаемого объекта в стволе пушки;

$t_k=10$  мс – конечный момент времени, предшествующий соударению;

$t_p=8$  мс – промежуточный момент времени ( $t(p_{\max}) < t < t_k$ ),

из которых видно, что величины прогибов (упругие деформации) не превышают 0,03 мм при пике нагрузки и 0,01 мм в момент, предшествующий соударению. Причем наибольшие величины прогибов реализуются на краях ударника.

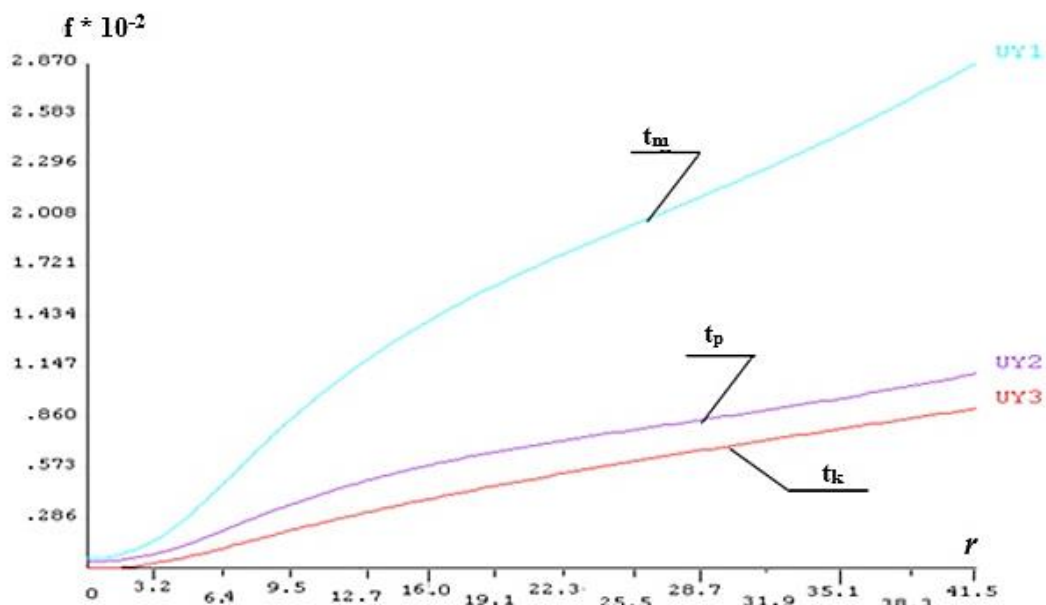


Рисунок 4 – Зависимости прогибов лобовой поверхности ударника от радиуса  $r$  для различных моментов времени движения метаемого объекта по каналу ствола пушки [Dependences of the deflections of striker frontal surface on the radius  $r$  for different moments of movement time of the projectile along the gun barrel bore]

При проведении ударных и осколочных испытаний с использованием пороховых и легкогазовых пушек объект испытаний, как правило, устанавливается на достаточно большом (5-7 м) расстоянии от дульного среза ствола.

При этом метаемый объект к моменту встречи с объектом испытаний заведомо выходит из дульного выхлопа метаемого газа. Это дает возможность использовать для

определения скорости полета метаемого объекта контактных датчиков из металлизированной лавсановой пленки, устанавливаемых на заданном расстоянии (мерной базе) один относительно другого. Величина скорости, определенная на середине мерной базы, экстраполируется в точку удара.

При необходимости проверки точности расчета дульной скорости, измеренная скорость экстраполируется также на дульный срез ствола по той же методике. При этом считается, что движение МО на участке от дульного среза ствола до середины измерительной базы происходит в невозмущенной атмосфере, т.е. влияние дульного выхлопа не учитывается.

Как уже отмечалось выше, для обеспечения плоско-параллельного соударения ударника с исследуемой мишенью мишень устанавливалась в непосредственной близости от дульного среза ствола, и соударение происходило в момент, когда хвостовая часть поддона ещё не вышла из ствола. В этом случае возможность контроля независимым способом скорости соударения, определяемой пересчетом по величине зарегистрированной волновой скорости отсутствует. В связи с этим требовалось обеспечить минимальную погрешность расчета параметров выстрела, для чего перед опытами проводятся методические опыты без мишеней, в которых определялись величины траекторной и дульной скоростей по методике. С использованием полученных результатов уточнялись параметры состояния математической модели процесса выстрела и подбирались параметры заряжания пушки, обеспечивающие требуемые скорости встречи ударников с мишенями.

На рисунке 5 приведены расчеты дульного выхлопа для оценки безопасных расстояний установки регистрирующей аппаратуры в опыте для случая наиболее сильного нагружения.

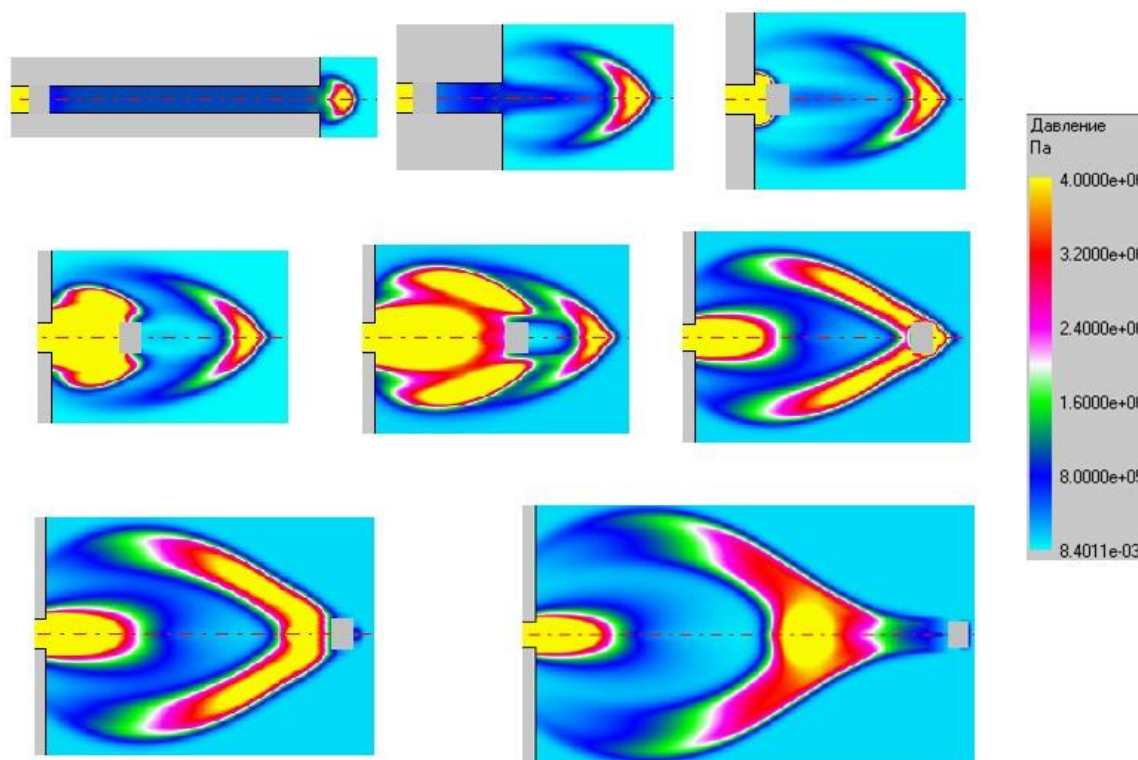


Рисунок 5 – Параметры дульного выхлопа (давление) при выстреле из ЛГП калибра 23 мм со скоростью 7 км/с в атмосферу воздуха ( $p_0=1 \cdot 10^5$  Па) на различные моменты времени [Muzzle exhaust parameters (pressure) when fired from a 23 mm LHP at a speed of 7 km / s into the air ( $p_0=1 \cdot 10^5$  Pa) at different points in time]

В процессе разгона ударника по стволу пушки непосредственно перед ним формируется газовая «пробка» из находящихся в стволе остатков гелия (остаточное давление в стволе после вакуумирования составляет  $\approx 0,001$  МПа) [4]. Датчики давления, расположенные вдоль ствола, регистрируют сначала давление проходящей в их сечениях газовой «пробки», а затем давление пороховых газов, разгоняющих метаемый объект. Давление порохового газа в моменты прохождения МО датчиков изменяется от  $\sim 5.8$  до  $\sim 3$  МПа, тогда как давление в газовой пробке в эти моменты не превышает величины  $0,018$  МПа. Наличие столь существенного перепада позволяет связать скачок на показаниях датчика давления с моментом прохождения задним торцом метаемого объекта этого датчика.

На рисунке 6 представлены расчетные зависимости давления набегающего потока гелия на метаемый объект в процессе его движения по каналу ствола от координаты и распределения давления в набегающем потоке в различные моменты времени для выстрела с дульной скоростью  $V_d=2000$  м/с. При достижении ударником дульного среза давление в газовой пробке достигает  $0,018$  МПа, длина ее составляет  $\sim 3$  м.

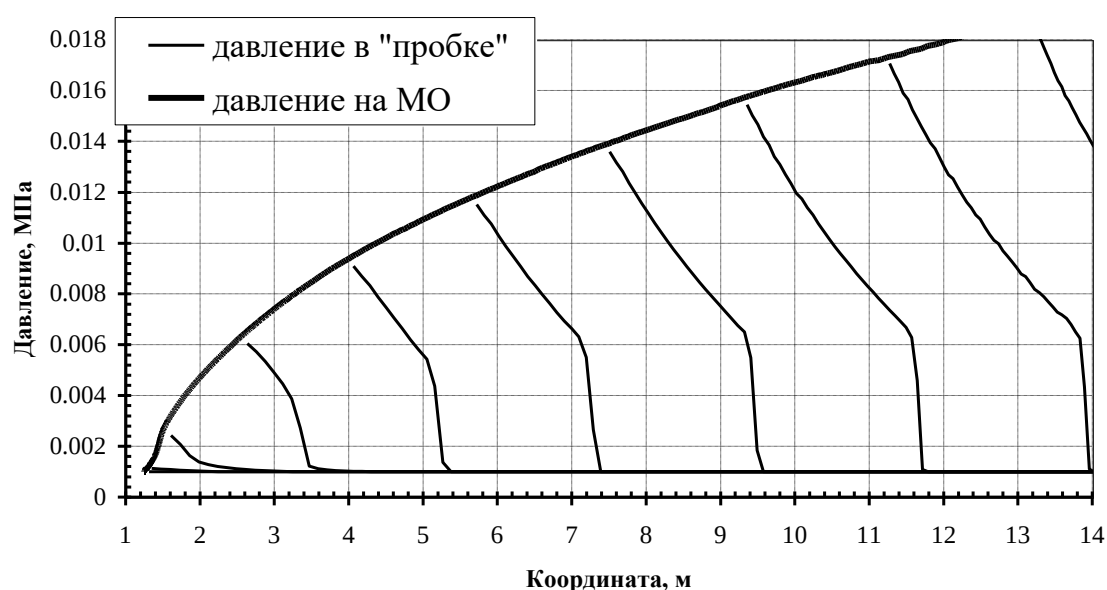


Рисунок 6 – Расчетные зависимости давления набегающего потока гелия на метаемый объект от координаты в процессе его движения по каналу ствола и распределения давления в набегающем потоке в различные моменты времени [Calculated dependences of the pressure of the incoming helium flow on the projectile on the coordinate during its movement along the bore and the pressure distribution in the incoming flow at different times]

В методических опытах отрабатывался режим выстрела, обеспечивающего скорость соударения ударника с мишенью  $\sim 2$  км/с и сохранность метаемого объекта в канале ствола ПБП-85 при его разгоне.

На дульный срез ствола ПБП-85 устанавливался штатный надульник, позволяющий произвести вакуумирование ствола. Метаемый объект, включающий в себя ударник и поддон, выстреливался в атмосферу.

Определение величины дульной скорости осуществлялось двумя независимыми методами:

- а) с использованием фольговых контактных датчиков, установленных на траектории полета метаемого объекта;
- б) с использованием показаний датчиков давления, установленных в стволе пушки.

Определение скорости полета МО на траектории осуществлялось на расстоянии ~5,8м от дульного среза с помощью контактных датчиков [5, 6], где метаемый объект заведомо выходил из зоны дульного выхлопа. Определение величины дульной скорости  $V_0$  метаемого объекта выполнялось пересчетом траекторной скорости на дульный срез ствола по формуле (1):

$$V_0 = V_1 \cdot e^{k \cdot x_1}, \quad k = \frac{\rho \cdot S_M \cdot c_x}{2 \cdot q_{mo}}, \quad (1)$$

где:  $V_1$  – величина траекторной скорости;

$x_1$  – координата точки траектории, в которой  $V=V_1$ ;

$\rho$  – плотность воздуха в набегающем потоке;

$S_M$  – площадь миделя метаемого объекта;

$c_x$  – коэффициент лобового сопротивления метаемого объекта;

$q_{mo}$  – масса метаемого объекта.

В таблице 2 представлена информация по параметрам заряжения пушки и величинам дульных скоростей метаемых объектов в двух опытах, определенным расчетно (спрогнозированный режим метания) и экспериментально, с использованием данных внешнетраекторной и внутрибаллистической регистрации.

Таблица 2 – Параметры заряжения пушки и величины дульных скоростей метаемых объектов в двух опытах [Cannon loading parameters and muzzle velocities of projectile objects in two experiments]

| № оп | Пороховой заряд |          | Глубина установки метаемого объекта, мм | Масса метаемого объекта, г | Дульная скорость, м/с |                                     |                                                           |
|------|-----------------|----------|-----------------------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|      | Тип             | Масса, г |                                         |                            | Расчетная             | Определенная по контактным датчикам | Определенная с использованием показаний датчиков давления |
| 1    | ВТ+             | 1000+    | 1120                                    | 642                        | 2000                  | 2150                                | 2080                                                      |
| 2    | 6/7фл           | 800      | 1120                                    | 642                        |                       | 2100                                | 2100                                                      |

Дульные скорости метаемых объектов, определенные по экспериментальным данным внешнетраекторной и внутрибаллистической регистрации в опытах удовлетворительно согласуются между собой.

Состояние метаемого объекта после вылета из ствола контролировалось с применением фотокамеры с электронно-оптическим затвором на расстоянии 7,4 м от дульного среза пушки [7-11]. Повреждения метаемого объекта отсутствовали. На рисунке 7 представлена фотография метаемого объекта на участке свободного полета в опыте 1.

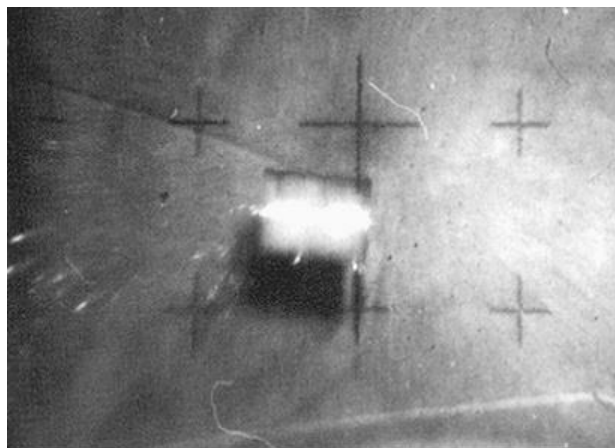


Рисунок 7 – Фотография метаемого объекта за пределами ствола пушки в опыте [Photo of a thrown object outside the barrel of the gun in the experiment]

Состояние метаемого объекта на траектории полета после вылета из ствола контролировалось с помощью рентгеновского аппарата С-150 [12], установленного на расстоянии ~3.8м от дульного среза. Повреждения МО отсутствуют. При этом он имеет значительный угол атаки.

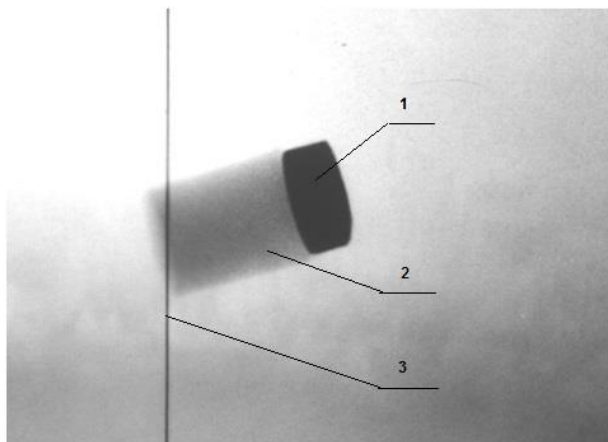


Рисунок 8 – Рентгеновский снимок МО в полете, полученный в методическом опыте: 1 – ударник; 2 – поддон; 3 – отвес [X-ray image of the thrown object in flight, obtained in the methodical experiment: 1 – striker; 2 – pallet; 3 – plumb line]

Проведена методическая отработка в пушечных опытах на легкогазовой пушке, в которых подтверждены условия сохранного разгона ударников в стволах пушек и параметры заряжания последних, обеспечивающие требуемые скорости соударения ударника и мишени.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФ (грант № 21-19-00714).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батьков, Ю.В. Методы исследования свойств материалов при интенсивных динамических нагрузках : монография / Ю.В. Батьков, В.А. Борисенок, В.М. Бельский ; под ред. М.В. Жерноклетова. – Саров : ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2005. – 428 с.
2. Набатов, С.С. Установка для экспериментов с ударными волнами / С.С. Набатов, В.В. Якушев // Проблемы прочности. – 1975. – № 3. – С. 101-102.
3. Митчелл, Неллис Диагностическая система для двухступенчатой легкогазовой пушки Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса / Неллис Митчелл // Приборы для научных исследований. – 1981. – № 3. – С. 14-29.
4. Безопасные условия проведения исследований с баллистическими установками / С.И. Герасимов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2019. – № 9(714). – С. 105-114.
5. Патент на изобретение RU 2698531 C1 РФ. Способ измерения времени пролета метаемым телом мерной базы и устройство для его осуществления, заявитель и патентообладатель ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ. Герасимов С.И., Зубанков А.В., Казаков А.В., Николаев В.А., Шукшин Е.В., опублик. 28.08.2019. Заявка № 2018132908 от 14.09.2018.
6. Патент на изобретение RU 2712371 C1. Регистратор пролета моделью заданного сечения контактного типа, заявитель и патентообладатель ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ. Батарев С.В., Герасимов С.И., Лысенков В.Е., опублик. 28.01.2020. Заявка № 2019108715 от 26.03.2019.
7. Теневая схема с селективным диапазоном фоторегистрации в аэродинамических испытаниях / С.И. Герасимов [и др.] // Научная визуализация. – 2019. – Т. 11, № 2. – С. 1-10.
8. Аппаратный комплекс, реализующий схему одновременного получения изображения быстропротекающего процесса в отраженном и проходящем свете / С.И. Герасимов [и др.] // Приборы и техника эксперимента. – 2020. – № 5. – С. 88-91.
9. Герасимов, С.И. Теневой фоновый метод – оптический метод исследования ударных волн / С.И. Герасимов, Н.А. Трепалов // Журнал технической физики. – 2017. – Т. 87, № 12. – С. 1802-1807.



10. Герасимов, С.И. Условие на скользящем контакте в анализе устойчивости движения ступени на ракетном треке / С.И. Герасимов, В.И. Ерофеев, В.Г. Камчатный, И.А. Одзерихо // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2018. – № 3. – С. 21-27.
11. Герасимов, С.И. Различные механизмы разрушения тел в гиперзвуковом потоке, выявленные с помощью оптической и рентгенографической регистрации / С.И. Герасимов, В.И. Ерофеев, В.А. Кикеев, А.П. Фомкин // Научная визуализация. – 2015. – Т. 7, № 1. – С. 38-44.
12. Рентгенографирование на измерительных комплексах / С.И. Герасимов [и др.] // Научная визуализация. – 2018. – Т. 10, № 2. – С. 1-20.

## REFERENCES

- [1] Batkov Yu.V., Borisenok V.A., Belsky V.M. Metody issledovaniya svoystv materialov pri intensivnykh dinamicheskikh nagruzkakh : monografiya [Methods of Studying the Properties of Materials Under Intense Dynamic Loads: monograph]. Pod red. M.V. Zhernokletova [Edited by M. V. Zhernokletov]. Sarov: FSUE RFNC-VNIIEF, 2005. 428 c. (in Russian).
- [2] Nabatov S.S., Yakushev V.V. Installation for experiments with shock waves [Ustanovka dlya eksperimentov s udarnymi volnami]. Problemy prochnosti [Problems of Strength]. 1975. No.3. P.101-102 (in Russian).
- [3] Mitchell, Nellis. Diagnosticheskaya sistema dlya dvukhstupenchatoy legkogazovoy pushki Livermorskoy natsional'noy laboratorii im. Lourensa [Diagnostic System for a Two-Stage Light-Gas Gun of the Livermore National Laboratory. Lawrence]. Pribory dlya nauchnykh issledovaniy [Devices for scientific research]. 1981. No.3. P.14-29 (in Russian).
- [4] Gerasimov S.I., Odzericho I.A., Gerasimova R.V., Salnikov A.V., Kalmykov A.P., Yanenko B.A. Bezopasnyye usloviya provedeniya issledovaniy s ballisticheskimi ustanovkami [Safe Conditions for Conducting Research with Ballistic Installations]. Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye [University News. Mechanical Engineering]. 2019. No9(714). P.105-114 (in Russian).
- [5] Sposob izmereniya vremeni proleta metayemym telom mernoy bazy i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya, zayavitel' i patentoobladatel' FGUP RFYATS-VNIIEF [Patent for the Invention RU 2698531 C1 of the Russian Federation. A Method of Measuring the Time of Flight by a Throwing Body of Measuring Base and Device for its Implementation, the Applicant and Patent Holder of the FSUE RFNC-VNIIEF]. Gerasimov S. I., Zubankov A.V., Kazakov A.V., Nikolaev V. A., Shukshin E. V., publ. 28.08.2019. Application No. 2018132908 of 14.09.2018 (in Russian).
- [6] Patent na izobreteniya RU 2712371 C1. Registrator proleta model'yu zadannogo secheniya kontaktnogo tipa, zayavitel' i patentoobladatel' FGUP RFYATS-VNIIEF [Patent for the Invention RU 2712371 C1. The Registrar of the Span with a Model of a Given Section of the Contact Type, the Applicant and Patent Holder of the FSUE RFNC-VNIIEF]. Batarev S. V., Gerasimov S. I., Lysenkov V. E., publ. 28.01.2020. Application No. 2019108715 of 26.03.2019 (in Russian).
- [7] Gerasimov S.I., Kikeev V.A., Kuzmin V.A., Totyshev K.V., Fomkin A.P., Gerasimova R.V. Tenevaya skhema s selektivnym diapazonom fotoregistratsii v aerodinamicheskikh ispytaniyakh [Shadow Scheme with Selective Range of Photoregistration in Aerodynamic Tests]. Nauchnaya vizualizatsiya [Scientific Visualization]. 2019. Vol.11. No.2. P.1-10 (in Russian).
- [8] Gerasimov S.I., Erofeev V.I., Krutik M.I., Totyshev K.V., Kosyak E.G., Kuznetsov P.G., Gerasimova R.V. Apparatnyy kompleks, realizuyushchiy skhemu odnovremennogo polucheniya izobrazheniya bystroprotekayushchego protsessa v otrazhennom i prokhodyashchem svete [Hardware Complex that Implements a Scheme for Simultaneously Obtaining Images of a Fast-Flowing Process in Reflected and Transmitted Light]. Pribory i tekhnika eksperimenta [Instruments and Techniques of Experiment]. 2020. No.5. P.88-91 (in Russian).
- [9] Gerasimov S.I., Trepalov N.A. Tenevoy fonovyy metod – opticheskiy metod issledovaniya udarnykh voln [Shadow Background Method - an Optical Method of Studying Shock Waves]. Zhurnal tekhnicheskoy fiziki [Journal of Technical Physics]. 2017. Vol.87. No.12. P.1802-1807 (in Russian).
- [10] Gerasimov S.I., Erofeev V.I., Kamchatny V.G., Odzericho I.A. Usloviye na skol'zyashchem kontakte v analize ustoychivosti dvizheniya stupeni na raketnom treke [Condition on the Sliding Contact in the Analysis of the Stability of the Movement of the Stage on the Rocket Track]. Problemy mashinostroyeniya i nadezhnosti mashin [Problems of Mechanical Engineering and Machine Reliability]. 2018. No.3. P.21-27 (in Russian).
- [11] Gerasimov S.I., Erofeev V.I., Kikeev V.A., Fomkin A.P. Razlichnyye mekhanizmy razrusheniya tel v giperzvukovom potoke, vyavlennyye s pomoshch'yu opticheskoy i rentgenograficheskoy registratsii [Various Mechanisms of Destruction of Bodies in a Hypersonic Flow, Revealed by

- Optical and Radiographic Registration]. Nauchnaya vizualizatsiya [Scientific Visualization]. 2015. Vol.7. No.1. P. 38-44 (in Russian).
- [12] Gerasimov S.I., Zakharov D.V., Zubankov A.V., Kikeev V.A., Polienko G.V., Khoroshailo E.S. Rentgenografirovaniye na izmeritel'nykh kompleksakh [Radiography on Measuring Complexes]. Nauchnaya vizualizatsiya [Scientific Visualization]. 2018. Vol.10, No.2. P.1-20 (in Russian).

### Possibility of Using Ballistic Missile Launchers in the Study of Shock-Compressed Substance Properties

S.I. Gerasimov<sup>\*,\*\*,\*\*\*1</sup>, V.I. Erofeev<sup>\*\*\*2</sup>, I.V. Zanegin<sup>\*3</sup>, V.A. Kikeev<sup>\*\*\*4</sup>, A.P. Kalmykov<sup>\*5</sup>,  
E.G. Kosyak<sup>\*\*6</sup>, P.G. Kuznetsov<sup>\*\*7</sup>, N.V. Lapichev<sup>\*8</sup>

<sup>\*</sup>Russian Federal Nuclear Center – All-Russia Research Institute of Experimental Physics, 607188 Russia, Sarov, Nizhny Novgorod region, Mir Av., 37

<sup>\*\*</sup>Sarov Physics and Technical Institute of NRNU «MEPHI», 607186 Russia, Nizhny Novgorod region

<sup>\*\*\*</sup>Institute of Problems of Mechanical Engineering, 603024 Nizhny Novgorod Russia

E-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

<sup>1</sup>ORCID iD: 0000-0002-6850-0816

WOS Researcher ID: L-2727-2016

e-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

<sup>2</sup>ORCID iD: 0000-0002-6637-5564

e-mail: erf04@mts-nn.ru

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-8377-7522

igzanegin@yandex.ru

<sup>4</sup>ORCID iD: 0000-0002-2375-0803

e-mail: vkikeev@mail.ru

<sup>5</sup>ORCID iD: 0000-0002-9689-6838

akalm12@yandex.ru

<sup>6</sup>ORCID: 0000-0001-6291-2396

keg@sarfti.ru

<sup>7</sup>ORCID: 0000-0003-2691-206X

kpg@sarfti.ru

<sup>8</sup>ORCID: 0000-0002-3231-7251

lapich1001@yandex.ru

**Abstract** – The paper describes ballistic test site equipment used for studying the physical and mechanical properties of materials exposed to intense dynamic loads. To study the properties of shock-compressed substances, explosive shock wave generators based on powerful condensed explosives are used. The methods of dispersal of the used strikers in different throwing modes with different types of guns are briefly described. The methodological development in cannon experiments on light-gas guns is given, in which the conditions of safe acceleration of the strikers in the barrels of the guns and the loading parameters of the latter which provide the required collision speeds of the striker and the target are confirmed. Numerical and experimental results of testing the selected throwing modes are presented.

**Keywords:** shock-wave loading, explosive generator, ballistic installation, light-gas gun, muzzle exhaust.



---

## ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

---

УДК 001.83:574 (669)

### НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКИМ ВОПРОСАМ В НИГЕРИИ

© 2021 Б.К. Орумо, А.П. Елохин, А.И. Ксенофонов

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

В работе рассматриваются вопросы международного сотрудничества по экологическим вопросам в Нигерии: роль международных соглашений в области экологии окружающей среды; основные принципы международного сотрудничества в области охраны окружающей среды; вопросы экологического образования в Нигерии; принципы руководства экологическими проектами; ряд мер, направленных на уменьшение атмосферных загрязнений, а так же вопросы координации, как между государственными, так и между международными организациями, занимающимися подобными проблемами. Особую актуальность рассматриваемые вопросы приобретают в связи с обсуждением возможности строительства АЭС в Нигерии.

*Ключевые слова:* экология окружающей среды, международное сотрудничество, экологическое образование, международные соглашения, принципы охраны окружающей среды.

Поступила в редакцию 25.02.2021

После доработки 21.04.2021

Принята к печати 11.05.2021

#### **Введение**

Охрана экологических чистых природных ресурсов, таких как вода, воздух, почва, а также продуктов питания является одной из главных проблем международного сотрудничества. Это обусловлено как климатическими изменениями, энергетическим кризисом, так и демографией населения Земли, воздействия которых на окружающую среду приводит к возникновению экологического кризиса, создающего ряд региональных и глобальных последствий, которые могут быть решены только совместными усилиями международного сообщества. Такое сотрудничество оказывается возможным в том случае, если несколько заинтересованных стран проводят совместную встречу и, достигнув определенной договоренности, приходят к некоторым рамочным соглашениям, согласованным по целям, задачам, методам решения проблем и конечным результатам, подготавливая в дальнейшем документацию, и осуществляя в целом реализацию проектов, представляя разработанные, в рамках сотрудничества, международные стандарты в области охраны окружающей среды. С другой стороны, до тех пор, пока загрязнение окружающей среды имеет место, наиболее успешным способом выхода из этой ситуации является объединение усилий на международном уровне, поскольку связь между странами обеспечивает определенную платформу для накопления и распространения специальных знаний и обмена соответствующими ресурсами. Во время такого сотрудничества легко получить реальные ресурсы, включая информацию, финансовую поддержку, экспертов. Следует отметить, что рост уровней экономической активности в развитых странах и, напротив, значительное ухудшение финансового положения местного населения (аборигенов), приводит в развивающихся странах к сокращению населения, занимающегося сельским хозяйством (рис. 1) которое наблюдалось во всех

странах мира в XX веке, резкой урбанизации населения и соответственно к обострению социальных (росту преступности) и экологических проблем, в частности к таким, как уничтожение тропических лесов (рис. 2) [1], росту антисанитарии и т.д. [2, 3].

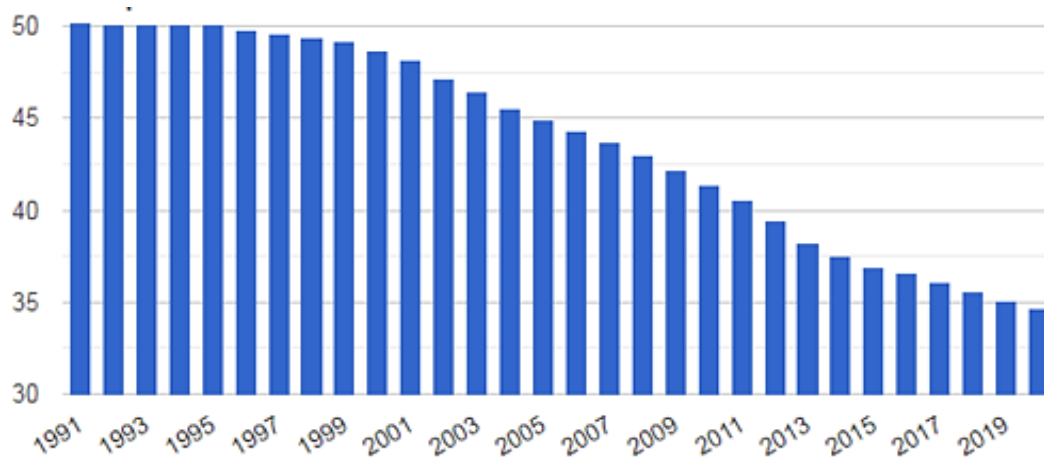


Рисунок 1 – Диаграмма занятости в Нигерии местного населения в сельском хозяйстве [Local population employment chart in agriculture in Nigeria]

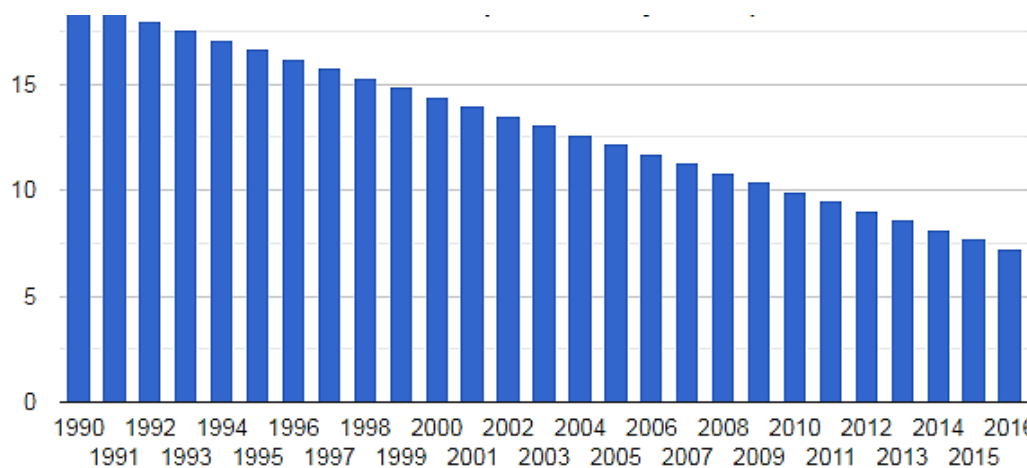


Рисунок 2 – Диаграмма сокращения лесных угодий в Нигерии [Chart of deforestation in Nigeria]

Ухудшение материального положения местного населения, занимающегося сельским хозяйством, приводит к необходимости продажи их небольших земельных наделов, поскольку они не могут выдержать конкурентную борьбу с крупными землевладельцами. В этом случае они уходят в город, увеличивая городское население, но в силу отсутствия соответствующего образования не могут найти работу, а потому не имеют возможности снять приличное жилье, оседая в городских трущобах, увеличивая армию безработных и социально-экологическую нагрузку на город и окружающую среду. В настоящее время население трущоб составляют рабочие мигранты со всей Западной Африки. На этом фоне в стране рассматривается возможность развития атомной энергетики, что сделает вопросы охраны окружающей среды и обеспечение экологической безопасности еще более значимыми.

Экологические проблемы в развивающихся странах, в особенности экологический ущерб, причиняемый неуправляемой индустриализацией, с одной стороны, и неконтролируемой эксплуатацией природных ресурсов, с другой стороны, ставят под угрозу существования коренного населения этих регионов. Подобное «развитие» регионов некоторых развивающихся стран требует принятия срочных мер в рамках глобального сотрудничества, поскольку может привести не только к экологическим проблемам в указанных регионах, но и к негативным социальным последствиям.

Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды основывается на ряде принятых норм международного права, в которых основное внимание уделяется ее охране. Его оригинальность связана с принципом, согласно которому каждое государство не должно допускать использования своей территории для нанесения ущерба территории других государств. С тех пор международное экологическое право было расширено целым рядом имеющих обязательную юридическую силу международных соглашений. Эти соглашения охватывают широкий круг вопросов: от загрязнения суши, морских и речных акваторий, атмосферы до охраны дикой природы и ее биоразнообразия. Ее основными событиями и ключевыми конституционными моментами стали Конвенция Организации Объединенных Наций по окружающей человека среде 1972 г. в Стокгольме и конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию 1992 г. в Рио-де-Жанейро [4, 5].

В мире с конкурирующими юрисдикциями и многоуровневыми органами управления экологические проблемы присущи не только одному государству или региону. Например, загрязнение приводит в регионе к ущербу, который, в конечном итоге, затрагивает и соседние области. Эти проблемы являются общими для сопредельных стран. Это относится к большинству вопросов даже в том случае, если они носят локальный характер и не выходят за рамки национальных границ. Экологические проблемы встречаются во всем мире, что и обуславливает широкий интерес директивных органов, который они и демонстрируют в мире [6]. Сравнительный анализ помогает выявить основные причины, проблемы и может способствовать распространению политики, технологий и обмену передовым опытом. Кроме того, в зависимости от того, в какой степени та или иная проблема требует существенного научно-технического финансирования, международное сотрудничество в данном случае может способствовать получению знаний и обмену этими знаниями, а также сокращению расходов и повышению общей эффективности. Таким образом, можно сказать, что наиболее ценным вкладом в данном случае является получение интеллектуального капитала, финансирования, информации и технологии, что способствует экономической интеграции всех стран сотрудничества. Цель международного сотрудничества в области охраны окружающей среды состоит в сохранении окружающей среды как необходимого условия естественного проживания человечества. Поэтому крайне важно, чтобы все страны, включая Нигерию, имеющие общие границы, вместе создавали и укрепляли механизмы рационального природопользования.

#### **Роль международных соглашений в области экологии окружающей среды**

Согласование международных соглашений в области экологии окружающей среды является одним из основных путей выхода мирового сообщества из экологического кризиса. Общеизвестно, что стратегия выхода из нее может быть реализована только на основе единства действий всех государств в области охраны окружающей среды. Сегодня ни одна страна не может решить свои экологические проблемы в одиночку или сотрудничать с небольшой группой стран, поэтому необходимы четкие скоординированные усилия всех государств, а также координация их действий на строгой международно-правовой основе. Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды регулируется международным экологическим правом, основанным на общепризнанных принципах и нормах. Окружающую среду можно рассматривать как часть общего достояния человечества, поскольку некоторые циклы и механизмы природы действуют за пределами национальных границ. [7] Действия в одной стране зачастую оказывают прямое воздействие на другую. Международные договоры и конвенции помогают обеспечить рациональное использование общих ресурсов, а также общее и эффективное решение

экологических проблем, включая глобальное потепление и сохранение биоразнообразия. Нигерия является участником нескольких региональных и международных соглашений. Сотрудничество между государствами, внутри регионов и на международном уровне имеет важнейшее значение для охраны экологических ресурсов и мирного использования таких ресурсов на устойчивой основе.

Например, река Нигер берет свое начало в Гвинее и простирается на расстояние 4180 км через Мали, Республику Нигер и Нигерию. Поскольку бассейн реки Нигер расположен на территории 10 стран, управление водными ресурсами координируется на международном уровне Управлением бассейна реки Нигер (НБА). Одной из основных инициатив НБА стало принятие и осуществление Плана действий в области устойчивого развития [8], который в наибольшей степени включает в себя управление несколькими гидроэлектростанциями и сельскохозяйственными плотинами, построенными вдоль реки. НБА поддерживает прочные правовые рамки сотрудничества в области управления водными ресурсами и поощряет сотрудничество в области потенциальных инвестиций между странами с речными границами, кроме того, она отвечает за то, чтобы водопользование в реке Нигер имело смысл для всего бассейна и отвечало интересам местных общин. Региональное и международное сотрудничество позволяет обмениваться знаниями, обязанностями, опытом и техническими ноу-хау в решении экологических проблем, а отсутствие сотрудничества между странами может привести к конфликтам в области ресурсов, региональной нестабильности, и неустойчивому использованию экологических ресурсов. Например, ранее существование плотин на реке Нигер в сочетании с изменчивостью климата привело в прошлом к возникновению недопонимания между странами, разделяющими эту реку. Проект строительства плотины Селинг в 1982 г. совпал с периодом засухи, и страны нижнего течения считали, что Мали сохранила воду, что привело к снижению стока рек. Такие инциденты теперь могут рассматриваться НБА, поскольку данные собираются и передаются между странами [9].

Природа не знает государственных границ, она универсальна и едина, поэтому нарушения в экосистеме одной страны неизбежно вызовут реакцию в соседних. Компоненты природной среды, такие как речной сток, морские воды, мигрирующие виды животных и т.д., так же не признают государственных границ.

#### **Участие Нигерии в международном сотрудничестве в области охраны окружающей среды**

В целях содействия экологической устойчивости в соответствии с международными соглашениями Нигерия разработала Национальную политику в области окружающей среды 1999 г. (документ пересмотрен в 2016 г.) – ключевой политический документ, определяющий принципы устойчивого развития. В настоящем документе политика и программы, относящиеся к широким категориям экологического компонента, касаются лесного хозяйства, биоразнообразия, борьбы с загрязнением, деградации земель, управления водными ресурсами, изменения климата, морской и прибрежной среды, чистой энергии и экологической преступности.

Нигерия принимала участие в различных природоохранных конференциях, благодаря которым страна подписала несколько договоров и конвенций по окружающей среде [4] (табл. 1). Эти договоры и конвенции, подписанные Нигерией и другими странами, направлены на урегулирование ряда проблем, касающихся как межконтинентальных перевозок опасных отходов, так и сокращения площадей лесных массивов, запрещению и прекращению торговых сделок различными видами птиц, животных и насекомых, которые находятся под угрозой исчезновения, а также охраны водно-болотных угодий [4, 10, 11].

Таблица 1 – Договоры и конвенции Нигерии по окружающей среде [Nigeria treaties and conventions on the environment]

| Название договора или конвенции                                                                                                              | Год подписания | Год исполнения |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Африканская конвенция об охране природы и природных ресурсов                                                                                 | 1968           | 1974           |
| Конвенция об охране всемирного культурного и природного наследия                                                                             | 1972           | 1975           |
| Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения (СИТЕС)                                 | 1973           | 1987           |
| Венская конвенция об охране озонового слоя и Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой                                   | 1985           | 1988           |
| Поправка к Конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением                                                  | 2004           | 2019           |
| Международная конвенция о гражданской ответственности за ущерб от загрязнения бункерным топливом                                             | 2010           | 2011           |
| Протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата                                                            | 2004           | 2005           |
| Поправки к Конвенции о физической защите ядерного материала                                                                                  | 2007           | 2016           |
| Международная конвенция по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке | 1994           | 1996           |
| Поправка к Монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой                                                                   | 2004           | 2004           |
| Киотский протокол к Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата                                                            | 1997           | 1997           |
| Протокол к Конвенции о предотвращении загрязнения моря сбросами отходов и других материалов                                                  | 2010           | 2010           |

Правительство успешно создало некоторые институциональные механизмы экологического руководства. Созданное федеральное министерство по охране окружающей среды уполномочено обеспечивать качественную окружающую среду, благоприятную для здоровья и благополучия фауны и флоры; содействовать устойчивому использованию природных ресурсов; восстанавливать и поддерживать экосистему; повышать уровень информированности общественности и содействовать более глубокому пониманию взаимосвязей между окружающей средой и населением.

Одной из основных проблем, вызывающих озабоченность федерального правительства Нигерии, является неуклонное сокращение площади национальных лесов и усилия по обеспечению устойчивого лесопользования. С этой целью на основе разработки соответствующих стратегий и плана действий предпринимаются соответствующие действия и программы, направленные на сохранение лесных угодий. Серьезные экологические и социально-экономические последствия опустынивания и засухи в Нигерии также побудили правительство осуществлять проекты орошения водосборных бассейнов, которые широко демонстрируют его приверженность делу содействия устойчивому развитию сельского хозяйства и сельских районов.

Кроме того, в 2016 г. федеральное правительство поставило перед собой политическую задачу в отношении биологического разнообразия с учетом соответствующего положения Конвенции о биологическом разнообразии. Для ее достижения осуществляются приоритетные программы расширения сети национальных парков и заповедников, а также сбора данных о флоре и фауне Нигерии. Кроме того, в попытке обеспечить устойчивое использование наших прибрежных вод и прилегающих к ним земель правительство разработало план действий по борьбе с загрязнением акватории реки Нигер и сохранению биологического разнообразия в районе ее дельты.

Федеральное правительство Нигерии ввело в действие законы и положения, с тем, чтобы разведка и добыча нефтяных ресурсов, как на суше, так и на море могли контролироваться правовыми системами, направленными на сведение к минимуму экологических последствий и рисков для здоровья человека [12]. Международное

сообщество, равно как и правительство Нигерии признало, что опустынивание – глобальная экономическая, социальная и экологическая проблема для многих стран во всех регионах мира, и оно не может в одиночку справиться с этой проблемой без привлечения других государств [13]. С этой целью правительство Нигерии способствовало привлечению других субъектов, включая частный сектор, неправительственные организации НПО, организации на базе общин и частных инвесторов.

### **Экологическое образование в Нигерии**

Экологическое образование (ЭО) играет важную роль в формировании знаний, позитивного отношения и поведения в отношении окружающей среды среди членов общества [14]. Она помогает просвещать людей в том, что касается их окружающей среды и последствий их действий. Согласно [15], поскольку образование может помочь найти новые пути формирования положительного отношения и способности к преодолению пагубного для окружающей среды поведения, постольку оно может привести к желанию и готовности отдельных лиц принимать меры в интересах окружающей среды. Потребность в ЭО является существенно важной и обязательной для системы образования в Нигерии. Потребность в ЭО или спрос на него обусловлен как результатом пренебрежительного отношения общества к проблеме экологии окружающей среды, так и отсутствием культуры по отношению к природе, что, в конечном итоге, и приводит к экологическому коллапсу – деградации сельскохозяйственных земель, загрязнению речного и прибрежного морского бассейнов, деградации рыбных запасов, что, в конечном итоге, оказывает негативное воздействие на население. Это объясняется тем фактом, что многие нигерийцы не обладают знаниями в области окружающей среды, даже несмотря на то, что они имеют определенный доступ к общему образованию (рис. 3) [1], и поэтому они не осознают ценности природы и не воспринимают проблему, возникающую между человеком и окружающей средой. Возникающий минимум на диаграмме, по-видимому, обусловлен мировым кризисом 2008 года.

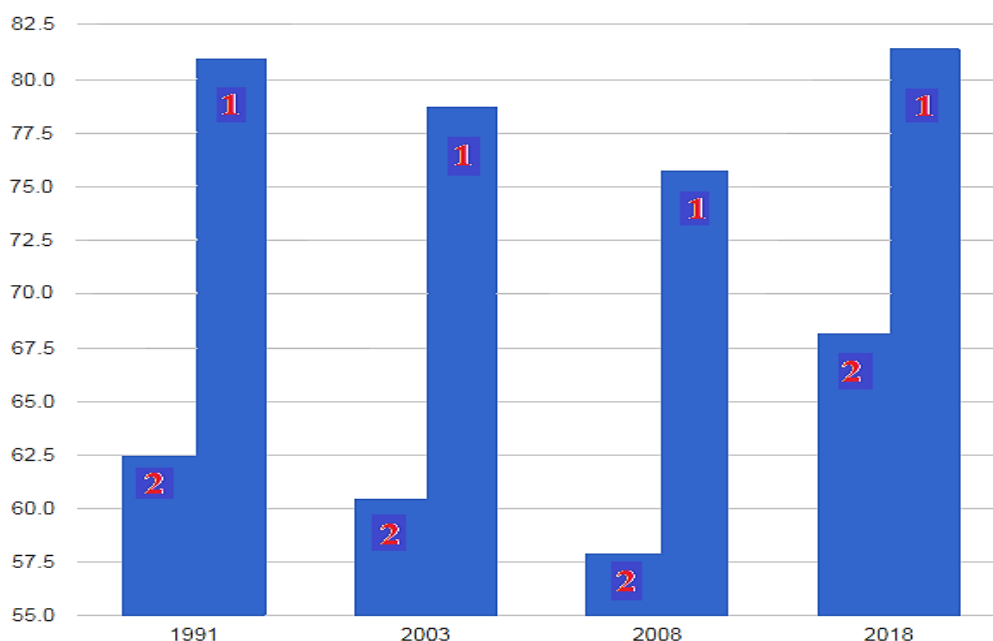


Рисунок 3 – Диаграмма уровня грамотности в Нигерии среди мужчин (1) и женщин (2) возраста 15-24 лет [Chart of literacy rate among men (1) and women (2) aged 15-24 years old in Nigeria]

Охрана окружающей среды в Нигерии уже давно закреплена в нигерийском законодательстве и в официальной институциональной структуре для решения различных экологических проблем, с которыми сталкивается общество. Согласно [16],

усилия Нигерии в области охраны окружающей среды предпринимались со времени британского колониального господства в 1900-х годах на основе подзаконных актов. После этого в школах преподавалась экология в форме изучения ряда предметов природы, содержащих основные экологические понятия термины и основные законы, по причине того, что природоохранная тематика являлась одной из главных тем на международных форумах. Это послужило причиной того, что Нигерия начала плотное осуществление программы

ЭО уже в 1970-х гг. в ответ на предложения всемирных встреч на высшем уровне по экологическим вопросам [14]. После этого ЮНЕСКО выступила спонсором национального практикума по включению элементов ЭО в национальную школьную программу и учебную программу. Соответственно, после усилий НКФ по обеспечению включения вопросов энергоэффективности в учебную программу Нигерии была разработана Национальная стратегия просвещения по вопросам охраны природы, которая была принята федеральным правительством. Университеты и колледжи Нигерии начали вносить свой вклад в создание института ученых, который обеспечил бы эффективное достижение целей экологического просвещения, среди которых – «Программа экологического образования» Университета Бенина, представленная в 2007 г. Департаментом здравоохранения.

Вместе с тем следует заметить, что наличие в стране бакалавров, магистров и докторов экологии еще не дает гарантии того, что идея охраны окружающей среды будет принята населением. Эти специалисты могут донести информацию до населения, если правительство в целом и государственные структуры в частности будут способствовать распространению этой информации при соответствующем финансировании экологических программ. Однако население и все действующие компании должны быть охвачены не только с помощью информационных программ, но и путем непосредственного участия в этих программах с помощью налоговых систем, штрафов и других фискальных мер.

### **Результаты международного сотрудничества в Нигерии**

Очевидно, что региональное и международное сотрудничество способствует обмену знаниями, опытом и техническими ноу-хау в решении экологических проблем. Нигерия, используя подобный опыт, также может извлечь определенную пользу из такого сотрудничества. В рамках содействия комплексному обеспечению экологической инфраструктуры, водоснабжения, санитарии, дренажа и удаления твердых отходов в стране осуществляется Программа основных городских услуг (ПБПБ). Для проведения мониторинга атмосферного загрязнения федеральным правительством Нигерии в 1993 г. под эгидой Всемирной метеорологической организации (ВМО) создана региональная станция экологического мониторинга, осуществляющая измерение и анализ фоновое загрязнение атмосферы. Индекс уязвимости Нигерии к изменению климата, опубликованный британской компанией Maplecroft, классифицирует ее как страну с высоким риском в южной части и экстремальным риском на севере. Решения экологических проблем, связанных с указанными рисками, осуществляется в рамках двустороннего сотрудничества со Всемирным банком в рамках осуществляемого при содействии этого банка проекта по рациональному использованию окружающей среды в Нигерии. [17]

Для решения проблемы бесконтрольного сокращения лесных угодий было начато осуществление ряда текущих программ и проектов по созданию контроля, корректирующего процесс сокращения лесов [17]. Основными финансирующими учреждениями являются Африканский банк развития (АБР) и Всемирный банк. Начатый в 1987 г. при содействии АБР проект в области лесоводства по-прежнему осуществляется с использованием займа в размере 100 миллионов долларов. Кроме того, при решении указанных выше проблем могут оказать помощь ряд таких

международных организаций как Продовольственная и сельскохозяйственная организация ФАО, Международный фонд сельскохозяйственного развития МФСР, Европейский союз, Глобальный экологический фонд ГЭФ и др.

### Заключение

Таким образом, краткий анализ экологических проблем, возникающих в Нигерии, показывает, что их решение требует международного сотрудничества. К числу этих проблем относятся: демографический взрыв; утрата биоразнообразия; изменение климата; загрязнение воздушной среды, акваторий и т.д. Нигерия также вносит свой вклад в решение этих проблем, но поскольку проблемы носят трансграничный характер и не зависят от национальных границ различных государств, последние начали осуществлять глубокое международное сотрудничество в целях поиска их решений. Поэтому на протяжении ряда лет в рамках международных конференций предпринимались различные усилия с целью выработки общих платформ, на основе которых можно было бы найти приемлемые для всех условия их решения. В ходе этих конференций международное сообщество смогло ввести в действие и обеспечить соблюдение множества международных экологических законов, регулирующих использование природных ресурсов экологически безопасным образом. Следует отметить, что региональное и международное сотрудничество, включая вспомогательные организации ООН, способствует обмену знаниями, обязанностями, опытом и техническими ноу-хау в решении экологических проблем. Нигерия воспользовалась этим сотрудничеством, что позволило ей получить надлежащую финансовую и техническую поддержку, создавать институциональные механизмы и готовить квалифицированные кадры для оптимального решения указанных проблем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нигерия: экономический рост/. – URL : [https://ru.theglobaleconomy.com/Nigeria/Economic\\_growth/](https://ru.theglobaleconomy.com/Nigeria/Economic_growth/).
2. Орумо, К.Б. Экологические и социально-экономические аспекты возможного развития атомной энергетики в Федеративной Республике Нигерия / К.Б. Орумо, А.П. Елохин, А.И. Ксенофонтов // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 4(33). – С. 96-109.
3. Орумо, К.Б. Правовой и экономический механизмы охраны окружающей среды в федеральной республике Нигерия / К.Б. Орумо, А.П. Елохин, А.И. Ксенофонтов // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). – 2020. – № 6(75), Ч. 7. – С. 13-27.
4. Hart Lawrence, Orupabo Sika. Applicable international environmental impact assessment laws for the Niger Delta Area of Nigeria. African Journal of Environmental Science and Technology. 2016. № 10(11). P. 386-393.
5. Chuka Enuke. Challenges of International Environmental Cooperation. Global Journal of Human-Social Science (B) Geography, Geo-Sciences, Environmental Science & Disaster Management. 2018. Volume 18, Issue 3, Version 1.0. P. 7-15. URL : [https://globaljournals.org/GJHSS\\_Volume18/2-Challenges-of-International.pdf](https://globaljournals.org/GJHSS_Volume18/2-Challenges-of-International.pdf).
6. Aliyu Ahmed-Hameed. The Challenges of Implementing International Treaties in Third World Countries: The Case of Maritime and Environmental Treaties Implementation in Nigeria. Journal of Law, Policy and Globalization. 2016. Vol.50. P.22-30.
7. Елохин, А.П. Основы экологии и радиационно-экологического контроля окружающей среды / А.П. Елохин, А.И. Ксенофонтов, И.В. Пырков // Москва : НИЯУ МИФИ, 2016. – 680 с.
8. Andersen Inger, Dione Ousmane, Jarosewich-Holder Martha, Olivry Jean-Claude, Golitzen Katherin George. The Niger River Basin : A Vision for Sustainable Management. Water P-Notes. 2008. No. 16. World Bank, Washington, DC. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/11747> License: CC BY 3.0 IGO.
9. Marisa Goulden, Roger Few. Climate Change, Water and ConflIct in the Niger River Basin. International Alert. 2011. 70 p. URL: [https://www.international-alert.org/sites/default/files/ClimateChange\\_WaterConflictNigerRiver\\_EN\\_2011.pdf](https://www.international-alert.org/sites/default/files/ClimateChange_WaterConflictNigerRiver_EN_2011.pdf).
10. Aniefiok E. Ite, Usenobong F. Ufot, Margaret U. Ite, Idongesit O. Isaac and Udo J. Ibok. Petroleum Industry in Nigeria: Environmental Issues, National Environmental Legislation and Implementation of International Environmental Law. American Journal of Environmental Protection. 2016; 4(1):21-37. doi: 10.12691/env-4-1-3.



11. Onyenekenwa Cyprian Eneh. Managing Nigeria's Environment: The Unresolved Issues. *Journal of Environmental Science and Technology*. March 2011. 4(3). P. 250-263. DOI:10.3923/jest.2011.250.263
12. Ite A.E., Ibok U.J., Ite, M.U., Petters S.W. Petroleum Exploration and Production: Past and Present Environmental Issues in the Nigeria's Niger Delta. *American Journal of Environmental Protection*. 2013. №1. P.78-90. DOI:10.12691/env-1-4-2.
13. Federal republic of Nigeria. Ministry of environment great green wall for the sahara and sahel initiative. National strategic action plan. October 2012. URL: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/great\\_green\\_wall/docs/NIGERIA-GGWSAP\\_FINAL\\_Oct\\_2012.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/great_green_wall/docs/NIGERIA-GGWSAP_FINAL_Oct_2012.pdf).
14. Erhabor Igbinsola Norris. Actualizing the Goals of Environmental Education in Nigeria. *Journal of Education and Practice*. 2016. 7(8). P.1-5.
15. Kongsak Thathong. A spiritual dimension and environmental education: Buddhism and environmental crisis. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012. №46. P.5063-5068.
16. Jackson Onome Robinson. Environmental Education and Sustainable Development in Nigeria: Breaking the Missing Link. *International Journal of Education and Research*. 2013. Vol. 1 No. 5. P.1-6.
17. Nigeria. Country profil. EImplementation of agenda 21: review of progress made since the United Nations conference on environment and development, 1992. URL: <https://www.un.org/esa/earthsummit/nigeriac.htm>.

## REFERENCES

- [1] Nigeriya: ekonomicheskij rost [Nigeria: Economic Growth] / – URL: [https://ru.theglobaleconomy.com/Nigeria/Economic\\_growth/](https://ru.theglobaleconomy.com/Nigeria/Economic_growth/) (in Russian).
- [2] Orumo K.B. Ekologicheskie i social'no-ekonomicheskie aspekty vozmozhnogo razvitiya atomnoj energetiki v Federativnoj Respublike Nigeriya [Environmental and Social, Economic Aspects of the Possible Development of Nuclear Energy in the Federal Republic of Nigeria] / K.B. Orumo, A.P. Elohin, A.I. Ksenofontov // *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. – 2019. – № 4(33). – P. 96-109 (in Russian).
- [3] Orumo, K.B. Pravovoj i ekonomicheskij mekhanizmy ohrany okruzhayushchej sredy v federal'noj respublike Nigeriya [Legal and Economic Mechanisms for Environmental Protection in the Federal Republic of Nigeria] / K.B. Orumo, A.P. Elohin, A.I. Ksenofontov // *Evrazijskij Soyuz Uchenyh (ESU)* [Eurasian Union of Scientists (EUS)]. – 2020. – № 6(75), Part. 7. – P. 13-27 (in Russian).
- [4] Hart Lawrence, Orupabo Sika. Applicable International Environmental Impact Assessment Laws for the Niger Delta Area of Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 2016. № 10(11). P. 386-393 (in English).
- [5] Chuka Enuke. Challenges of International Environmental Cooperation. *Global Journal of Human-Social Science (B) Geography, Geo-Sciences, Environmental Science & Disaster Management*. 2018. Volume 18, Issue 3, Version 1.0. P. 7-15. URL: [https://globaljournals.org/GJHSS\\_Volume18/2-Challenges-of-International.pdf](https://globaljournals.org/GJHSS_Volume18/2-Challenges-of-International.pdf) (in English).
- [6] Aliyu Ahmed-Hameed. The Challenges of Implementing International Treaties in Third World Countries: The Case of Maritime and Environmental Treaties Implementation in Nigeria. *Journal of Law, Policy and Globalization*. 2016. Vol.50. P.22-30 (in English).
- [7] Elohin, A.P. Osnovy ekologii i radiacionno-ekologicheskogo kontrolya okruzhayushchej sredy [Fundamentals of Ecology and Radiation-ecological Monitoring of the Environment] / A.P. Elohin, A.I. Ksenofontov, I.V. Pyrkov // *Moskva : NIYAU MIFI* [Moscow:NRNU MEPhI], 2016. – 680 p. (in Russian).
- [8] Andersen Inger, Dione Ousmane, Jarosewich-Holder Martha, Olivry Jean-Claude, Golitzen Katherin George. The Niger River Basin : A Vision for Sustainable Management. *Water P-Notes*. 2008. No. 16. World Bank, Washington, DC. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/11747> License: CC BY 3.0 IGO (in English).
- [9] Marisa Goulden, Roger Few. Climate Change, Water and Conflict in the Niger River Basin. *International Alert*. 2011. 70 p. URL: [https://www.international-alert.org/sites/default/files/ClimateChange\\_WaterConflictNigerRiver\\_EN\\_2011.pdf](https://www.international-alert.org/sites/default/files/ClimateChange_WaterConflictNigerRiver_EN_2011.pdf) (in English).
- [10] Aniefiok E. Ite, Usenobong F. Ufot, Margaret U. Ite, Idongesit O. Isaac and Udo J. Ibok. Petroleum Industry in Nigeria: Environmental Issues, National Environmental Legislation and Implementation of International Environmental Law. *American Journal of Environmental Protection*. 2016; 4(1):21-37. doi: 10.12691/env-4-1-3 (in English).
- [11] Onyenekenwa Cyprian Eneh. Managing Nigeria's Environment: The Unresolved Issues. *Journal of Environmental Science and Technology*. March 2011. 4(3). P.250-263. DOI:10.3923/jest.2011.250.263 (in English).

- [12] *Ite A.E., Ibok U.J., Ite, M.U., Petters S.W.* Petroleum Exploration and Production: Past and Present Environmental Issues in the Nigeria's Niger Delta. *American Journal of Environmental Protection*. 2013. №1. P.78-90. DOI:10.12691/env-1-4-2 (in English).
- [13] Federal Republic of Nigeria. Ministry of Environment Great Green Wall for the Sahara and Sahel Initiative. National Strategic Action Plan. October 2012. URL: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/great\\_green\\_wall/docs/NIGERIA-GGWSAP\\_FINAL\\_Oct\\_2012.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/great_green_wall/docs/NIGERIA-GGWSAP_FINAL_Oct_2012.pdf) (in English).
- [14] *Erhabor Igbinsola Norris.* Actualizing the Goals of Environmental Education in Nigeria. *Journal of Education and Practice*. 2016. 7(8). P.1-5 (in English).
- [15] *Kongsak Thathong.* A Spiritual Dimension and Environmental Education: Buddhism and Environmental Crisis. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012. №46. P.5063-5068 (in English).
- [16] Jackson Onome Robinson. Environmental Education and Sustainable Development in Nigeria: Breaking the Missing Link. *International Journal of Education and Research*. 2013. Vol. 1 No. 5. P.1-6 (in English).
- [17] Nigeria. Country Profil. EImplementation of Agenda 21: Review of Progress Made since the United Nations Conference on Environment and Development, 1992. URL: <https://www.un.org/esa/earthsummit/nigeriac.htm> (in English).

### Some Aspects of International Cooperation in Environmental Issues in Nigeria

**B.K. Orumo<sup>1</sup>, A.P. Elokhin<sup>2</sup>, A.I. Ksenofontov<sup>3</sup>**

*National Research Nuclear University Moscow Engineering Physics Institute (NRNU MEPhI),  
Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409*

<sup>1</sup>ORCID iD: 0000-0001-6251-1736

ResearcherID: S-9359-2019

e-mail: [orumokenoll@yahoo.com](mailto:orumokenoll@yahoo.com)

<sup>2</sup>ORCID iD: 0000-0002-7682-8504

WoS Researcher ID: G-9573-2017

e-mail: [elokhin@yandex.ru](mailto:elokhin@yandex.ru)

<sup>3</sup>ORCID iD: 0000-0002-6864-9805

WoS Researcher ID: H-1833-2017

e-mail: [AIKsenofontov@mephi.ru](mailto:AIKsenofontov@mephi.ru)

**Abstract** – The paper discusses the issues of international cooperation on environmental issues in Nigeria: the role of international agreements in the field of environmental ecology; basic principles of international cooperation in the field of environmental protection; environmental education in Nigeria; principles of environmental project management; and a number of measures to reduce atmospheric pollution. The issues of coordination both between the state and between international organizations dealing with similar problems, as well as issues of mutually beneficial cooperation in the field of environmental ecology are considered in the research paper. The issues under consideration acquire particular relevance in connection with the discussion of the possibility of nuclear power plant building in Nigeria.

**Keywords:** ecology of the environment, international cooperation, environmental education, international agreements, principles of environmental protection.

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

[539.4 : 624.012.45.04] : 621.039.538

**АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ  
ТРЕХЛУЧЕВОЙ ТРАВЕРСЫ ДЛЯ МОНТАЖА АРМОБЛОКА  
БЕТОННОЙ ШАХТЫ РЕАКТОРА**

© 2021 С.А. Томилин, Р.В. Пирожков, Е.А. Цвелик, Э.В. Пинчук, С.Ф. Годунов

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

К надежности и прочности конструкций, используемых при монтаже оборудования атомных электростанций, предъявляются повышенные требования. В то же время излишний запас прочности применяемого оборудования приводит к повышению его габаритов, веса и существенному удорожанию. Вопрос уменьшения металлоёмкости конструкций с сохранением требуемых критериев работоспособности данного оборудования очень актуален. В работе представлена модель оптимизации конструкции трехлучевой траверсы грузоподъемностью 100 т для монтажа армоблока бетонной шахты реактора. Проведен проверочный расчет и предложены на его основе рекомендации по оптимизации конструктивных параметров.

*Ключевые слова:* прочность, устойчивость, надежность, проверочный расчет, оптимизация конструкции, монтаж, траверса, конструкция атомной станции.

Поступила в редакцию 05.02.2021

После доработки 09.03.2021

Принята к печати 22.03.2021

Для оборудования, используемого при монтаже конструкций атомных станций, предъявляются повышенные требования к критериям работоспособности, в частности к прочности и надежности [1, 2, 11, 12]. В то же время, разумное уменьшение металлоемкости, оптимизация конструкций позволяет существенно сократить расходы и время на изготовление и монтаж, а так же упростить процесс управления данным оборудованием при его использовании [3, 4].

При построении модели поиска оптимальных параметров металлоемкости, которые обеспечат минимальные материальные затраты  $Z$ , необходимо учитывать требования к запасу прочности изделия. Затраты  $Z$  функционально зависят от диаметра используемых в конструкции траверсы труб  $\{d_i\}$ , т.е.  $Z=f(\{d_i\})$ .

В то же время, запас прочности  $\Delta\sigma_i$  каждого отдельного  $i$ -го элемента траверсы также определяется диаметром трубы этого элемента:  $\Delta\sigma_i=g(d_i)$  и должен быть  $>0$ . Математическая модель задачи рационального выбора конструктивных размеров примет вид:

$$\begin{aligned} Z=f(\{d_i\}) \rightarrow \min \\ \begin{cases} \Delta\sigma_1 = g(d_1) > 0 \\ \dots \\ \Delta\sigma_i = g(d_i) > 0 \end{cases} \end{aligned}$$

Проведем проверочный расчет трехлучевой траверсы грузоподъемностью 100 т для монтажа армблока бетонной шахты реактора, и на основе его результатов дадим рекомендации по оптимизации ее конструкции в части сокращения металлоемкости и упрощения некоторых ее элементов [5, 6].

Общий вид траверсы и схема ее нагружения изображены на рисунке 1.

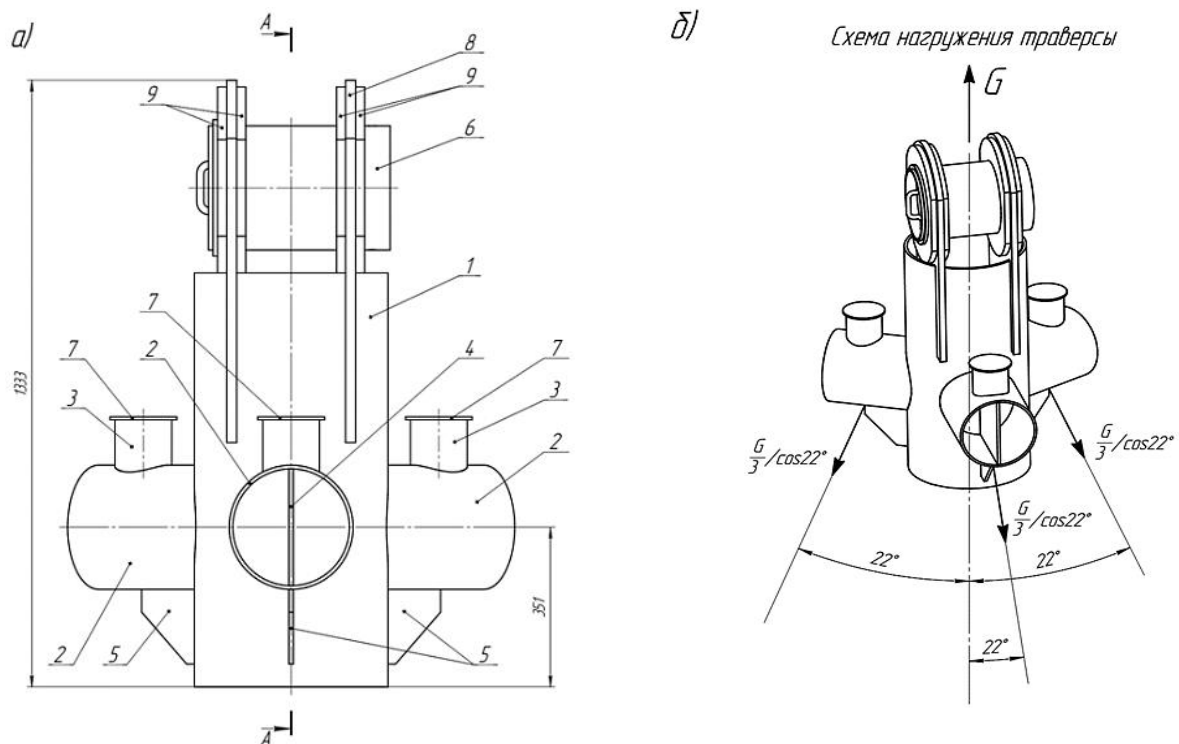


Рисунок 1 – Траверса трёхлучевая: а) – общий вид (1 – рама, 2 – фланец несущий, 3 – фланец упорный, 4, 5 – ребро жёсткости, 6 – палец, 7 – ребро, 8 – проушина, 9 – косынка); б) – схема нагружения  
[Three-beam traverse: a) - general view (1 - frame, 2 - bearing flange, 3 - thrust flange, 4, 5 - stiffening rib, 6 - pin, 7 - rib, 8 - eyelet, 9 - kerchief); b) - loading scheme]

Силовая цепь замыкается в последовательности: канаты строповочные (3 шт.) – фланцы несущие (3 шт.) – рама – проушины (2 шт.) – палец – канат подъёмный. Нормативное усилие в канате подъёмном  $G_H = 100 \text{ тс} = 980 \text{ кН}$ .

Расчётное усилие в канате подъёмном определяется  $G = G_H \gamma_H \gamma_D = 980 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 1186 \text{ кН}$  ( $\gamma_H$  – коэффициент перегрузки, учитывающий возможное отклонение фактической нагрузки от нормативной;  $\gamma_D$  – коэффициент динамичности, учитывающий повышение нагрузки, связанное с изменением скорости подъёма).

Расчётное усилие в канате строповочном определяется

$$G_{CT} = G_H / (3 \cos 22^\circ) = 426 \text{ кН}.$$

Выполним проверочный расчёт на прочность и устойчивость основных несущих элементов траверсы. На рисунке 2 показан продольный разрез по оси симметрии.



Координата центра тяжести сечения фланца с рёбрами определяется по формуле (1):

$$y_c = \frac{y_{c1}A_1 + y_{c2}A_2}{A_1 + A_2} = \frac{82 \cdot 1640 + 300,5 \cdot 9623}{1640 + 9623} = \frac{3026191,5}{11263} = 268 \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $y_{c1} = \frac{h_n}{2} = \frac{164}{2} = 82 \text{ мм};$

$y_{c2} = \frac{D}{2} + h_n = \frac{273}{2} + 164 = 300,5 \text{ мм}$  координаты центров тяжести отдельных фигур в осях  $Y-X$ .

Площадь сечения наружного ребра жёсткости определяется  $A_1 = bh_n = 10 \cdot 164 = 1640 \text{ мм}^2$ .

Площадь сечения внутреннего ребра жёсткости вместе с сечением фланца определяется  $A_2 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) + bh_e = \frac{3,14}{4}(273^2 - 256^2) + 10 \cdot 256 = 9623 \text{ мм}^2$ .

Момент инерции относительно оси  $X_c$  определяется по формуле (2):

$$J_{X_c} = J_{X_{c1}} + A_1 a_1^2 + J_{X_{c2}} + A_2 a_2^2 = 0,3676 \cdot 10^7 + 1640 \cdot 186,7^2 + 7,58 \cdot 10^7 + 9623 \cdot 31,8^2 = 14,64 \cdot 10^7 \text{ мм}^4, \quad (2)$$

где  $J_{X_{c1}} = \frac{bh_n^3}{12} = \frac{10 \cdot 164^3}{12} = 3,676 \cdot 10^6 \text{ мм}^4$  – собственный момент инерции наружного ребра жёсткости;

$$J_{X_{c2}} = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) + \frac{bh_e^3}{12} = \frac{3,14}{64}(273^4 - 256^4) + \frac{10 \cdot 256^3}{12} = 6,183 \cdot 10^7 + 1,398 \cdot 10^7 = 7,58 \cdot 10^7 \text{ мм}^4$$

фланца вместе с внутренним ребром жёсткости;

$$a_1 = y_{c1} - y_c = 82 - 268,7 = -186,7 \text{ мм};$$

$$a_2 = y_{c2} - y_c = 300,5 - 268,7 = 31,8 \text{ мм}.$$

Моменты сопротивления сечения при изгибе относительно центральной оси  $X_c$  определяется по формулам (3) и (4):

$$W_{X_{c\min}} = \frac{J_{X_c}}{y_{c\max}} = \frac{14,64 \cdot 10^7}{268,7} = 544723 \text{ мм}^3 \quad (3)$$

$$W_{X_{c\max}} = \frac{J_{X_c}}{y_{c\min}} = \frac{14,64 \cdot 10^7}{168,3} = 869875 \text{ мм}^3 \quad (4)$$

где  $y_{c\max} = 268,7 \text{ мм}$  – расстояние от центра тяжести сечения до нижнего наружного волокна;

$y_{c\min} = 168,3 \text{ мм}$  – расстояние от центра тяжести сечения до верхнего наружного волокна.

$$\text{Нагрузка на один фланец определяется } G_{CT} = \frac{G}{3 \cdot \cos 22^\circ} = \frac{1186}{3 \cdot \cos 22^\circ} = 426,4 \text{ кН}.$$

Разложим силу  $G_{CT}$  на составляющие:

$$Q = G_{CT} \cos 22^\circ = 426,4 \cdot \cos 22^\circ = 395,4 \text{ кН};$$

$$N = G_{CT} \sin 22^\circ = 426,4 \cdot \sin 22^\circ = 160 \text{ кН}.$$

Фланец работает при сложном сопротивлении: прямой поперечный изгиб и растяжение.

Нагрузку, действующую на несущий фланец, переносим на ось упорного фланца. Силы  $Q$  и  $N$  считаем приложенными в центре тяжести сечения. Изгибающий момент, возникающий в заделке (крепление сварными швами несущего фланца к раме), равен  $M = Q \cdot (0,1 + 0,069) = 395,4 \cdot 0,169 = 66,8 \approx 67 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

Условие прочности имеет вид формулы (5):

$$\frac{N}{A} + \frac{M}{W} = R_y \gamma_c, \quad (5)$$

где  $R_y = 215$  – расчётное сопротивление по пределу текучести при растяжении и изгибе принимаем для Ст 3 [1, 2].

Опасное сечение – несимметричное, поэтому в точках  $A$  и  $B$  разные моменты сопротивления.

$$\text{Для точки } A: W_{X_{C(\max)}} = 869875 \text{ мм}^3.$$

$$\text{Для точки } B: W_{X_{C(\min)}} = 544723 \text{ мм}^3.$$

$$\text{Для точки } A: \sigma_A = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_{X_{C(\max)}}} = \frac{160 \cdot 10^3}{11263,4} + \frac{67 \cdot 10^6}{869875} = 96,38 \text{ МПа}.$$

$$\text{Для точки } B: \sigma_B = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_{X_{C(\min)}}} = \frac{160 \cdot 10^3}{11263,4} - \frac{67 \cdot 10^6}{544723} = -109 \text{ МПа}.$$

$$\text{Проверка: } \sigma_B \leq R_y \gamma_c; \quad 109 < 215 \cdot 0,8 = 172 \text{ МПа}.$$

Запас прочности  $\sim 1,58$ .

Условие прочности на условный срез по касательным напряжениям [1] имеет вид

$$\frac{Q}{A} \leq R_s = 0,58 R_y \gamma_c, \quad R_s = 0,58 \cdot 215 \cdot 0,8 = 99,76 \approx 100.$$

Проверка:

$$\frac{395,4 \cdot 10^3}{11263,4} = 35,1 < 100$$

Запас прочности  $\sim 2,8$ .

### Расчёт углового сварного шва крепления несущей траверсы к раме

Расчёт производится по металлу шва. При расчёте сварного соединения угловыми швами при одновременном действии продольной силы  $N$ , поперечной силы  $Q$  и изгибающего момента  $M$  должно быть выполнено условие [1, 5, 7], формула (6):

$$\frac{\tau_f}{R_{wf}\gamma_c} \leq 1 \quad (6)$$

где  $\tau_f = \sqrt{\tau_Q^2 + (\tau_N + \tau_M)^2}$  – напряжение в расчётной точке сварного соединения по металлу шва; коэффициент условия работы шва  $\gamma_{wf}$  принимается равным 1.

При отсутствии установленных нормами необходимых данных допускается принимать для угловых швов  $R_{wf} = 0,44R_{un}$  [1];  $R_{un} = 410$  – временное сопротивление основного металла [1].

Длину шва принимаем равную сумме длины окружности трубы фланца и длины периметра рёбер:

$$l_w = \pi D + 2(h_n + h_g) = 3,14 \cdot 273 + 2(164 + 256) = 1697,6 \approx 1700 \text{ мм}.$$

Касательные напряжения среза от продольной силы:

$$\tau_N = \frac{N}{\beta_F k_f l_w} = \frac{160 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 8 \cdot 1700} = 16,8 \approx 17 \text{ МПа}.$$

Касательные напряжения среза от поперечной силы:

$$\tau_Q = \frac{Q}{\beta_F k_f l_w} = \frac{395,4 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 8 \cdot 1700} = 41,58 \approx 42 \text{ МПа}.$$

Касательные напряжения среза от изгибающего момента:

$$\tau_M = \frac{M}{W_f} = \frac{67 \cdot 10^6}{773395} = 86,8 \approx 87 \text{ МПа} \quad (W_f - \text{момент сопротивления шва в расчётном сечении});$$

$$y_{cui} = \frac{A_1 y_{c1} + A_2 y_{c2}}{A_1 + A_2} = \frac{2624 \cdot 82 + 11058 \cdot 300,5}{2624 + 11058} = \frac{3538097}{13682} = 258,6 \text{ мм}.$$

Определим составляющие:

– площади угловых швов несущего фланца и внутреннего ребра жёсткости:

$$A_2 = \pi \left( D + \frac{k_f}{2} \right) k_f + 2h_g k_f = 3,14 \left( 273 + \frac{8}{2} \right) 8 + 2 \cdot 256 \cdot 8 = 11057,8 \approx 11058 \text{ мм}^2$$

$$A_1 = 2h_n k_f = 2 \cdot 164 \cdot 8 = 2624 \text{ мм}^2; - \text{координаты центра тяжести:}$$

$y_{c2} = 300,5$  – координата центра тяжести углового шва внутреннего ребра жёсткости и фланца;

$y_{c1} = 82$  – координата центра тяжести углового шва наружного ребра жёсткости.

Момент инерции сварного шва определяется по формуле (7):

$$J_{x_{ui}} = J_{x_{ui1}} + A_1 a_1^2 + J_{x_{ui2}} + A_2 a_2^2 = 9,213 \cdot 10^7 + 2624 \cdot 176,6^2 + 0,588 \cdot 10^7 + 11058 \cdot 41,9^2 = 19,9 \approx 20 \cdot 10^7 \text{ мм}^4, \quad (7)$$

$$\text{где} \quad J_{x_{ui2}} = \frac{\pi}{64} (D_{ui}^4 - d_{ui}^4) + \frac{2k_f \cdot h_g^3}{12} = \frac{3,14}{64} (289^4 - 273^4) + \frac{2 \cdot 8 \cdot 256^3}{12} =$$



$= 6,976 \cdot 10^7 + 2,236 \cdot 10^7 = 9,213 \cdot 10^7 \text{ мм}^4$  – собственный момент инерции углового шва несущего фланца и внутреннего ребра жёсткости,

где  $D_{ш} = D + 2k_f = 273 + 2 \cdot 8 = 289 \text{ мм}$  – наружный диаметр шва фланца;

$d_{ш} = 273 \text{ мм}$  – внутренний диаметр шва фланца;

$$J_{X_{ш1}} = \frac{2k_f h_n^3}{12} = \frac{2 \cdot 8 \cdot 164^3}{12} = 0,588 \cdot 10^7 \text{ мм}^4 \text{ – собственный момент инерции шва}$$

наружного ребра жёсткости;

$$a_1 = y_{c_{ш1}} - y_c = 82 - 258,6 = -176,6 \text{ мм};$$

$$a_2 = y_{c_{ш2}} - y_c = 300,5 - 258,6 = 41,9 \text{ мм}$$

Момент сопротивления сварного шва в расчётном сечении определяется

$$W_f = \frac{J_{X_{ш1}}}{y_{c_{ш1}}} = \frac{20 \cdot 10^7}{258,6} = 773395 \text{ мм}^3.$$

Напряжение в расчётной точке сварного шва определяется

$$\tau_f = \sqrt{42^2 + (17 + 87)^2} = 112 \text{ МПа}.$$

Получаем условие прочности  $112 < 0,44 \cdot 41 \cdot 8,5 = 153 \text{ МПа}$ .

Запас прочности  $\sim 1,37$ .

### Расчёт рамы

Рама работает на центральное растяжение [1, 7, 8].

$$\text{Условие прочности } \frac{N}{A_H} \leq R_y \gamma_c.$$

$$\text{Площадь сечения трубы } A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{3,14}{4} (426^2 - 408^2) = 11790 \approx 11800 \text{ мм}^2.$$

$$\text{Площадь сечения трубы НЕТТО с учётом 4 пазов для проушин ослабляющих сечение } A_H = A - \frac{4\delta t}{\cos \beta} = 118 - \frac{4 \cdot 22 \cdot 9}{\cos 33,9^\circ} = 10846 \text{ мм}^2 ; \quad \beta = \arcsin \frac{120 \cdot 2}{417} = 33,9^\circ \text{ –}$$

центральный угол между осью параллельной плоскости проушины и пазом, где 120 мм – расстояние от паза до оси трубы; 417 мм – средний диаметр трубы (рис. 4).

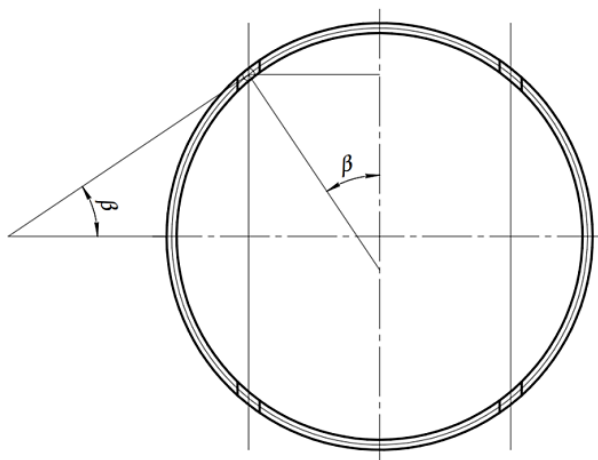


Рисунок 4 – Поперечное сечение трубы рамы [Cross section of frame tube]

Продольная сила равна расчётной нагрузке  $N = G = 1186$  кН.

Условие прочности  $\frac{1186 \cdot 10^3}{10846} \leq 225 \cdot 0,85$ , где  $R_y = 225$  МПа – расчётное сопротивление на растяжение по пределу текучести для стали 20 [1];  $\gamma_c = 0,85$  – коэффициент условий работы.

Получаем условие прочности  $109 < 190$ .

Запас прочности  $\sim 1,7$ .

### Расчёт проушин и косынок

Чертежи проушин (поз. 8), косынок (поз. 9), рамы (поз. 1) представлены на рисунке 5.

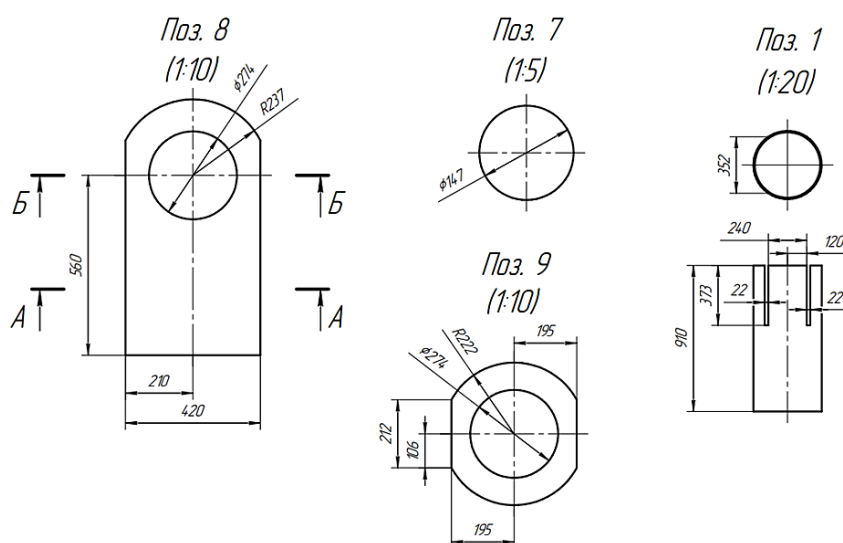


Рисунок 5 – Проушина (поз. 8), косынка (поз. 9), рама (поз. 1) [Eyelet (pos. 8), gusset (pos. 9), frame (pos. 1)]

Условие прочности по нормальным напряжениям при растяжении [1, 9, 10] имеет вид  $\frac{N}{A} \leq R_y \gamma_c$ .

Продольное усилие, действующее на проушину определяется

$$N = \frac{G}{2} = \frac{1186}{2} = 593 \text{ кН.}$$

Для сечения А–А площадь сечения проушины  $A = bh = 420 \cdot 20 = 8400$  мм<sup>2</sup>.  $R_y = 215$  – расчётное сопротивление на растяжение по пределу текучести для стали Ст 3 [1].

Условие прочности  $\frac{593 \cdot 10^3}{8400} \leq 215 \cdot 0,85$ ;

$71 < 183$  – условие прочности выполняется.

Запас прочности  $\sim 2,5$ .

Условие прочности проушины по сечению В–В, ослабленному отверстием с учётом толщины косынок  $\frac{N}{A_H} \leq R_y \gamma_c$ .

Площадь сечения НЕТТО определяется по формуле (8):

$$A_H = [(b_H - d) + 2(b_K - d)]h = [(420 - 274) + 2 \cdot (390 - 274)] \cdot 20 = 7560 \text{ мм}^2, \quad (8)$$

где  $b_H = 420 \text{ мм}$  – ширина проушины;  
 $d = 274 \text{ мм}$  – диаметр отверстия в проушине под палец;  
 $b_K = 390 \text{ мм}$  – ширина косынки;  
 $d = 274 \text{ мм}$  – диаметр отверстия в косынке под палец;  
 $h = 20 \text{ мм}$  – толщина косынки и проушины.  
 Условие прочности  $\frac{593 \cdot 10^3}{7560} \leq 215 \cdot 0,85$ ;  
 $78,4 < 183$  – условие прочности выполняется.  
 Запас прочности  $\sim 2,3$ .  
 Проверка проушины на смятие проводится по формуле (9):

$$\frac{N}{A_p} \leq R_{ep} \gamma_c, \quad (9)$$

где  $R_{ep} = 0,5 \frac{R_{un}}{\gamma_m}$ ;  
 $R_{ep}$  – расчётное сопротивление на местное смятие в шарнирах;  
 $R_{un} = 370 \text{ МПа}$  – нормативное сопротивление для стали Ст 3 [1];  
 $\gamma_m = 1,1$  – коэффициент надёжности по материалу для  $\sigma_m < 380 \text{ МПа}$ .  
 Площадь смятия  $A_p = 3hd = 3 \cdot 20 \cdot 274 = 16440 \text{ мм}^2$ .  
 Условие прочности  $\frac{593 \cdot 10^3}{16440} \leq 0,5 \cdot 336 \cdot 0,85$ ;  
 $36 < 135$  – условие прочности на смятие выполняется.  
 Запас прочности  $\sim 3,7$ .

Расчёт на срез проушины проводится по формуле (10):

$$\frac{N}{A_s} \leq R_s, \quad (10)$$

где  $R_s = 0,58 \frac{R_{yn}}{\gamma_m}$ ;  
 $R_{yn}$  – предел текучести для стали принимаемый равным пределу текучести  $\sigma_m$  по государственным стандартам и техническим условиям на сталь;  
 $R_{yn} = 225 \text{ МПа}$  [1];  
 $\gamma_m = 1,1$ .  
 Площадь среза определяется  $A_s = [(D_H - d) + 2(D_K - d)]h =$   
 $= [473 - 274 + 2(444 - 274)]h = 10780 \text{ мм}^2$

$$\text{Условие прочности } \frac{593 \cdot 10^3}{10780} \leq 0,58 \cdot \frac{225}{1,1};$$

$55 < 118,6$  – условие прочности выполняется.

Запас прочности  $\sim 2,1$ .

### Расчёт угловых швов крепления проушины к трубе

Условие прочности при действии продольной силы определяется по формуле (11):

$$\frac{N}{\rho_f k_f l_w} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c, \quad (11)$$

где  $R_{wf} = 0,44 R_{un}$  – расчётное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу шва;

$l_w = 4 \cdot 373 = 1492$  мм – суммарная длина сварных швов.

$$\text{Условие прочности } \frac{593 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 9 \cdot 1492} \leq 410 \cdot 0,44 \cdot 0,85;$$

$63 < 153$  – условие прочности выполняется.

Запас прочности  $\sim 2,4$ .

Проверяем прочность угловых швов, соединяющих проушины и косынки и обеспечивающих их совместную работу на срез и смятие.

Принимаем катет шва  $k_f = 10$  мм.

$$\text{Условие прочности } \frac{593 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 10 \cdot 3,14 \cdot 444} \leq 410 \cdot 0,44 \cdot 0,85;$$

$61 < 153$  – условие прочности выполняется.

Запас прочности  $\sim 2,5$ .

### Расчёт центрального ребра пальца на устойчивость

Палец изготовлен из трубы (сталь 20) и имеет следующие параметры (рис. 6): длина  $L = 400$  мм; наружный диаметр  $D = 273$  мм; внутренний диаметр  $d = 257$  мм; толщина стенки  $t = 8$  мм. Усилен тремя радиальными рёбрами жёсткости.

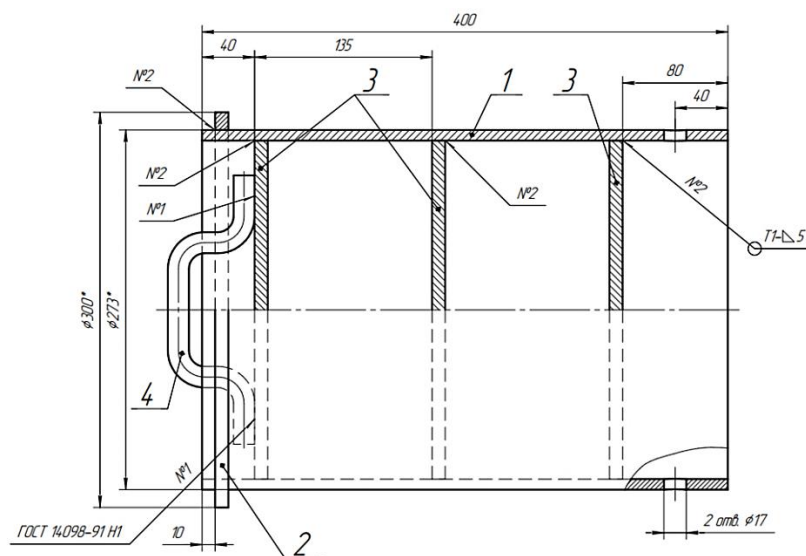


Рисунок 6 – Палец: 1 – труба; 2 – ребро упорное; 3 – ребро силовое  
[Finger: 1 - pipe; 2 - stubborn rib; 3 - power rib]

Проверим центральное ребро на устойчивость. Расчётная схема показана на рисунке 7.

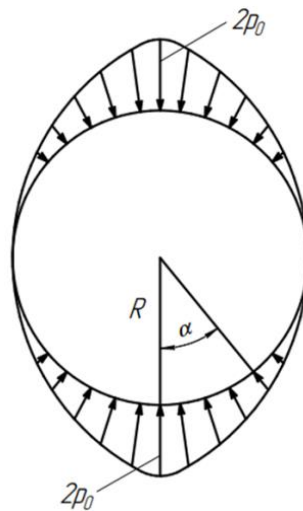


Рисунок 7 – Расчётная схема круговой пластинки [Design scheme of a circular plate]

Принимаем давление со стороны трубы  $p = p_0(1 + \cos 2\alpha)$ .

Критическое давление  $p_{кр} = 2p_0 = 8,387 \frac{D}{R^2}$  ( $D$  – цилиндрическая жёсткость пластинки):

$$D = \frac{Eh^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 10^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} = 18 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2,$$

$$p_{кр} = 8,378 \cdot 18 \cdot 10^6 / 128^2 = 9214 \text{ Н} / \text{мм}.$$

Вычислим равнодействующую давления:

$$\begin{aligned} p &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} p \cos \alpha \, ds = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} p_0(1 + \cos 2\alpha) \cos \alpha R \, d\alpha = \\ &= p_0 R \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (\cos \alpha + \cos \alpha \cos 2\alpha) \, d\alpha = \\ &= p_0 R \left[ \sin \alpha + \frac{1}{12} \sin 3\alpha + \frac{3}{4} \sin \alpha - \frac{1}{3} \sin^3 \alpha \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = \\ &= p_0 R \left[ 1 - \frac{1}{12} + \frac{3}{4} - \frac{1}{3} \right] \cdot 2 = \frac{8}{3} p_0 R = \frac{8}{3} \cdot 4607 \cdot 128 = 1573000 = 1573 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Проверка:  $G \leq P$ ;  $1186 < 1573$  – устойчивость ребра жёсткости обеспечена.

### Заключение

На основании расчета трехлучевой траверсы грузоподъемностью 100 т для монтажа армоблока бетонной шахты реактора предлагаются следующие рекомендации по оптимизации конструкции траверсы.

Анализ прочностных проверочных расчётов показывает, что

1. Прочность несущего фланца по нормальным напряжениям обеспечена с запасом  $\Delta\sigma = \frac{183-141}{183} \cdot 100\% = 23\%$ . Следовательно, можно уменьшить диаметр трубы, ориентировочно, до 245/8. Экономия в весе фланцев составит 10%.

2. Рама выполнена с большим запасом прочности  $\Delta\sigma = \frac{191-110}{191} \cdot 100\% = 42\%$ .

Можно уменьшить диаметр трубы, ориентировочно, до 299/8. Экономия в весе рамы составит 40%.

3. Проушины и косынки спроектированы с двукратным запасом прочности. Можно уменьшить как толщину листа, так и габариты изделий.

4. Сварные швы спроектированы с запасом прочности от 30 до 80%. При уменьшении размеров фланцев, рамы, проушин и косынок этот запас также снизится.

Уточнённые размеры траверсы можно получить проектировочным расчётом на прочность.

Конструкцию траверсы можно упростить, упразднив такие элементы как проушины и соответствующие сварные швы. При незначительном увеличении длины рамы удастся получить конструктивно-технологические преимущества, что обеспечит совместно с п.1-4 оптимизацию траверсы по весу и стоимости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-23-81\* Стальные конструкции. – Москва : ФГУП ЦПП. 2005. – 90 с.
2. Пособие к СНиП II-23-81 Пособие по расчёту и конструированию сварных соединений стальных конструкций. – Москва : Стройиздат. 1984. – 18 с.
3. *Шохрина, Н.В.* Основы методики обоснования технических характеристик изделия / Н.В. Шохрина, А.Н. Фефанов, Т.Г. Гришина // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2015. – № 4(35). – С. 113-117.
4. *Кашковский, В.В.* Системный подход к определению состояния технических изделий по характеристикам надёжности / В.В. Кашковский, И.И. Тихий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 4(52). – С. 143-150.
5. Dudchenko A.N., Tomilin S.A., Pinchuk M.E., Pinchuk E.V. The optimization of construction of hexactinal cross arm for bearing framework mounting of support reactor carcass // In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2014. Т. 2. № 2. P. 23-28.
6. *Дудченко, А.Н.* Оптимизация конструкции шестилучевой траверсы для монтажа закладной опоры фермы опорной корпуса реактора / А.Н. Дудченко, С.А. Томилин, М.Э. Пинчук, Э.В. Пинчук // В мире научных открытий. – 2014. – № 6-1(54). – С. 586-598.
7. Tomilin S.A., Pinchuk M.E., Pinchuk E.V., Godunov S.F. Analysis of safety characteristics and optimization of traverse structural elements for installation of WSG-1000M steam generators support // In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2015. Т. 3. № 2. P. 103-110.
8. *Томилин, С.А.* Анализ прочностных характеристик и оптимизация элементов конструкции траверсы для монтажа опор парогенераторов ПГВ-1000М / С.А. Томилин, М.Э. Пинчук, Э.В. Пинчук, С.Ф. Годунов // В мире научных открытий. – 2014. – № 12-1(60). – С. 494-508.
9. *Дудченко, А.Н.* Анализ прочностных характеристик и устойчивости элементов конструкции траверсы шестилучевой для монтажа закладной опоры фермы опорной корпуса реактора / А.Н. Дудченко, С.А. Томилин, М.Э. Пинчук, Э.В. Пинчук // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 1(10). – С. 32-39.
10. *Томилин, С.А.* Анализ прочности строповочного узла шестилучевой траверсы / С.А. Томилин, Э.В. Пинчук, С.Ф. Годунов, К.А. Егоров, И.И. Коньшев // Материалы и технологии XXI века : сборник статей XII Междунар. науч.-техн. конф., март 2014 г. – Пенза, 2014. – С. 108-113.
11. СТО 1.1.1.02.009.0873-2017 Обеспечение безопасности при эксплуатации зданий и сооружений атомных станций. – Москва : ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2017. – 30 с.
12. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Москва : МИТКС, 2012. – 68 с.

## REFERENCES

- [1] SNiP II-23-81 Stal'nyye konstruksii [SNiP II-23-81 Steel Structures]. Moskva: FGUP TSPP [Moscow: FSUE TsPP]. 2005. 90 p. (in Russian).
- [2] Posobiye k SNiP II-23-81 Posobiye po raschotu i konstruirovaniyu svarnykh soyedineniy stal'nykh konstruksiy [Manual to SNiP II-23-81 Manual on Calculation and Design of Welded Joints in Steel Structures]. Moskva: Stroyizdat [Moscow: Stroyizdat]. 1984. 18 p. (in Russian).
- [3] Shokhrina N.V., Feofanov A.N., Grishina T.G. Osnovy metodiki obosnovaniya tekhnicheskikh kharakteristik izdeliya [Fundamentals of the Methodology for Substantiating the Technical Characteristics of the Product] Vestnik MGTU «STANKIN» [Bulletin of MSTU «STANKIN»]. 2015. No 4(35). P. 113-117 (in Russian).
- [4] Kashkovsky V.V., I.I. Tikhyy Sistemnyy podkhod k opredeleniyu sostoyaniya tekhnicheskikh izdeliy po kharakteristikam nadozhnosti [Systematic Approach to Determining the State of Technical Products Based on Reliability Characteristics]. [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]. 2016. No 4(52). P. 143-150 (in Russian).
- [5] Dudchenko A.N., Tomilin S.A., Pinchuk M.E., Pinchuk E.V. The Optimization of Construction of Hexactinal Cross Arm for Bearing Framework Mounting of Support Reactor Carcass // In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2014. T. 2. № 2. P. 23-28 (in English).
- [6] Dudchenko A.N., Tomilin S.A., Pinchuk M.E., Pinchuk E.V. Optimizatsiya konstruksii shestiluchevoy traversy dlya montazha zakladnoy opory fermy opornoy korpusa reaktora [Optimization of the Design of the Six-Beam Traverse for the Installation of the Embedded Support of the Truss of the Reactor Support Vessel]. V mire nauchnykh otkrytiy [In the World of Scientific Discovery]. 2014. № 6-1(54). P. 586-598 (in Russian).
- [7] Tomilin S.A., Pinchuk M.E., Pinchuk E.V., Godunov S.F. Analysis of Safety Characteristics and Optimization of Traverse Structural Elements for Installation of WSG-1000M Steam Generators Support // In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2015. T. 3. № 2. P. 103-110 (in English).
- [8] Tomilin S.A., Pinchuk M.E., Pinchuk E.V., Godunov S.F. Analiz prochnostnykh kharakteristik i optimizatsiya elementov konstruksii traversy dlya montazha opor parogeneratorov PGV-1000M [Analysis of Strength Characteristics and Optimization of Structural Elements of the Traverse for the Installation of Supports for PGV-1000M Steam Generators]. V mire nauchnykh otkrytiy [In the World of Scientific Discoveries]. 2014. № 12-1(60). P. 494-508 (in Russian).
- [9] Dudchenko A.N., Tomilin S.A., Pinchuk M.E., Pinchuk E.V. Analiz prochnostnykh kharakteristik i ustoychivosti elementov konstruksii traversy shestiluchevoy dlya montazha zakladnoy opory fermy opornoy korpusa reaktora [Analysis of the Strength Characteristics and Stability of Structural Elements of a Six-Beam Traverse for Mounting the Embedded Support of the Reactor Support Vessel Truss]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2014. № 1(10). P. 32-39 (in Russian).
- [10] Tomilin S.A., Pinchuk E.V., Godunov S.F., Egorov K.A., Konyshev I.I. Analiz prochnosti stropovochnogo uzla shestiluchevoy traversy [Analysis of the strength of the slinging unit of a six-beam traverse]. Materialy i tekhnologii XXI veka: sbornik statey XII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferencii, mart 2014 g., Penza [Materials and Technologies of the XXI Century: collection of articles of the XII International scientific and technical conference, March 2014, Penza]. 2014. P. 108-113 (in Russian).
- [11] STO 1.1.1.02.009.0873-2017 Obespecheniye bezopasnosti pri ekspluatatsii zdaniy i sooruzheniy atomnykh stantsiy [STO 1.1.1.02.009.0873-2017 Ensuring Safety during the Operation of Buildings and Structures of Nuclear Power Plants]. Moskva: OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Moscow: Rosenergoatom Concern OJSC]. 2017. 30 p. (in Russian).
- [12] GOST 31937-2011. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya [GOST 31937-2011. Buildings and Constructions. Rules for Inspection and Monitoring of Technical Condition]. Moskva: MITKS [Moscow: MITKS]. 2012. 68 p. (in Russian).

### Analysis and Optimization of Three-Beam Traverse Structure Elements for Reactor Cavity Reinforced Concrete Block Installation

**S.A. Tomilin<sup>1</sup>, R.V. Pirozhkov<sup>2</sup>, E.A. Tsvelik<sup>3</sup>  
E.V. Pinchuk<sup>4</sup>, S.F. Godunov<sup>5</sup>**

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

<sup>1</sup>ORCID iD: 0000-0001-8661-8386

Wos Researcher ID: G-3465-2017

e-mail: SATomilin@mephi.ru

<sup>2</sup>ORCID iD: 0000-0002-1547-6568

WoS Researcher ID: AAD-3193-2020

e-mail: roman-3.14@yandex.ru

<sup>3</sup>ORCID iD: 0000-0001-9048-275X

WoS Researcher ID: G-3560-2018

e-mail: stvelik@mail.ru

<sup>4</sup>e-mail: pinchuk.ed@yandex.ru

<sup>5</sup>e-mail: SFGodunov@mephi.ru

**Abstract** – Increased demands are placed on the reliability and strength of structures used in the installation of equipment for nuclear power plants. At the same time, an excessive safety margin of the equipment used leads to an increase in its dimensions, weight and a significant rise in cost. The issue of reducing the metal consumption of structures while maintaining the required performance criteria for this equipment is very relevant. The paper presents a model for optimizing the design of a three-beam traverse with a carrying capacity of 100 tons for reactor cavity reinforced concrete block installation. A verification calculation is carried out and recommendations on the optimization of design parameters are proposed on its basis.

**Keywords:** strength, stability, reliability, verification calculation, design optimization, installation, traverse, nuclear power plant design.

.



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

УДК 53.01 : 517.98

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА К АНАЛИЗУ  
КОНФИГУРАЦИИ НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ ИЗОТРОПНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ**

© 2021 В.Я. Шпицер, В.В. Кривин, В.А. Толстов, Л.С. Хегай, И.О. Ишигов

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

В предлагаемом материале представлено одnogрупповое приближение к задаче параметрической идентификации распределения изотропных источников, обеспечивающего заданную конфигурацию нейтронного поля в вакууме.

*Ключевые слова:* потенциал; изотропные источники нейтронов; обратные задачи теории переноса; уравнение Пуассона; некорректные задачи; дефектоскопия; нейтронография; нейтронная томография.

Поступила в редакцию 28.04.2021

После доработки 30.04.2021

Принята к публикации 11.05.2021

**Введение**

Глобальная безопасность в значительной степени основывается на изучении свойств физических полей. Помимо описательного исследования ионизирующих излучений имеется техническая потребность в формировании полей заданных конфигураций. Такие структуры создаются за счёт специального распределения в пространстве изотропных источников. Для задач безопасности актуальна также обратная задача – восстановление распределения источников по результатам измерения полей.

Радиационная физика, использующая изотопные источники излучения, иногда оснащает их специальными рассеивателями, добиваясь анизотропии в угловом распределении полей излучений. Результатом являются некоторые оригинальные конструкции направленных излучателей. До сих пор отсутствует математическая постановка задачи получения оптимальных конструкций. В работе предлагается алгоритмический подход решения обратной задачи теории потенциала скалярного поля, описываемого уравнением Пуассона. Вычисления проводились методом Моте-Карло.

**Интегральное уравнение для плотности источников**

Основной характеристикой скалярных полей является потенциал.

Потенциальная функция (решение уравнения Пуассона), в общем случае, может быть представлена соотношением [1] (1).

$$\int \frac{q(x', y', z')}{4\pi R} dx' dy' dz' = \varphi(x, y, z), \quad (1)$$

где  $q(x', y', z')$  – функция источника скалярного поля;

$R = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}$  – расстояние между источником и точкой измерения потенциала;

$\phi(x, y, z)$  – потенциал поля при условии  $\int |q| dx dy dz < \infty$ .

Решая (1), как прямую задачу для заданного распределения источников, например нейтронов получаем конфигурацию поля. Фундаментальными являются поля, образуемые точечными изотропными источниками, суперпозицией которых моделируется всё многообразие полей. Поверхностями равного потенциала точечного изотропного источника являются концентрические сферы с центром в координатах источника. Потенциал поля в точке пространства равен плотности нейтронов в элементарной сфере, содержащей эту точку, умноженной на площадь её поверхности. В теории переноса нейтронов используется локальная характеристика поля – интенсивность потока (поток, нейтр/с). Потенциал поля численно равен величине потока делённого на среднюю скорость нейтронов. Прямые задачи теории потенциала традиционно решаются, сеточными методами, методом конечных элементов, а также методом Монте-Карло.

Будем рассматривать соотношение (1) как интегральное уравнение относительно плотности распределения источников нейтронного поля  $q$ , считая, что потенциальная функция  $\phi$  задана. Это типичная обратная задача теории потенциала [2]. Обратные задачи теории потенциала порождают проблемы существования, единственности, устойчивости, а также численных методов их решения.

Воспользуемся представлением об условной корректности (корректность по Тихонову) [3]. Для доказательства условной корректности достаточно утверждения, что решение существует, выбрать компактное множество корректности решений, доказать единственность и условную устойчивость решения на этом множестве относительно малых вариаций потенциала. Известно, что некорректную постановку задачи можно привести к корректной с помощью сужения класса допустимых решений. Декларируем, что измеряемая потенциальная функция и восстанавливаемая плотность распределения источников принадлежат к классу  $C^2$  – гладких, параметрических функций. Например, на множестве функций одной переменной, заданных на некотором отрезке, множество функций, ограниченных и имеющих ограниченную первую производную, является компактным. Такое подмножество не содержит функций с резкими локальными выбросами, что является определяющим для их физической реализуемости.

В качестве параметрического представления плотности источников выбрана колоколообразная функция (косинусоидальное распределение). Для одномерного случая параметризация имеет вид формулы (2) [4, 5].

$$H(t) = [(\cos(\pi \cdot t) + 1)/2] \cdot [1(t+1) - 1(t-1)], \quad (2)$$

где  $t = \frac{\mu - x}{c}$  – вспомогательная переменная;

$\mu$  – координата максимума распределения;

$c$  – параметр «размытости»;

$1(t \pm 1)$  – функция единичного скачка.

$$\text{С нормировкой: } N : \frac{1}{c} \cdot \int_{-c}^c H(x, \mu, c) dx \quad N = 1.$$

Таким образом, обеспечивается возможность перемещения источника по координате, а за счёт параметра «размытости», вариация его эффективного объёма. Это даёт возможность формировать в трёх мерном пространстве «облака источников»

произвольной конфигурации. На рисунке 1 представлены одномерные функции распределения источника.

Потенциальные функции представляются сглаженными копиями зависимостей, построенными по измерениям в дискретных точках окружности или сферы.

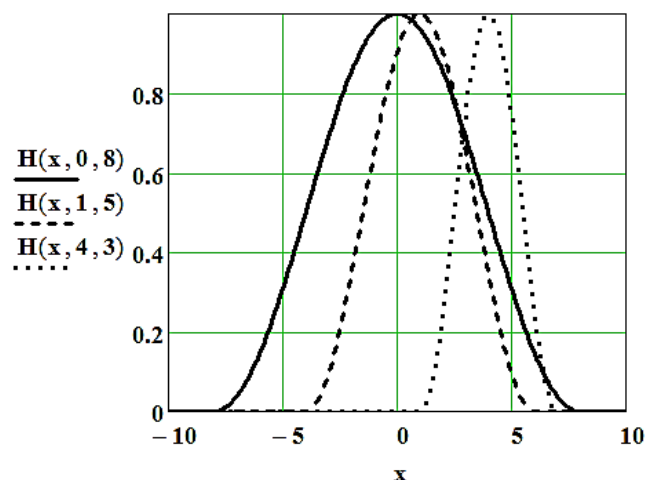


Рисунок 1 – Параметризация функции источника [Source function parameterization]

На рисунке 2 приведены одномерные потенциальные функции, полученные прямым интегрированием соотношения (1) на интервале  $[0, 2]$ .

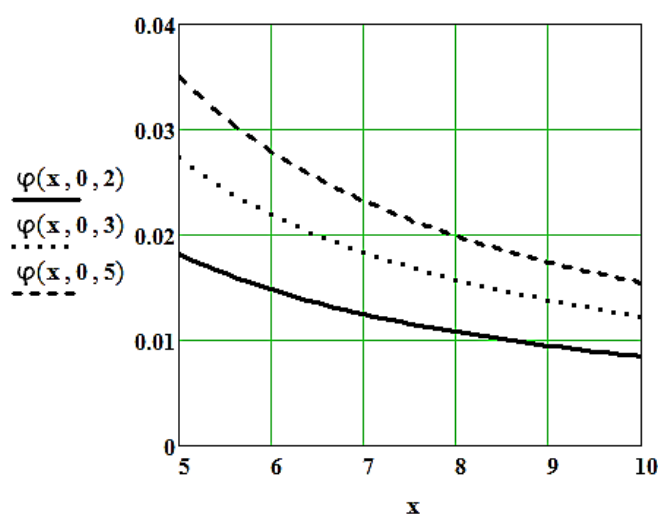


Рисунок 2 – Одномерные потенциальные функции для источника с координатами (0,0) и разной величиной «размытости» [One-dimensional potential functions for a source with coordinates (0,0) and different amounts of "blur"]

В качестве базового алгоритма используется процедура Монте-Карло. Метод основан на решении в каждом прогоне прямой задачи (1) и минимизации среднего риска для выбранной параметризации функции источника. Этот метод прост, эффективен и сходится типично для статистических процедур.

#### **Формирование поля изотропного источника погружением в среду**

Конфигурация нейтронных полей формируется в результате взаимодействия излучения с веществом. Распределение изотропных источников в строительных конструкциях и оборудовании создаёт радиационную среду, которая обуславливает значительный биологический риск.

Рассмотрим трансформацию поля точечного изотропного источника при погружении его в вещество.

При погружении источника на границе с вакуумом возникает анизотропия поля, обусловленная суперпозицией прямого и рассеянного излучений на рисунке 3.

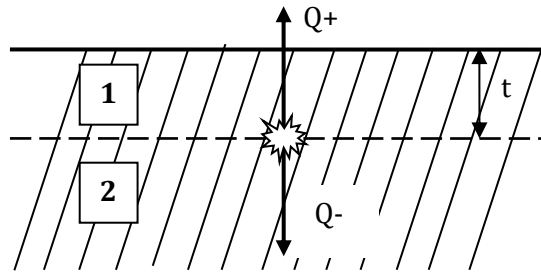


Рисунок 3 – Распределение мощности источника в переднюю и заднюю полусферы при погружении в полубесконечную среду [Power distribution of the source to the front and back hemispheres when immersed in a semi-infinite environment]

Величина потока частиц в вакуум может быть описана следующим операторным уравнением (3) [6, 7].

$$\Phi = T_1 \sum_{n=0}^{\infty} (R_2 R_1)^n Q_+ + T_1 R_2 \sum_{n=0}^{\infty} (R_1 R_2)^n Q_- . \quad (3)$$

Будем считать операторы  $T_1$ ,  $R_1$  линейными функциями глубины погружения:  $T_1 = 1 - \alpha t$  – оператор пропускания,  $R_1 = \beta t$  – оператор отражения;  $R_2$  – число, а  $Q_+ = Q_- = Q/2$ .

Здесь  $\alpha$  и  $\beta$  имеют размерности макросечений (поглощения и рассеяния), а  $R_2$  – альбедо материала среды в плоской геометрии. Ограничимся в суммах выражения (3) двумя слагаемыми. Оценка потока излучения в вакуум принимает вид формулы (4).

$$\Phi(t) = [T_1(t)(1 + R_2 R_1(t)) + T_1(t) R_2 (1 + R_1(t) R_2)] Q/2 . \quad (4)$$

Подставим выражения для операторов  $T_1, T_2$  в (4) и исключим слагаемые, содержащие  $R_2^2$ , формула (5).

$$\Phi(t) = [(1 + R_2) + R_2(\beta - \alpha) - \alpha)t - \alpha R_2 \beta t^2] Q/2 . \quad (5)$$

Эта форма имеет максимум в точке  $t^* = \frac{(\beta - \alpha)R_2 - \alpha}{2\alpha\beta R_2}$  со значением

$$\Phi(t^*) = \left[ (1 + R_2) + \frac{\beta - \alpha}{\beta} \right] Q/2 .$$

Выразим  $\beta = k\alpha$  и введём показатель эффективности отражателя

$$\gamma = \frac{\Phi(t^*)}{\Phi(t=0)} = 1 + \frac{k-1}{k(1-R_2)} .$$

Получена консервативная оценка влияния отражателя (рассеивателя) на поле изотропного источника в вакууме.

Например, для источника тепловых нейтронов отношение сечения рассеяния к сечению радиационного захвата в железе составляет 4,27, при интегральном числовом альбедо 0,8,  $\gamma = 1,425$  [8]. В этой композиции на границе с вакуумом образуется излучающее пятно, через которое, в том числе, выходит асимметрично рассеянное

излучение с большей интенсивностью в направлении нормали к границе раздела. Оптимальная глубина погружения  $t^*$  является уникальной характеристикой среды. Слой среды толщиной  $2t^*$  можно рассматривать как объём предпочтительного размещения источников излучения для достижения максимального значения потенциала поля в заданных точках свободного пространства.

Учёт вклада «пограничного слоя» в результат интегрирования влияния точечных источников по всему пространству может служить некоторой модификацией инженерных оценок конфигурации радиационных полей.

### Решение задачи о линейном источнике методом Монте-Карло

Решение обратных задач даёт возможность идентифицировать гипотетическое распределение ненаблюдаемых источников излучения по измерениям потенциалов их радиационных полей. Структура математических моделей задана формулой (2). Иллюстрацией подхода может служить задача о линейном источнике [9].

Пусть имеется стержень длины  $L = 10$  (усл. ед), расположенный на оси  $Y$  с центром в начале координат (рис. 4). Распределение активности по длине представлено функцией  $q(y)$ . Поле  $\psi(R, x)$  в точках на окружности радиусом  $R$  правой полуплоскости рассчитывается по формуле (1). Задание параметра  $x$  обеспечивает выбор точки измерения поля на окружности:  $x = 0$  – точка измерения на пересечении с осью  $Y$ ;  $x = R$  – точка измерения на пересечении с осью  $X$ . Функциям  $q(y)$  симметричным относительно оси  $X$  соответствует равнозначная  $\psi(R, x)$ , определённая на верхней и нижней полуокружностях.

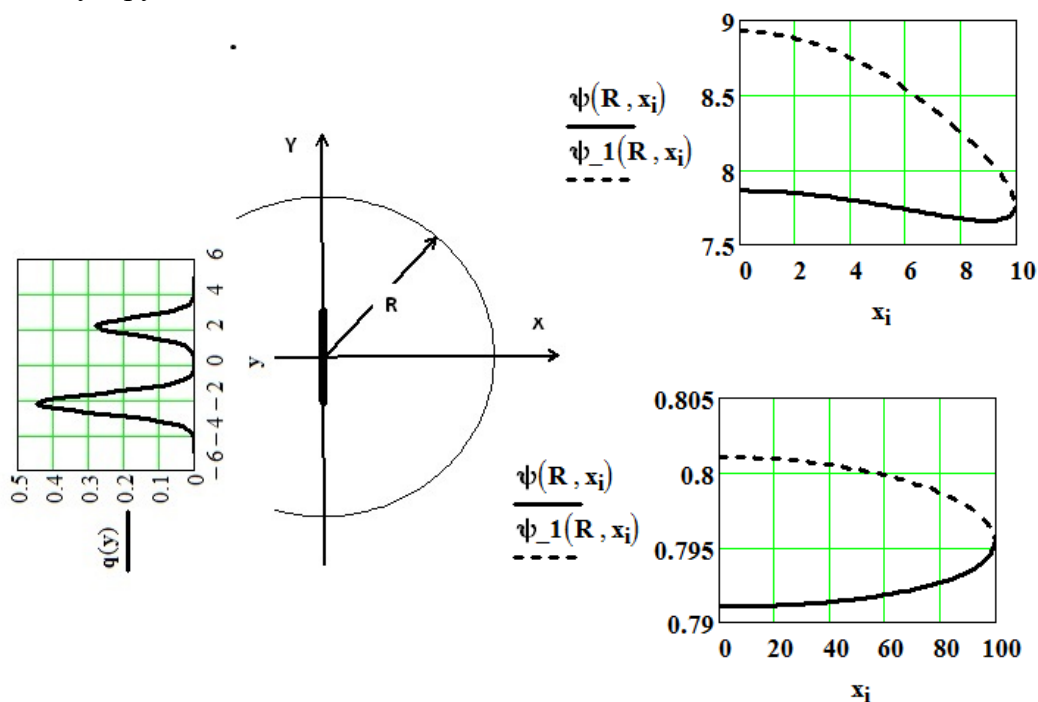


Рисунок 4 – Потенциальная функция линейного источника с распределением активности по длине  $q(y)$  на окружности радиуса  $R = L = 10$  (усл. ед) и на окружности радиуса  $R = 10L = 100$  (усл. ед).  $\psi(R, x)$  – значения потенциала на верхней четверти окружности;  $\psi_{-1}(R, x)$  – значения на нижней [Potential function of a linear source with the distribution of activity along the length  $q(y)$  on a circle of radius  $R = L = 10$  (arb. Units) and on a circle of radius  $R = 10L = 100$  (arb. Units).  $\psi(R, x)$  is potential values on the upper quarter of the circle;  $\psi_{-1}(R, x)$  is values at the bottom]

Очевидно, что с увеличением  $R$  – расстояния от источника особенности его структуры всё меньше проявляются в потенциальной функции, приближаясь к величине потенциала точечного источника. Это естественное ограничение на разрешение процедур восстановления в обратных задачах. Вторым ограничением является необходимость априорной информации о структуре функции источника, так

как это предопределяет минимальную размерность параметрического пространства восстанавливаемой формы.

Воспользуемся унимодальным (двухпараметрическим  $(\mu, c)$ ) распределением источника. Очевидно, что в этом случае тонкую структуру функции  $q(y)$  восстановить не удастся. Рассчитываем на некоторое «эффективное» распределение возможно достаточное для технических целей. Сложные структуры восстанавливаются суперпозицией унимодальных распределений, с известной проблемой увеличения размерности параметрического пространства и числа статистических испытаний.

На рисунке 5 представлены исходное  $q(s)$  и восстановленное  $q_{восст}(s)$  распределения источника. На рисунке 6 исходное распределение потенциала и распределение по восстановленному источнику на верхней четверти окружности радиуса  $R=10L=100$  (усл. ед). Погрешность восстановления потенциала составляет:

$$\Delta := \frac{1}{m} \cdot \sum_i |\psi(R, x_i) - \varphi_{восст}(x_i, \mu, c)|,$$

$$\Delta = 1,649 \times 10^{-4}.$$

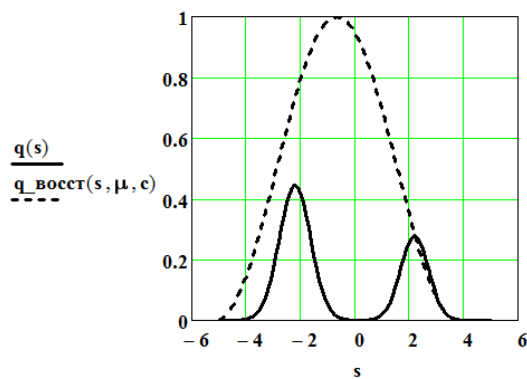


Рисунок 5 – Исходная и восстановленная плотность источника [Original and reconstructed source density]

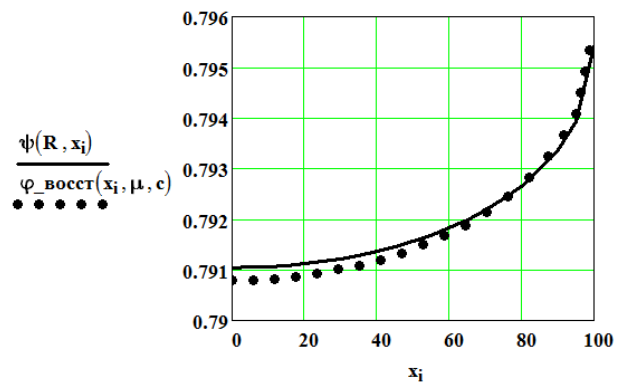


Рисунок 6 – Исходное и восстановленное распределение потенциала [Initial and reconstructed potential distribution]

Ниже приведены результаты такого же исследования на «зашумлённом» потенциале без предварительного сглаживания. На рисунке 7 приведены исходное –  $A\_Pot$  и «зашумлённое (0,5%)» –  $G\_Pot$  распределения потенциала на верхней четверти окружности радиуса  $R=10L=100$  (усл. ед).

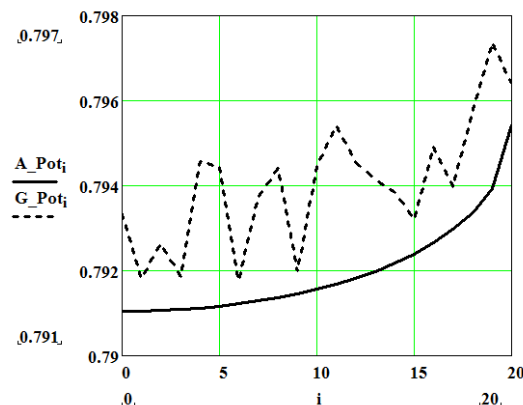


Рисунок 7 – Исходное –  $A\_Pot$  и «зашумлённое (0,5%)» –  $G\_Pot$  распределения потенциала на верхней четверти окружности радиуса  $R=10L=100$  (усл. ед) [Initial -  $A\_Pot$  and "noisy (0.5%)" -  $G\_Pot$  potential distribution on the upper quarter of a circle with radius  $R=10L=100$  (arb. Units)]

На рисунке 8 представлены исходное  $q(s)$  и восстановленное  $q_{восст}(s)$  распределения источника. На рисунке 9 исходное и восстановленное распределение потенциала на верхней четверти окружности радиуса  $R=10L=100$  (усл. ед). Погрешность восстановления потенциала составляет:

$$\Delta_{ss} := \frac{1}{m} \cdot \sum_i |\psi(R, x_i) - \varphi_s(x_i)|,$$

$$\Delta_{ss} = 2,284 \times 10^{-3}.$$

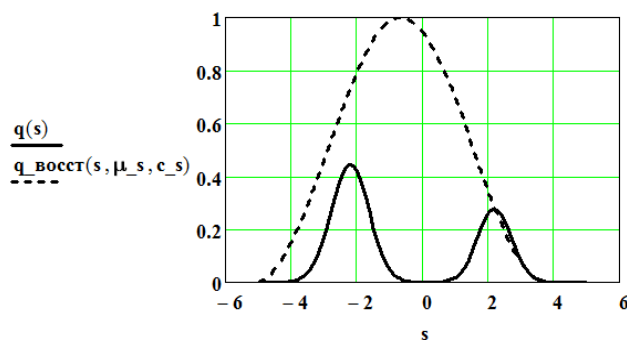


Рисунок 8 – Исходная и восстановленная плотность источника [Original and reconstructed source density]

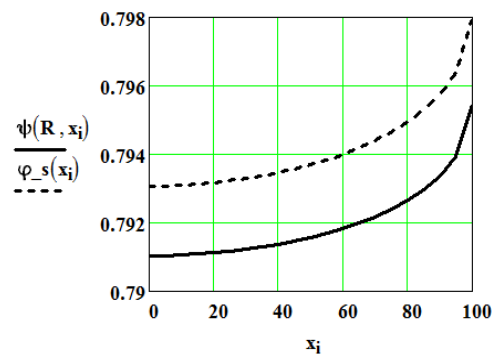


Рисунок 9 – Исходное и восстановленное распределение потенциала [Initial and reconstructed potential distribution]

Результаты демонстрируют устойчивость алгоритма восстановления распределения источника при зашумлении потенциала (0,5 %), значительно превосходящем реальную погрешность измерения.

Один из новых подходов нейтронной томографии связан с использованием «точечных источников» нейтронов [10]. При этом радиальный разлёт нейтронов из точки может обеспечить высокое разрешение, сравнимое с разрешением при использовании коллимированных пучков нейтронных каналов ядерных реакторов. Следующим шагом в развитие этой технологии является конструирование пространственно распределённых источников для томографии объектов больших габаритов [11, 12].

### Заключение

Потенциал нейтронного поля – измеряемая физическая величина. Его удобно использовать для характеристики полей при конструировании источников и каналов транспортировки нейтронов; материаловедении; дефектоскопии; нейтронографии; нейтронной томографии; нейтронной и гамма-нейтронной терапии. В статье представлена процедура восстановления структуры пространственно распределённых источников по результатам измерения скалярных потенциалов. Эффект возмущения поля в вакууме, при взаимодействии нейтронов с веществом, сведён к поправке на границе раздела – получена оценка «эффективной толщины» пограничного слоя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов, А.Н. и др. Уравнения математической физики. / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский – Москва : Наука, 1972. – 728 с.
2. Прилепко, А.И. Обратные задачи теории потенциала (эллиптические, параболические, гиперболические уравнения и уравнения переноса) / А.И. Прилепко // Математические заметки, 1973. – Т.14 – Вып. 5 – С. 755-767.
3. Кабанихин, С.И. Обратные и некорректные задачи / С.И. Кабанихин. – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2018. – 511 с.

4. *Медведев, А.В.* Непараметрические системы адаптации / А.В. Медведев. – Новосибирск : Наука, 1983. – 176 с.
5. *Кошкин, Г.М.* Непараметрическая идентификация стохастических объектов / Г.М. Кошкин, И.Г. Пивен ; Российская академия наук, Дальневосточное отделение. – Хабаровск : [б. и.], 2009. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000477929>
6. *Аронсон, Р.* Матричные методы / Р. Аронсон, Д. Ярмуш // Руководство по радиационной защите для инженеров, Т.1; перевод с английского; под ред. Д.Л. Бродера. – Москва : Атомиздат, 1972. – С. 79-83
7. *Гермогенова, Т.А.* Избранные труды : Т. 2 / Т.А. Гермогенова. – Москва : ИПМ им. М.В. Келдыша, 2017. – 260 с.
8. *Гермогенова, Т.А. и др.* Альbedo нейтронов. / Т.А. Гермогенова, В.Г. Золотухин, В.А. Климанов. – Москва : Атомиздат, 1973. – 279 с.
9. *Гусев, Н.Г. и др.* Вывод формул. Линейный источник / Н.Г. Гусев, Е.Е. Ковалёв, А. Фодераро // Руководство по радиационной защите для инженеров, Т.2; перевод с английского; под ред. Д.Л. Бродера. – Москва : Атомиздат, 1972. – С. 79-83.
10. *Голубев, С.В. и др.* Импульсный квазиточечный генератор нейтронов на основе сильноточного ЭЦР-источника ионов дейтерия / С.В. Голубев, И.В. Изотов, Р.Л. Лапин [и др.] // Прикладная физика. – 2018. – № 6. – С. 79.
11. *Аксёнов В.Л. и др.* Высокопоточный источник нейтронов на основе каскадного бустера / В.Л. Аксёнов, А.М. Балагуров, Ю.Н. Пепёлышев [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 2017. – Вып. 2. – С. 4-25.
12. Kozlenko D.P., Kichanov S.E., Lukin E.V. et al. Neutron radiography and tomography facility at IBR-2 reactor. *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 13, 3, 346-351 (2016).

## REFERENCES

- [1] Tikhonov A.N., Samarsky A.A. *Uravneniya matematicheskoy fiziki* [The Equations of Mathematical Physics]. Moskva [Moscow. Nauka]. 1972. 728 p. (in Russian).
- [2] Prilepko A.I. *Obratny'e zadachi teorii potentsiala (e'lipticheskie, parabolicheskie, giperbolicheskie uravneniya i uravneniya perenosy)* [The Inverse Problems of Potential Theory (Elliptic, Parabolic, Hyperbolic and Transport Equations)]. *Matematicheskiye zametki* [Math notes]. 1973. Vol. 14. Issue 5. P. 755-767. (in Russian)
- [3] Kabanihin S.I. *Obratny'e i nekorrektny'e zadachi* [The Inverse and Incorrect Problems]. Novosibirsk : Izdatel'stvo SO RAN [Publishing house of the SB RAS. Novosibirsk]. 2018. 511 p. (in Russian).
- [4] Medvedev A. V. *Neparametricheskie sistemy` adaptatsii* [The Nonparametric Adaptation Systems]. Novosibirsk. Nauka, 1983. 176 p. (in Russian).
- [5] Koshkin G.M., Piven I.G. *Neparametricheskaya identifikatsiya stohasticheskikh obektov* [Nonparametric Identification of Stochastic Objects]. Rossiyskaya akademiya nauk, Dal'nevostochnoye otdeleniye [Khabarovsk: Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences]. 2009. 336 p. (in English).
- [6] Aronson R., Yarmush D. *Matrichny'e metody` : Rukovodstvo po radiacionnoy zashhite dlya inzhenerov. T. 1* [The Matrix Methods: Guidance on Radiation Protection for Engineers. Vol. 1]. *Perevod s angliyskogo; pod red. D.L. Brodera* [Translation from English. Ed. D.L. Broder]. Moskva: Atomizdat [Moscow. Atomizdat]. 1972. P.79-83. (in Russian).
- [7] Germogenova T.A. *Izbranny'e trudy`. T. 2* [Selected works. Vol. 2.]. Moskva: IPM im. M.V. Keldysha [Moscow. IPM them. M.V. Keldysh], 2017. 260 p. (in Russian).
- [8] Germogenova T.A. et al. *Al`bedo nejtronov* [The Albedo of Neutrons]. Moskva: Atomizdat [Moscow. Atomizdat]. 1973. 279 p. (in Russian).
- [9] Gusev N.G., Kovalev E.E., Foderaro A. *Vy`vod formul. Linejny`j istochnik* [Derivation of Formulas. Linear Source]. *Rukovodstvo po radiatsionnoy zashhite dlya inzhenerov, T.2; perevod s angliyskogo; pod red. D.L. Brodera* [Guidance on Radiation Protection for Engineers. Vol. 2. Translation from English. Ed. D.L. Broder]. Moskva: Atomizdat [Moscow. Atomizdat]. 1972. P.79-83. (in Russian).
- [10] Golubev S.V., Izotov I.V., Lapin R.L. et al. *Impul'sny`j kvazitocheyny`j generator nejtronov na osnove sil'notochnogo E`CzR-istochnika ionov dejteriya* [Pulsed Quasi-Point Neutron Generator Based on a High-Current ECR Source of Deuterium Ions]. *Prikladnaya fizika* [Applied Physics]. 2018. № 6. P.79. (in Russian).
- [11] Aksenov V.L., Balagurov A.M., Pepelyshev Yu.N. [et al.] *Vy`sokopotochny`j istochnik nejtronov na osnove kaskadnogo buster* [High-Flux Neutron Source Based on Cascade Booster]. *Voprosy`*



atomnoj nauki i texniki [Problems of Atomic Science and Technology]. 2017. Issue 2. P. 4-25. (in Russian).

- [12] Kozlenko D.P., Kichanov S.E., Lukin E.V. et al. Neutron Radiography and Tomography Facility at IBR-2 Reactor. Physics of Particles and Nuclei Letters, 13, 3, 346-351 (2016) (in English).

## **The Application of Potential Theory for Neutron Field Configuration Analysis of Isotropic Sources**

**V.Ya. Shpicer<sup>1</sup>, V.V. Krivin<sup>2</sup>, V.A. Tolstov<sup>3</sup>, L.S. Kheday<sup>4</sup>, I.O. Ishigov<sup>5</sup>**

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

<sup>1</sup>ORCID iD: 0000-0002-5051-5091

e-mail: shpitser@mephi.ru

<sup>2</sup>ORCID iD: 0000-0003-0903-0786

WoS Researcher ID: E-2267-2018

e-mail: vkrivin@mephi.ru

<sup>3</sup>ORCID iD: 0000-0001-7144-5195

WoS ResearcherID: F-1032-2017

e-mail: v-tolstov-2017@mail.ru

<sup>4</sup>e-mail: LSKheday@mephi.ru

<sup>5</sup>ORCID iD: 0000-0002-5829-6989

WoS Researcher ID: E-2448-2018

e-mail: ioishigov@mephi.ru

**Abstract** – The article deals with the one-group approximation to the problem of parametric identification of the distribution of isotropic sources, providing the required configuration of the neutron field in vacuum.

**Keywords:** potential; isotropic neutron sources; inverse problems of transport theory; Poisson's equation; incorrect tasks; flaw detection; neutron diffraction; neutron tomography.

---

---

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ  
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

---

---

УДК 621.039.536

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДИАПАЗОНА СПЕКТРАЛЬНОГО  
РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАПАСА РЕАКТИВНОСТИ В РЕАКТОРАХ С  
ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ С ПОМОЩЬЮ ЦИРКОНИЕВЫХ  
ВЫТЕСНИТЕЛЕЙ ДЛЯ УРАНОВОГО И ТОРИЕВОГО  
ТОПЛИВНЫХ ЦИКЛОВ**© 2021 А.И. Элазака<sup>\*, \*\*</sup>, В.И. Савандер<sup>\*\*</sup>, Г.В. Тихомиров<sup>\*\*</sup><sup>\*</sup>Кафедра физики, факультет наук, Университет Аль-Азхар, 11884, Наср-Сити, Каир, Египет<sup>\*\*</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Компенсация избыточной реактивности в реакторах с водой под давлением типа ВВЭР осуществляется с помощью сильных поглотителей нейтронов. Это приводит к непроизводительному использованию нейтронов, снижению коэффициента воспроизводства и выгорания топлива. В настоящей работе рассматривается один из способов спектрального регулирования запаса реактивности на выгорание путем изменения водо-топливного отношения в процессе выгорания. Для изменения водо-топливного отношения используются цилиндрические пустотелые стержни из циркония, внедряемые в межствольное пространство ТВС. Расчетные исследования проведены для уран-ториевой топливной загрузки на основе урана-233. Оценен диапазон изменения водо-топливного отношения в зависимости от диаметра внедряемых пустотелых циркониевых стержней. Проведено сравнение с аналогичными расчетами для уранового топлива при условии одинакового весового содержания делящихся изотопов (3.7%). Исследованы концентрации топливных сырьевых и делящихся изотопов в обоих топливных циклах. В топливном цикле Th-U233 при снижении водо-топливного отношения коэффициент накопления делящихся изотопов может достигать 0,75. Проведено сравнение изменения концентрации продуктов деления в обоих топливных циклах. Для всех рассматриваемых значений водо-топливного отношения оценены температурные коэффициенты реактивности по температуре топлива и замедлителя и вес управляющих стержней. Параметры безопасности в топливном цикле Th-U233 имеют более высокие значения, чем в топливном цикле UO<sub>2</sub>. Показано, что при одинаковых весовых содержаниях делящегося изотопа в топливе, при внедрении пустотелых Zr-стержней диапазон изменения реактивности больше для топливного цикла с UO<sub>2</sub> по сравнению с его эффектом в топливном цикле Th-U233.

**Ключевые слова:** Вытеснители воды, коэффициенты реактивности, ВВЭР-1000, ториевый топливный цикл, запас реактивности, спектральное регулирование реактивности.

Поступила в редакцию 24.03.2021

После доработки 15.04.2021

Принята к печати 19.04.2021

**Введение**

С целью снижения стоимости производимой на АЭС электроэнергии в настоящее время на реакторах типа ВВЭР применяются удлиненные кампании и снижение бесполезного использования нейтронов в выгорающих поглотителях системы компенсации избыточной реактивности. Как известно наибольший запас реактивности реактора реализуется в начале кампании при загрузке свежего топлива. Для его компенсации используются борный поглотитель, растворенный в теплоносителе (жидкостная система) и выгорающие поглотители, внедрённые непосредственно в

твэлы (ТВЭГИ) [1-4]. При больших концентрациях борного поглотителя в теплоносителе плотностной коэффициент реактивности может поменять знак и стать отрицательным. Кроме того, при жидкостном регулировании образуется большое количество низко-активных жидких радиоактивных отходов [3, 5]. Интегрированные выгорающие поглотители на основе гадолиния снижают теплопроводность твэлов и приводят к повышению коэффициента неравномерности энерговыделения внутри ТВС [1, 6]. Следовательно, отказ от традиционных методов компенсации избыточной реактивности и использование избыточных нейтронов для повышения воспроизводства ядерного топлива считаются экономически целесообразными и с точки зрения финансовых затрат на эксплуатацию реактора.

В данной работе исследуется возможность использование спектрального регулирования запаса реактивности на основе изменения водо-топливного отношения путем внедрения пустотелых циркониевых стержней в межтвэльное пространство ТВС реактора типа ВВЭР-1200. Рассматривались различные способы осуществления спектрального регулирования в реакторах с водой под давлением, в том числе и на основе изменения состава теплоносителя-замедлителя для смеси тяжелой и легкой воды [7]. В качестве другого способа реализации спектрального регулирования рассматривалось применение циркониевых вытеснителей замедлителя в активной зоне ВВЭР-1000, для чего циркониевые вытеснители размещались в некоторых направляющих каналах, что позволило увеличить длительность кампании [8]. Исследуется спектральное регулирование с помощью Zr-стержней для модернизированной активной зоны ВВЭР-С с урановым и МОКС-топливом [9]. Использование Zr-стержней в качестве вытеснителей воды изменяет водо-топливное соотношение механическим способом. Реактор ВВЭР-С состоит из множества тепловыделяющих сборок (126 ТВС с Zr-стержнем в качестве вытеснителей воды и 61 ТВС с регулируемыми стержнями). Большое количество тепловыделяющих сборок и снижение удельной энергонапряженности активной зоны позволяют отказаться от компенсации запаса реактивности на выгорание борной кислотой и дают возможность продлить топливный цикл до шести лет со средним выгоранием 50 МВт сут / кг [9].

В работе [10, 11] Zr-стержни размещались в межтвэльном пространстве ТВС ВВЭР-1000, работающего на топливо  $UO_2$  (3,7%). Расход урана-235 уменьшался с присутствием Zr-стержней внутри ТВС, а концентрация изотопов Pu увеличивалась.

При спектральном регулировании избыточные нейтроны поглощаются в сырьевых изотопах, что приводит к повышению наработки делящихся изотопов. В начале цикла с наименьшим водо-топливным отношением в активной зоне избыточные нейтроны поглощаются воспроизводящими изотопами, которые играют роль поглотителей нейтронов, что приводит к более длительному топливному циклу и минимальному количеству используемых поглотителей нейтронов (выгорающих поглотителей и разбавленного бора в замедлителе). Использование тория изучалось в различных типах реакторов [12-14]. Торий считается перспективной альтернативой урану из-за уменьшения запасов урана [15]. Запасы тория в земной коре превышают запасы урана в три раза [16]. Делящийся изотоп урана (U-233) получается в результате поглощения нейтронов торием. Таким образом, использование тория в тепловых реакторах открывает возможность увеличения коэффициента воспроизводства и удлинения топливного цикла [16, 17].

В настоящей работе сравнивается использование Zr-стержней в качестве вытеснителей воды в топливных циклах на основе низкообогащенного урана и уран-ториевого цикла в ТВС ВВЭР-1000. Обогащение делящимся материалом в обоих топливных структурах составляет 3,7%. Zr-стержни располагаются в пространстве между твэлами, а диаметр Zr-стержней варьировался.

### Тестовая задача и расчётный код

Размеры ТВС и твэлов такие же, как ТВС реактора ВВЭР-1000 [18]. Расчёты проводились с использованием трёхмерного метода непрерывного переноса нейтронов Монте-Карло по энергии и кода выгорания SERPENT2 версии 2.1.30. SERPENT был разработан в Центре технических исследований Финляндии VTT [19]. SERPENT2 теперь используется для нескольких целей, таких как моделирование традиционных приложений физики реактора, проверка детерминированных транспортных кодов, мультифизическое моделирование, моделирование переноса нейтронов и фотонов для расчёта мощности дозы излучения и т. д.. Количество циклов и нейтронных траекторий  $= 2 \times 10^7$ . По опыту работы, увеличение этого количества не влияет на погрешность  $K_{эфф}$ . Статистическая ошибка в  $K_{эфф} = 0.0002$

### Результаты и обсуждения

Использованию Zr-стержней в качестве вытеснителя воды для управления спектром нейтронов и избыточной реактивностью внутри ядерного реактора уделяется значительное внимание в новых проектах ВВЭР. Основной принцип работы Zr-стержней заключается в том, что в начале цикла реактора эти стержни полностью погружены в активную зону, что значительно снижает ее запас реактивности. Далее, по мере выгорания топлива и снижения реактивности осуществляется постепенное извлечение этих стержней, что приводит к увеличению количества замедлителя в активной зоне и поддерживает реактор в критическом состоянии. Ранее рассматривалось применение вытеснителей воды (Zr-стержней) для регулирования нейтронного спектра и контроля избыточной реактивности в реакторе с водой под давлением (ВВЭР-1000) с традиционным топливным составом ( $UO_2$ ) с нейтронно-физической точки зрения [10, 11]. Также оценивалось влияние вытеснителей на безопасную работу реактора.

В настоящей работе состав топлива изменён на Th-U233 с таким же обогащением по делящемуся изотопу 3,7%. Цель исследований – оценить зависимость диапазона регулирования водо-топливного отношения от радиуса циркониевого вытеснителя и сравнить эти величины для двух рассматриваемых топливных циклов. На рисунке 1 показана ТВС ВВЭР-1000 с Zr-стержнями разного диаметра, где Zr-стержни вставлены между твэлами.

Расчётные исследования влияния Zr-стержней на размножающие свойства ТВС реактора типа ВВЭР проводились без наличия борного поглотителя в теплоносителе и выгорающих поглотителей в твэлах. В принципе, в реакторах этого типа основная доля начального запаса реактивности топлива на выгорание компенсируется применением частичных перегрузок топлива. Чем выше кратность частичных перегрузок, тем меньше остаточного запаса компенсируется поглотителями, включая и борное регулирование. Диаметр Zr-стержней варьируется от 0 мм до 5,4 мм (максимальный диаметр стержней из Zr, которые могут быть вставлены между твэлами). Максимальный диаметр Zr-стержней зависит от расстояния между твэлами. Предполагается, что Zr-стержни будут непрерывно извлекаться из активной зоны независимо от органов регулирования. При изменении диаметра Zr стержня происходит изменение водо-топливного отношения. В таблице 1 приведены начальные значения коэффициента размножения ТВС ВВЭР-1000 при разных диаметрах Zr-стержней и соответствующее значение водо-топливного отношения.

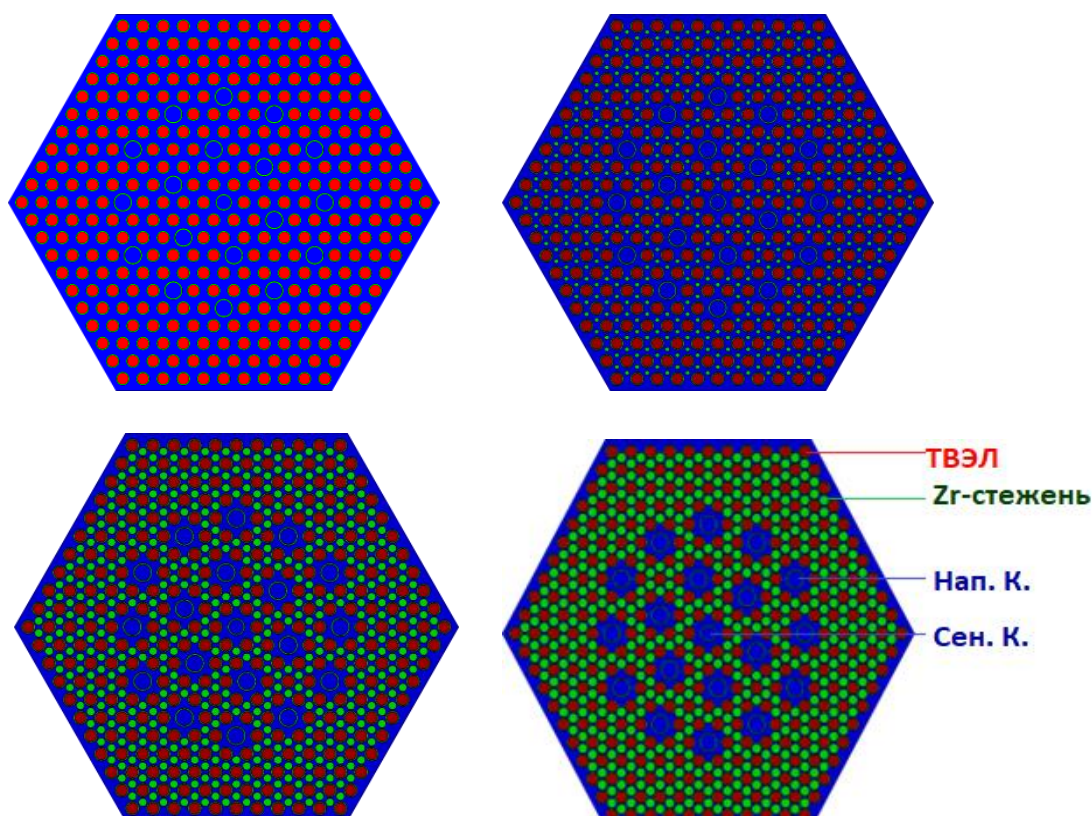


Рисунок 1 – Горизонтальное поперечное сечение SERPENT TBC ВВЭР-1000 с Zr-стержнями разного диаметра, расположенными между твэлами [Horizontal cross-section of SERPENT WWER-1000 fuel assemblies with Zr-rods of different diameters located between the fuel elements]

Таблица 1 – Коэффициент размножения ( $K_{\infty}$ ) в ТБС ВВЭР-1000 при различных значениях водо-топливного отношения для стандартного топливного цикла ( $\text{UO}_2$  -3,7%) и торий-уранового топливного цикла (Th-U233 -3,7%) [The multiplication factor ( $K_{\infty}$ ) in WWER-1000 fuel assemblies at different values of the water-fuel ratio for the standard fuel cycle ( $\text{UO}_2$  -3,7%) and thorium-uranium fuel cycle (Th-U233 -3.7%)]

| Диаметр Zr-стержня (мм) | Водо-топливное отношение | $K_{\infty}$ (Состояние горячей нулевой мощности) ( $\text{UO}_2$ ) | $K_{\infty}$ (Состояние горячей нулевой мощности) (Th-U233) |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 0                       | 1,85                     | 1,3608                                                              | 1,4435                                                      |
| 2                       | 1,75                     | 1,3443                                                              | 1,4330                                                      |
| 3                       | 1,62                     | 1,3210                                                              | 1,4194                                                      |
| 4                       | 1,43                     | 1,2857                                                              | 1,3967                                                      |
| 5                       | 1,20                     | 1,2329                                                              | 1,3615                                                      |
| 5,4                     | 1,09                     | 1,2059                                                              | 1,3416                                                      |

На рисунках 2 и 3 показано изменение коэффициента размножения ( $K_{\infty}$ ) с выгоранием при различных значениях водо-топливного отношения для обоих топливных структур,  $\text{UO}_2$  и Th-U233, соответственно. Введение Zr-стержней в тепловыделяющую сборку снижает количество замедлителя, что приводит к увеличению резонансного поглощения нейтронов на U-238 и снижению вероятности избежать резонансного поглощения. В результате значения  $K_{\infty}$  уменьшаются с увеличением диаметра Zr-стержня. Согласно представленным результатам по значениям  $K_{\infty}$  со стержнями и без них, Zr-стержни можно использовать в начале кампании реактора для подавления избыточной реактивности, а затем их постепенно извлекать. Как показано на рисунках 2 и 3, значения  $K_{\infty}$  в топливном цикле Th-U233 выше, чем в топливном цикле  $\text{UO}_2$ .

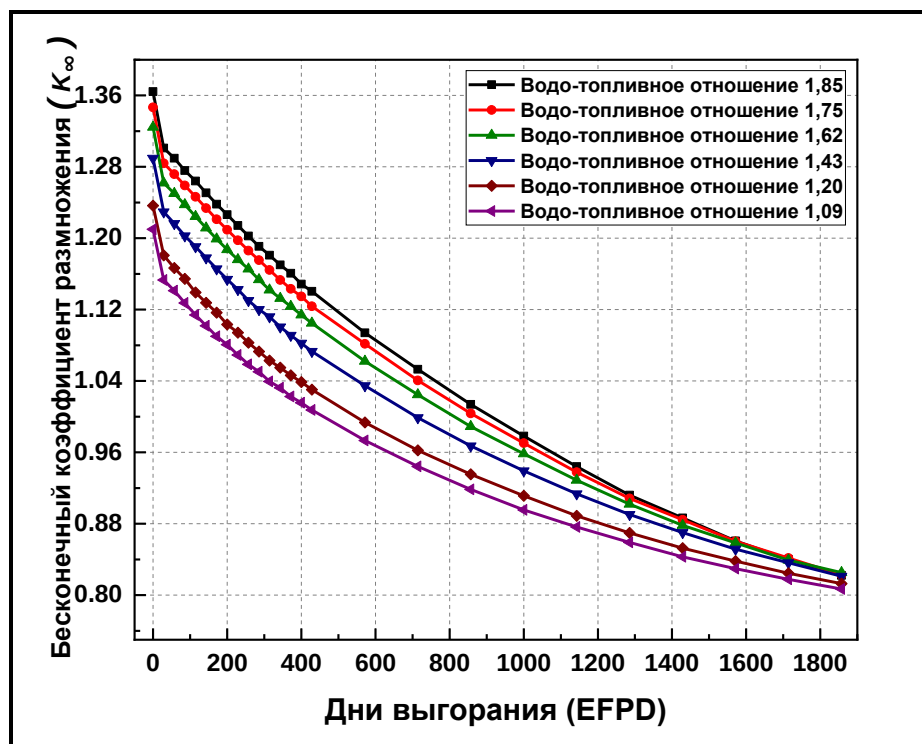


Рисунок 2 – Изменение значений  $K_{\infty}$  в зависимости от эффективных суток (EFPD) для стандартного топливного цикла ( $\text{UO}_2$  -3,7%) [Change in  $K_{\infty}$  values depending on the effective day (EFPD) for a standard fuel cycle ( $\text{UO}_2$  -3,7%)]

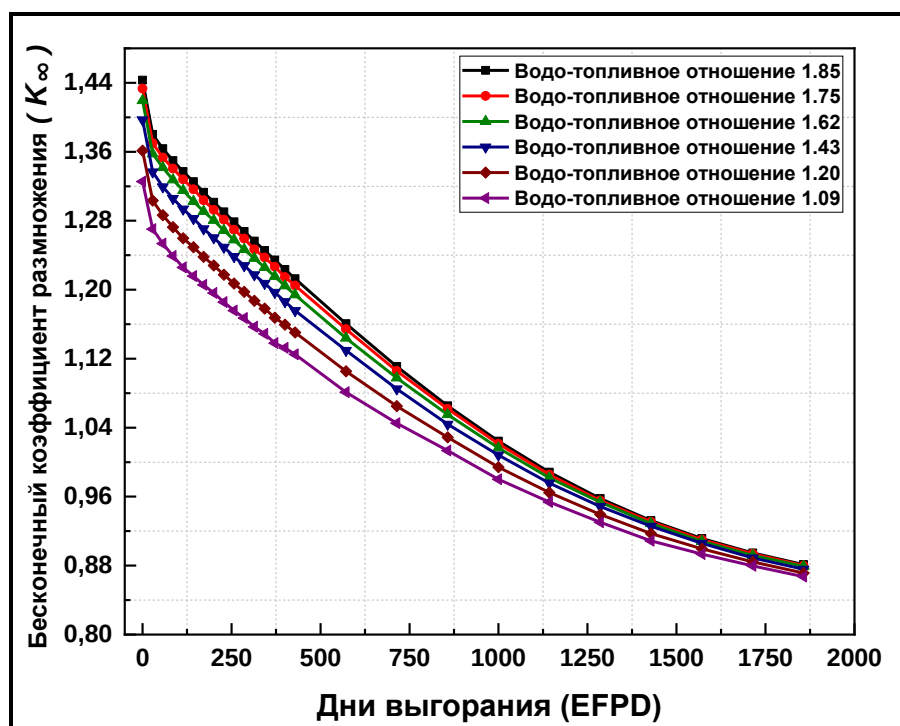


Рисунок 3 – Изменение значений  $K_{\infty}$  в зависимости от эффективных суток (EFPD) для торий-уранового топливного цикла ( $\text{Th-U233}$  -3,7%) [Change in  $K_{\infty}$  values depending on the effective day (EFPD) for the thorium-uranium fuel cycle ( $\text{Th-U233}$  -3,7%)]

В таблице 2 показана разница в коэффициенте размножения для обеих топливных композиций. Zr-стержни как вытеснители воды более эффективны в регулировании реактивности реактора с традиционной структурой топлива ( $\text{UO}_2$  -3,7%) ВВЭР-1000 при том же обогащении как показано в таблице 2.

Таблица 2 – Разница бесконечного коэффициента размножения в ТВС ВВЭР-1000 при разных значениях водо-топливного отношения в обоих топливных циклах ( $\text{UO}_2$  -3,7% и Th-U233 -3,7%) [Difference in the infinite multiplication factor in WWER-1000 fuel assemblies at different values of the water-fuel ratio in both fuel cycles ( $\text{UO}_2$  -3,7% и Th-U233 -3,7%)]

| Разница бесконечного коэффициента размножения | водо-топливное отношение |             |             |             |             |
|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                               | 1.85 - 1.75              | 1.75 - 1.62 | 1.62 - 1.43 | 1.43 - 1.20 | 1.20 - 1.09 |
| $\Delta K_{\infty} (\text{UO}_2)$             | 0,01655                  | 0,03982     | 0,07517     | 0,12795     | 0,15496     |
| $\Delta K_{\infty} (\text{Th-U233})$          | 0,01053                  | 0,02418     | 0,04682     | 0,08203     | 0,11762     |

На рисунках 3 и 4 показано изменение концентрации делящегося материала (U-235 и U-233, соответственно) в обоих топливных циклах с выгоранием при различных значениях водо-топливного отношения. Введение Zr-стержней в тепловыделяющую сборку вытесняет некоторое количество замедлителя в ТВС ВВЭР-1000 снижает водо-топливное отношение в ТВС ВВЭР-1000. Чем больше диаметр вытеснителя, тем меньше величина водо-топливного отношения в ТВС. Это увеличивает поглощение замедляющихся нейтронов в сырьевых изотопах (U-238 и Th-232) и повышает накопление делящихся изотопов (Pu-239 и U-233) соответственно. На рисунках 5 и 6 показано изменение концентраций U-238 и Th-232, соответственно, с выгоранием при различных значениях водо-топливного отношения. Как показано на рисунках 5 и 6, концентрация U-238 и Th-232 в топливном блоке ВВЭР-1000 уменьшается при уменьшении водо-топливного отношения.

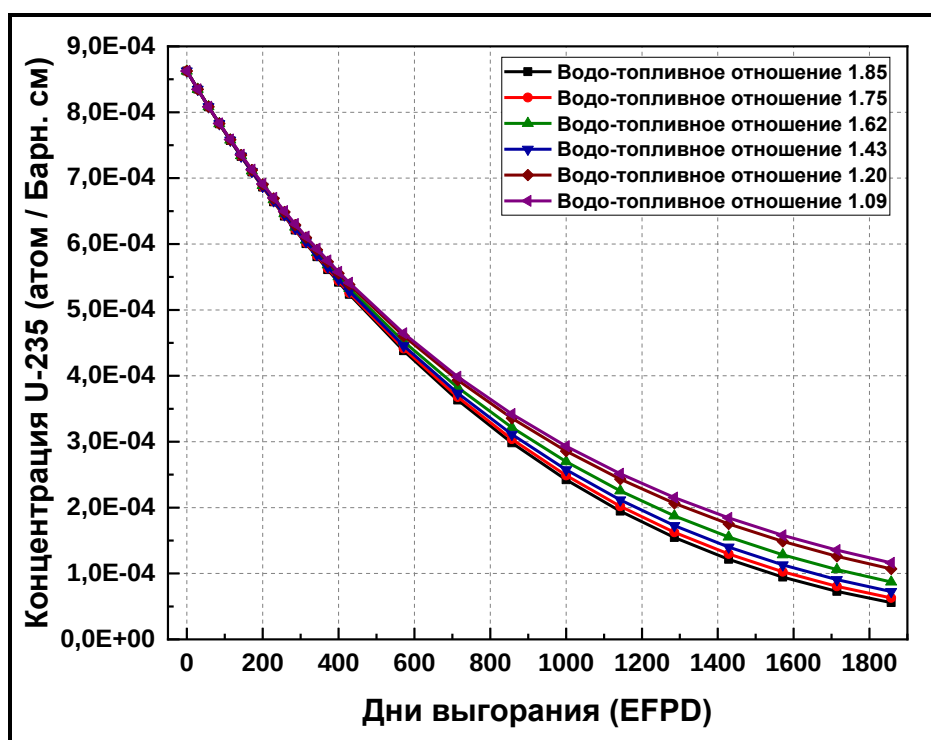


Рисунок 3 – Изменение концентрации U-235 с выгоранием при различных значениях водо-топливного отношения в ТВС ВВЭР-1000 для стандартного топливного цикла ( $\text{UO}_2$  -3,7%) [Change in U-235 concentration with burnup at different values of the water-fuel ratio in WWER-1000 fuel assemblies for a standard fuel cycle ( $\text{UO}_2$  -3,7%)]



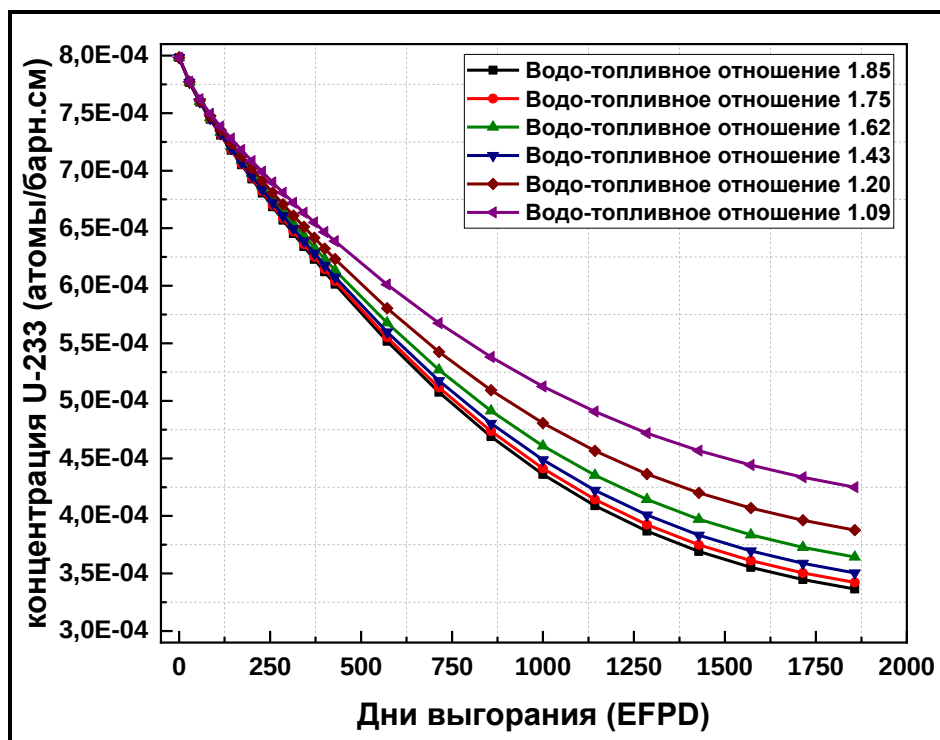


Рисунок 4 – Изменение концентрации U-233 с выгоранием при различных значениях водо-топливного отношения в ТВС ВВЭР-1000 для топливного цикла (Th-U233 -3.7%) [Change in U-233 concentration with burnup at different values of the water-fuel ratio in WWER-1000 fuel assemblies for the fuel cycle (Th-U233 -3.7%)]

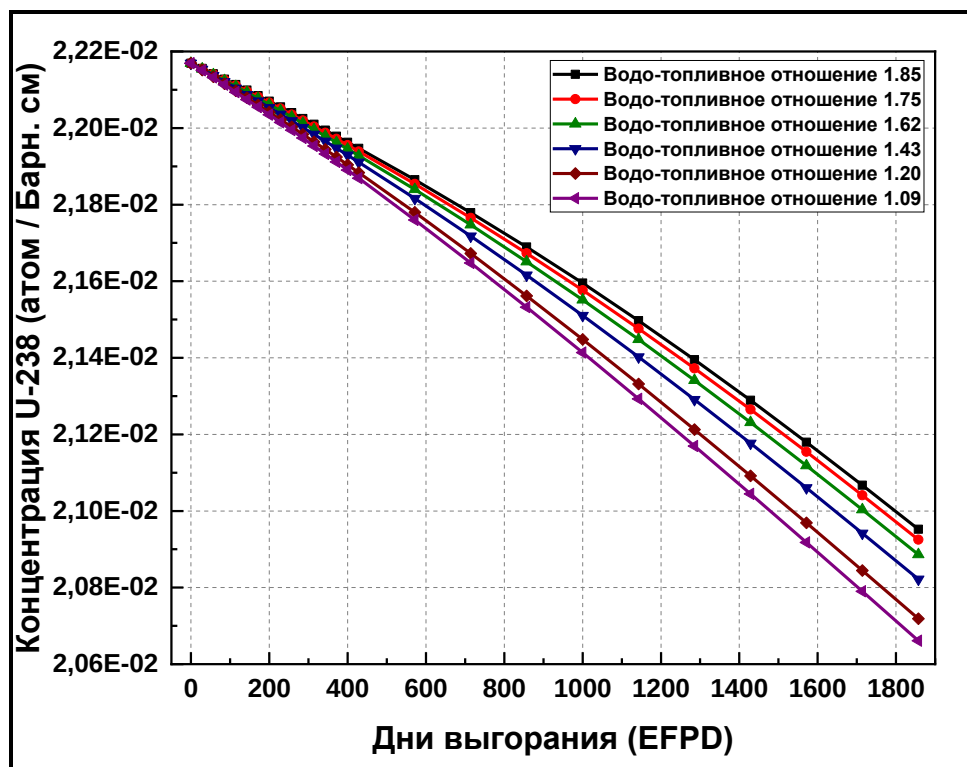


Рисунок 5 – Изменение концентрации U-238 с выгоранием различных значениях водо-топливного отношения в ТВС ВВЭР-1000 для стандартного топливного цикла (UO<sub>2</sub> -3,7%) [Change in U-238 concentration with burnup of different values of water-fuel ratio in WWER-1000 fuel assemblies for a standard fuel cycle (UO<sub>2</sub> -3,7%)]



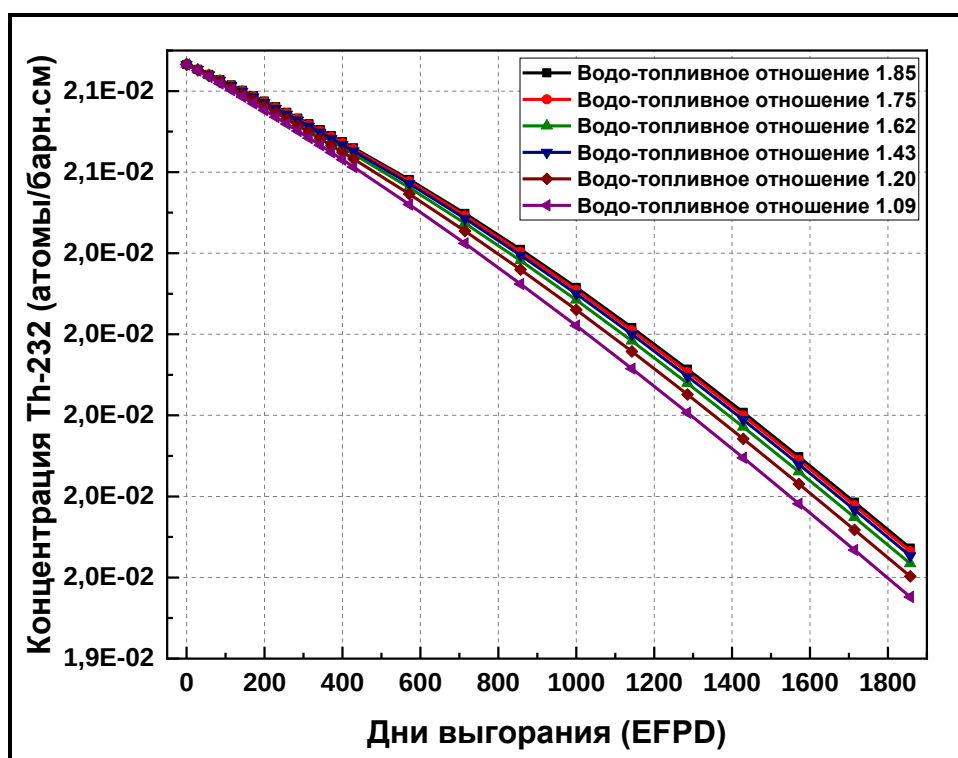


Рисунок 6 – Изменение концентрации Th-232 с выгоранием при различных значениях водо-топливного отношения в ТВС ВВЭР-1000 для стандартного топливного цикла (Th-U233 -3.7%) [Change in Th-232 concentration with burnup at different values of the water-fuel ratio in WWER-1000 fuel assemblies for a standard fuel cycle (Th-U233 -3.7%)]

Вес управляющих стержней (Control Rods Worth (CRW)), Доплеровский коэффициент реактивности (Doppler Effect Reactivity Coefficient (DRC)), и температурный коэффициент реактивности по замедлителю (Moderator Temperature Reactivity coefficient (MTC)) являются важными параметрами внутренне-присущей безопасности реактора. Следовательно, необходимо оценить изменение величины этих коэффициентов реактивности при изменении водо-топливного отношения. В таблице 3 приведены значения рассматриваемых коэффициентов реактивности при различных значениях водо-топливного отношения. Полученные результаты (табл. 3) обеспечивают внутренне присущую безопасность во всем диапазоне изменения водо-топливного отношения.

Таблица 3 – Коэффициент реактивности управляющих стержней (CRW), Доплеровский коэффициент реактивности (DRC), температурный коэффициент реактивности по замедлителю (MTC) в различных моделях ТВС ВВЭР-1000 для обоих топливных циклов (UO<sub>2</sub> -3,7% и Th-U233 -3,7%) [Control rod reactivity coefficient (CRW), Doppler reactivity coefficient (DRC), moderator temperature coefficient of reactivity (MTC) in various WWER-1000 fuel assemblies for both fuel cycles (UO<sub>2</sub> -3,7% и Th-U233 -3,7%)]

| Параметр обратной связи  |      | CRW (*10 <sup>-5</sup> )       |                        | DRC (*10 <sup>-5</sup> /K)     |                        | MTC (*10 <sup>-5</sup> /K)     |                        |
|--------------------------|------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|
|                          |      | Топливный цикл UO <sub>2</sub> | Топливный цикл Th-U233 | Топливный цикл UO <sub>2</sub> | Топливный цикл Th-U233 | Топливный цикл UO <sub>2</sub> | Топливный цикл Th-U233 |
| Водо-топливное отношение | 1,85 | -36077                         | -31280                 | -1,60                          | -1,81                  | -22.60                         | -10,12                 |
|                          | 1,75 | -37836                         | -32570                 | -1,82                          | -1,96                  | -24.17                         | -11,40                 |
|                          | 1,62 | -40414                         | -34516                 | -2,00                          | -2,12                  | -26.75                         | -13,19                 |
|                          | 1,43 | -44674                         | -37581                 | -2,10                          | -2,27                  | -30.57                         | -15,95                 |
|                          | 1,2  | -51708                         | -43156                 | -2,11                          | -2,53                  | -36.61                         | -20,74                 |
|                          | 1,09 | -55699                         | -46314                 | -2,18                          | -2,76                  | -40.03                         | -23,32                 |

### Заключение

Результаты проведенных исследований показали, что использования Zr-стержней позволяет осуществлять компенсацию избыточной реактивности, но в относительно небольшом объеме (примерно до  $\frac{1}{4}$  части полного запаса реактивности топливной загрузки на выгорание). При одинаковых весовых содержаниях делящегося изотопа в топливе (3.7%) диапазон компенсации избыточной реактивности в урановом топливе несколько больше, чем в ториевом топливном цикле. Максимальное значение определяется максимальным диаметром вытеснителя. Однако при этом расход теплоносителя через ТВС будет минимальным, что может привести к превышению теплотехнических ограничений по линейной нагрузке. Это может потребовать снижения средней энергонапряженности активной зоны, то есть снижение номинальной мощности АЭС. Одновременное использование борного и спектрального регулирования запаса реактивности будет экономически неоправданно. Поэтому для отказа от борного регулирования необходимо выбрать такую кратность частичных перегрузок топлива, чтобы запас реактивности в начале кампании можно было бы скомпенсировать циркониевыми стержнями. Расчёты веса управляющих стержней (CRW), Доплеровского коэффициента реактивности (DRC) и температурного коэффициента реактивности по замедлителю (MTC) показали наличие внутренне присущих свойств безопасности в реакторах типа ВВЭР-1000 с топливом обоих топливных циклов ( $\text{UO}_2$  и Th-U233) и Zr-стержнями в качестве регулятора реактивности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ REFERENCES

- [1] Campolina D. et al. Parametric Study of Enriched Gadolinium in Burnable Neutron Poison Fuel Rods for Angra-2 // Ann. Nucl. Energy. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 118. P. 375-380.
- [2] Fadaei A.H. Investigation of Burnable Poisons Effects in Reactor Core Design // Ann. Nucl. Energy. 2011.
- [3] Frybortova L. Recommended Strategy and Limitations of Burnable Absorbers Used in WWER Fuel Assemblies // Nucl. Sci. Tech. 2019. Vol. 30, № 8.
- [4] Galahom A.A. Study of Possibility of Using Europium and Pyrex Alloy as Burnable Absorber in PWR // Ann. Nucl. Energy. 2017. Vol. 110.
- [5] Galahom A.A. Investigation of Different Burnable Absorbers Effects on the Neutronic Characteristics of PWR Assembly // Ann. Nucl. Energy. Elsevier Ltd, 2016. Vol. 94. P. 22-31.
- [6] Safarzadeh O., Saadatian-Derakhshandeh F., Shirani A.S. Calculation of Reactivity Coefficients with Burnup Changes for WWER-1000 Reactor // Prog. Nucl. Energy. 2015.
- [7] Parisi C., Negrenti E., Pecchia M. B&W Spectral Shift Control Reactor Lattice Experiments: Evaluation of Core I and Core VIII // Nucl. Sci. Eng. 2014. Vol. 178, № 4.
- [8] Chibinyaev A. V., Alekseev P.N., Teplov P.S. Estimation of the Effect of Neutron Spectrum Regulation on WWER-1000 Fuel Burnup // At. Energy. 2006. Vol. 101, № 3. P. 680-683.
- [9] Teplov P. et al. The Main Characteristics of the the WWER-S with Spectrum Shift Regulation. 2015.
- [10] Elazaka A.I., Tikhomirov G. V. Potential of the WWER Reactor Spectral Regulation with Regard for Fuel Burnup // Izv. Vysshikh Uchebnykh Zawedeniy, Yad. Energ. 2020. Vol. 2020, № 2.
- [11] Elazaka A.I., Tikhomirov G.V., Abdelghafar Galahom A. Study the Neutronic Feasibility of Using Zr as an Energy Regulator Instead of Traditional Methods // Int. J. Energy Res. 2021.
- [12] Akbari-Jeyhouni R. et al. The Utilization of Thorium in Small Modular Reactors – Part I: Neutronic assessment // Ann. Nucl. Energy. 2018. Vol. 120.
- [13] Castro V.F., Velasquez C.E., Pereira C. Criticality and Depletion Analysis of Reprocessed Fuel Spiked with Thorium in a PWR Core // Nucl. Eng. Des. 2020. Vol. 360.
- [14] Cui D.Y. et al. Possible Scenarios for the Transition to Thorium Fuel Cycle in Molten Salt Reactor by Using Enriched Uranium // Prog. Nucl. Energy. 2018. Vol. 104.
- [15] International Atomic Energy Agency IAEA. Advances in Small Modular Reactor Technology Developments A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2018 Edition // Iaea. 2018.
- [16] International Atomic Energy Agency. Thorium Fuel Cycle: Potential Benefits and Challenges. 2005. № May.

- [17] Lung M., Gremm O. Perspectives of the Thorium Fuel Cycle // Nucl. Eng. Des. 1998. Vol. 180, № 2. P. 133-146.
- [18] Thilagam L. et al. A WWER-1000 LEU and MOX Assembly Computational Benchmark Analysis Using the lattice Burnup Code EXCEL // Ann. Nucl. Energy. Elsevier Ltd, 2009. Vol. 36, № 4. P. 505–519.
- [19] Leppänen J. et al. The Serpent Monte Carlo code: Status, Development and Applications in 2013 // Ann. Nucl. Energy. 2015. Vol. 82. P. 142-150.

## Comparative Study of Spectral Regulation Range of Excess Reactivity Control in Pressurized Water Reactors Using Zirconium Displacers for Uranium and Thorium Fuel Cycles

A.I. Elazaka<sup>\*,\*\*1</sup>, V.I. Savander<sup>\*\*2</sup>, G.V. Tikhomirov<sup>\*\*2</sup>

<sup>\*</sup>Department of Physics, Faculty of Science, Al-Azhar University, 11884, Nasr City, Cairo, Egypt

<sup>\*\*</sup>National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), 115409, Kashirskoe shosse, 31, Moscow, Russian Federation

<sup>1</sup>ORCID ID: 0000-0003-2132-2634

e-mail: aielazaka@mephi.ru

<sup>2</sup>ORCID ID: 0000-0001-9309-5616

e-mail: savander@mail.ru

<sup>3</sup>ORCID ID: 0000-0002-5332-7272

e-mail: gvtikhomirov@mephi.ru

**Abstract** – The compensation for the excess reactivity in the pressurized water reactors WWER is realized with high neutron absorber materials. The traditional excess reactivity regulation methods lead to unfeasible neutron utilization and reduce the breeding coefficient and fuel burnup. In the current work, the change of moderator-to-fuel ratio is investigated as one of the spectral regulation methods for excess reactivity control and its effect on the fuel burnup. Cylindrical Zirconium rods (Zr rods) are used to fulfill the moderator-to-fuel ratio change. The Zr rods are placed between fuel rods in WWER-1000 fuel assembly. The current work calculations are performed for the thorium fuel cycle (Th-U233). The change of the Zr rods diameter leads to the variation in moderator-to-fuel ratio. A comparison between the Zr rods as a reactivity regulator in WWER-1000 fuel assembly for both fuel cycles UO<sub>2</sub> and Th-U233. The concentration of the fertile and fissile fuel components for both fuel cycles has been analyzed. The fissile isotopes accumulation coefficient can reach 0.75 with the decrease of the moderator-to-fuel ratio in the Th-U233 fuel cycle. The primary safety parameters such as the Control rods worth, Doppler Effect reactivity coefficient, and Moderator Temperature reactivity Coefficient have been studied at different moderator-to-fuel ratio values. The safety parameters in the Th-U233 fuel cycle have higher values more than the UO<sub>2</sub> fuel cycle with the insertion of Zr rods. From the comparison between the Zr rods effect in both fuel cycles, it is clearly shown that Zr rods in the UO<sub>2</sub> fuel cycle have a more influential role in regulating the WWER-1000 core reactivity compared with its effect in the Th-U233 fuel cycle.

**Keywords:** water displacers, reactivity coefficients, WWER-1000, thorium fuel cycle, excess reactivity, spectral reactivity regulation.

---

---

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ  
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

---

---

УДК 621.646, 621.3.08

## КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АРМАТУРЫ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

© 2021 Д.В. Швец, И.А. Микшин, А.А. Лапкис, Е.С. Арсентьева

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

В исследовательской работе рассмотрена и проанализирована проблема выхода из строя регулирующей арматуры при обрыве вала-шестерни в период нормальной эксплуатации. Для выявления типичных отклонений и причин выхода из строя электроприводной арматуры были проанализированы амплитудно-частотные спектры токового сигнала, снятые на одной или нескольких фазах электродвигателя. Принятый для анализа метод спектрального диагностирования позволяет обнаружить скрытые дефекты арматуры, не обнаруженные при других видах анализа. С целью обоснования исследования спектральный анализ проводился на регулирующих клапанах, установленных в системах основного конденсата и питательной воды энергоблоков ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200. В результате исследования были установлены следующие взаимосвязи: изменение амплитуды на частоте вращения электродвигателя (ЭД) до –30 дБ является следствием работы ЭД на повышенной нагрузке, что приведет к износу упорно-радиальных подшипников; появление модулирующих частот в районе частоты 50 Гц может свидетельствовать о том, что наблюдаются отклонения в настройке ограничителей момента электропривода (ЭП). Выявленные дефекты в дальнейшем приведут к выходу из строя вала-шестерни и останову энергоблока. Результаты проведенной работы использованы для дополнения существующего каталога дефектов трубопроводной арматуры, разработанного НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ.

*Ключевые слова:* диагностика арматуры, спектральный метод, АЭС, отклонения в работе, электроприводная арматура, регулирующие клапана, дефект ходовой части, вал-шестерня, система основного конденсата, подача питательной воды.

Поступила в редакцию 16.04.2021

После доработки 13.05.2021

Принята к публикации 25.05.2021

Целью проведения исследовательской работы обозначено выявление признаков в амплитудно-частотном спектре, характерных для отклонений в работе ходовой части электроприводной арматуры (ЭПА), важной для безопасности энергоблоков проектов В-320 [1] и В-392М [2]; вынесение рекомендации по техническому обслуживанию арматуры исследуемых типоразмеров, для повышения ее надежности и срока эксплуатации.

Регулирующие клапаны DN 700 устанавливаются в энергоблоках с реакторами ВВЭР проектов В-320 и В-392М, и служат управляющими органами для регулирования расхода проходящей среды. Конкретно в проведенной работе рассмотрены арматуры системы основного конденсата с функцией регулирования уровня в подогревателе низкого давления -2 и деаэраторе, а также регулирующие клапаны питательной воды второго контура. Данная арматура является важной для безопасности в соответствии с НП-001-15, а её отказ при эксплуатации может непосредственно привести к остановке энергоблока и последующему экономическому ущербу из-за недовыработки электроэнергии.

Принцип работы клапана и его сборочный чертеж с основными элементами клапана указаны позициями на рисунке 1: 2 – гайка-указатель; 3 – вал-шестерня;

4 – втулка резьбовая; 5 – втулка ходовая; 6 – крышка бугеля в сборе; 7 – шпонка; 8 – болт М10-6QX16.88.35.097; 9 – шайба 10; 10, 11 – болты М16-6QX40.88.35.097; 12 – подшипник 8112Н; 13 – подшипник 2007912; 14 – винт М5-6QX10.88.35X; 15 – штифт 6; 16 – кольцо; 17 – втулка винтовая; 18 – планка нажимная; 19 – грундбукса; 20 – кольцо графитовое уплотнительное (КГУ); 1-52×36×6; 21 – фланец бугеля; 22 – кольцо сальника; 23 – кольцо КГУ 1-90×80×6,5; 24 – подшипник 50207; 25 – кольцо упорное; 26 – манжета 1.1-36×28.

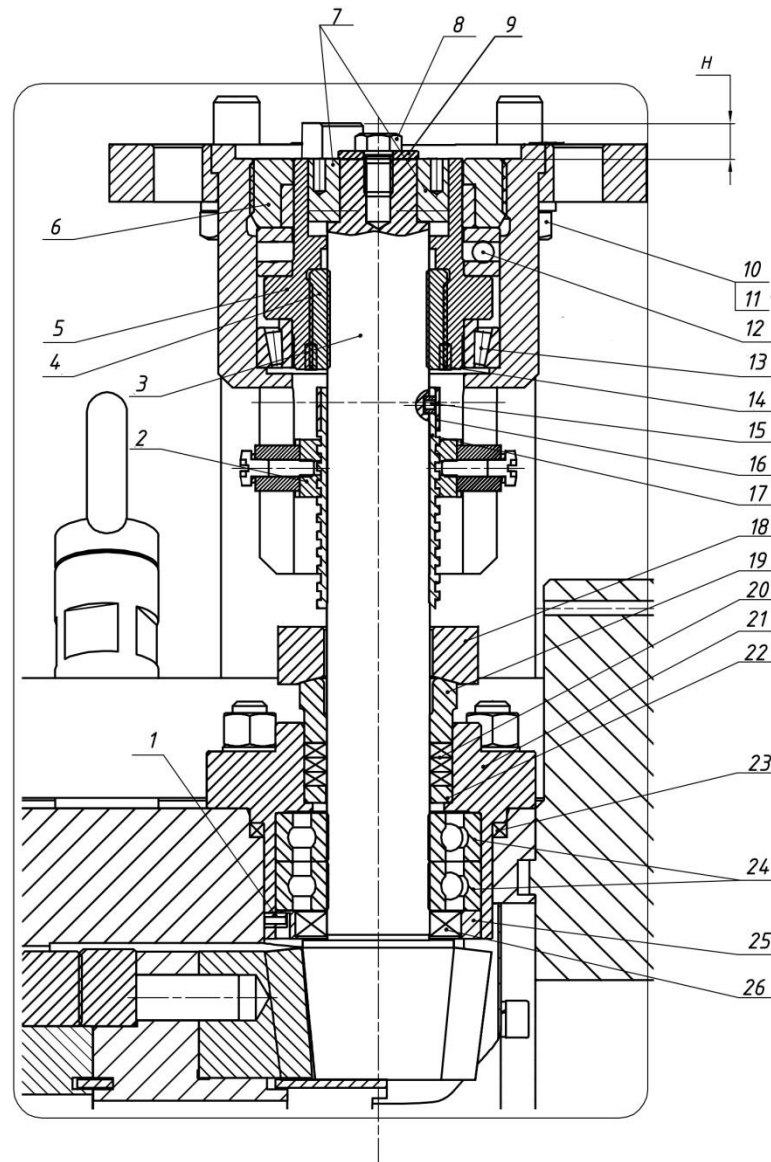


Рисунок 1 – Сборочный чертеж (габаритный 1:10) ходового узла [Assembly drawing (overall 1:10) of motion gear]

Во время эксплуатации клапаном управляют дистанционно с помощью электропривода (ЭП). Также конструкция ЭП позволяет осуществлять управление клапаном при помощи ручного дублёра.

Принцип работы клапана заключается в следующем: при поступлении управляющего сигнала включается в работу электропривод. Выходной вал электропривода через муфту приводит во вращение вал-шестерню 3, которая кинематически связана с венцом зубчатого колеса, прикрепленного к золотнику. Золотник, вращаясь вокруг оси, перекрывает профильное проходное сечение седла

клапана, обеспечивая процесс регулирования расхода среды. При вращении вала-шестерни 3 указатель перемещается вверх-вниз и показывает положение золотника. Подшипники качения, выполненные в виде колец 22 и сепараторов с роликами воспринимают усилие от давления рабочей среды, и облегчают вращение золотника.

Электропривод должен быть настроен:

- на момент открытия и полного закрытия золотника клапана;
- на автоматическую остановку при достижении золотником крайних положений.

Конструктивно вал-шестерня изготовлен из легированной, коррозионно-стойкой, жаропрочной стали 14X17H2 [3]. Используя карту дефектации, предоставленную поставщиком, опишем возможные риски и дефекты. Модель детали в изометрии представлена ниже (рис. 2).

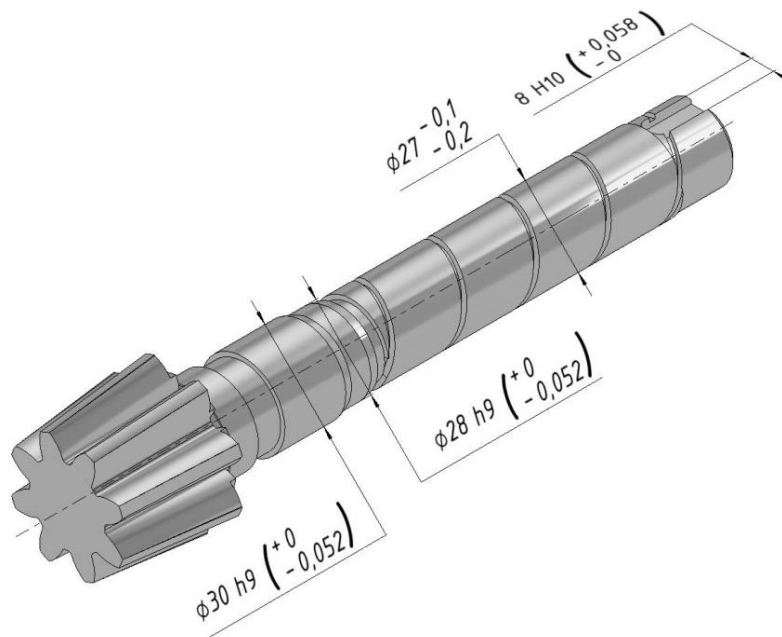


Рисунок 2 – Рабочий чертеж вала-шестерни в изометрии С.КР 700-00-22 [Working drawing of pinion shaft in C.LV 700-00-22 isometry]

Возможные дефекты, подлежащие ремонту:

- риски, натиры поверхности Ø30h9. Износ до размера не менее Ø 29,8;
- риски, натиры поверхности Ø28h9. Износ до размера не менее Ø 27,8;
- риски, натиры поверхности Ø27- 0,1-0,2. Износ до размера не менее Ø 26,6.

Дефекты, образование которых приведет к полному выходу из строя арматуры и невозможности ремонта вала-шестерни:

- износ поверхности Ø30h9 до размера менее 29,8;
- износ поверхности Ø28h9 до размера менее 27,8;
- износ поверхности Ø27- 0,1-0,2 до размера менее Ø26,6;
- износ зубьев – толщина зуба по внешней постоянной хорде менее 6,6 мм;
- выкрашивание шпоночного паза. Износ размера 8H10, более 8,08.

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

Выявление причин возможного отказа [4] и поломки трубопроводной арматуры, а также обоснование продления межремонтного периода, может быть возможно только

при использовании современных методов оценки технического состояния арматуры [5, 6], таких как анализ токовых сигналов, вибродиагностика, тепловизионный контроль. В данной работе рассмотрен метод спектрального диагностирования [7-9] трубопроводной арматуры на основании полученных токовых сигналов. Благодаря данному методу есть возможность предсказать динамику ухудшения работы ЭПА и обнаружить внутренние неисправности узлов [10].

Диагностирование трубопроводной арматуры важной для безопасности по НП-001-15 [11], установленной в системах основного конденсата ПНД и системах питательной воды, имеет важное значение, так как позволяет поддерживать работоспособность арматуры и вовремя проводить ремонтные мероприятия. Техническое диагностирование позволяет выявить отклонения в работе ЭПА путем сравнения с результатами предыдущего диагностирования и эталонными спектрами.

Для оценки работоспособности электроприводной арматуры используется анализ диагностических параметров при выполнении функции «передача движения рабочему органу». В качестве диагностических параметров используются параметры токового сигнала, снятые на одной или нескольких фазах статорных обмоток электродвигателя, регистрируемые при выполнении операции «открытие/закрытие». На основании полученных замеров производится расчет определяющих диагностических параметров, с помощью программного обеспечения PowerGraph выполняется построение огибающих токового сигнала и амплитудно-частотных спектров. Полученные значения и графики сравнивают с нормами оценки, указанными в нормативно-технической документации (НТД), соответствующими эталонами, построенными для работоспособной арматуры данного типоразмера и типа привода. Вычисление диагностических параметров производится согласно разработанной методике диагностирования трубопроводной арматуры [5].

Для выявления характерных признаков ухудшения технического состояния трубопроводной арматуры в частотном спектре был проанализирован составленный ранее каталог дефектов ЭПА. Данный каталог был разработан НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ на основании комплексного анализа более чем 20000 токовых сигналов, снятых с обмоток ЭД. Каталог постоянно редактируется и дополняется.

Использование спектрального анализа [12] дает возможность выявить дефекты, которые не могут быть обнаружены в результате использования анализа диагностических параметров временного сигнала и дает возможность уточнения оценки технического состояния ЭПА. Спектры фактически зарегистрированного сигнала могут быть использованы для сравнения с эталонами на данный типоразмер, для установления тенденции и прогнозирования изменения технического состояния арматуры в процессе эксплуатации.

Проведение анализа амплитудно-частотного спектра тока, регистрируемого со статорных обмоток электродвигателя по одной или трем фазам, позволяет выявить отклонения в спектре диагностируемого сигнала в сравнении с опорным (эталонным), полученным для заведомо работоспособной арматуры аналогичного типоразмера [13, 14]. Приведем примеры возможных отклонений в спектре:

- наличие боковых составляющих и «горбов белого шума» у основных частот;
- рост амплитуды основных частот выше уровня минус 40 дБ;
- появление в спектре дополнительных составляющих, характеризующих взаимодействия в кинематических парах редуктора ЭП диагностируемой арматуры;
- наличие множественной однотональной и многотональной модуляций в районе основной частоты, ее гармоник, гармоник и субгармоник частот вращения выходного вала и внутренних деталей ЭП и ЭД;
- асимметрия боковых составляющих относительно основной частоты;

- асимметрия в фазах токового сигнала;
- повышения общего уровня фонового сигнала, свидетельствующий о погрешностях измерительной цепи и т.д.

Составление спектральных масок производится с помощью программного обеспечения PowerGraph для работоспособной трубопроводной арматуры. Для понимания, каким образом производится анализ спектров, приведем пример спектра работоспособной арматуры, с типоразмером 973-500-ЭСБ (рис. 3), установленной в системе питательной воды энергоблоков ВВЭР-1000.

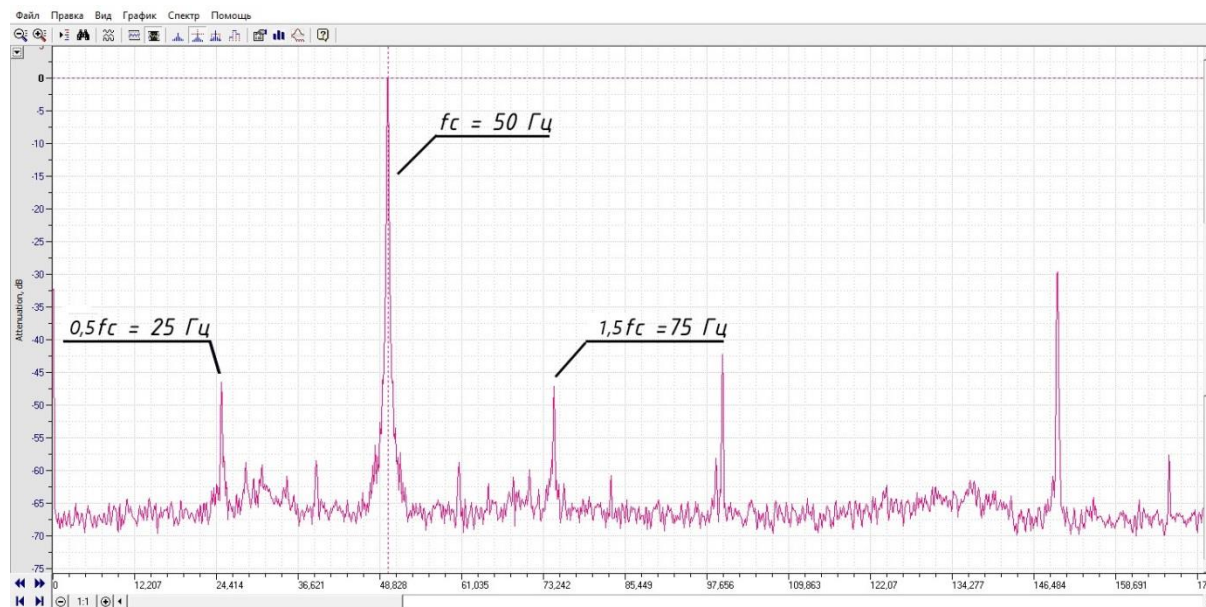


Рисунок 3 – Спектр токового сигнала арматуры без дефектов [Spectrum of current signal of valves without defects]

На приведенном рисунке представлен спектр работоспособной арматуры, построенный в логарифмическом масштабе (дБ) относительно максимальной составляющей (частота питания сети  $f_c=50$  Гц). Частота вращения выходного вала ЭД  $f_{эд}=25$  Гц; частота вращения выходного вала электропривода  $f_{эп}=0,42$  Гц. На построенном спектре отмечены основные частоты, характеризующие электромеханическую часть арматуры ( $f_c$ ,  $0,5f_c$  и  $1,5f_c$ ).

Для обоснования конкретных дефектов вала-шестерни регулирующей арматуры рассмотрим спектры токового сигнала арматуры важной для безопасности энергоблоков на разных АЭС России. Выявим дефекты на спектре, характеризующие возможность износа вала-шестерни и дальнейшего его выхода из строя. В первую очередь рассмотрим регулирующую арматуру, установленную на трубопроводах питательной воды энергоблока ВВЭР-1000. Данная арматура имеет типоразмер 973-500-ЭСБ с приводом типа АОС 2–61–4, амплитудно-частотный спектр, при выполнении операции «открытие» приведен ниже (рис. 4).

По проведенному анализу выявлены следующие отклонения:

- увеличение амплитуд частот вращения электродвигателя до -22 дБ;
- появление в спектре гармоник и субгармоник ( $f_z$ ) около несущей частоты 50 Гц, амплитуда которых близка к 40 дБ;
- выявление характерного энергетического горба (горбов) «белого шума» в районе основных частот вращения выходного вала.



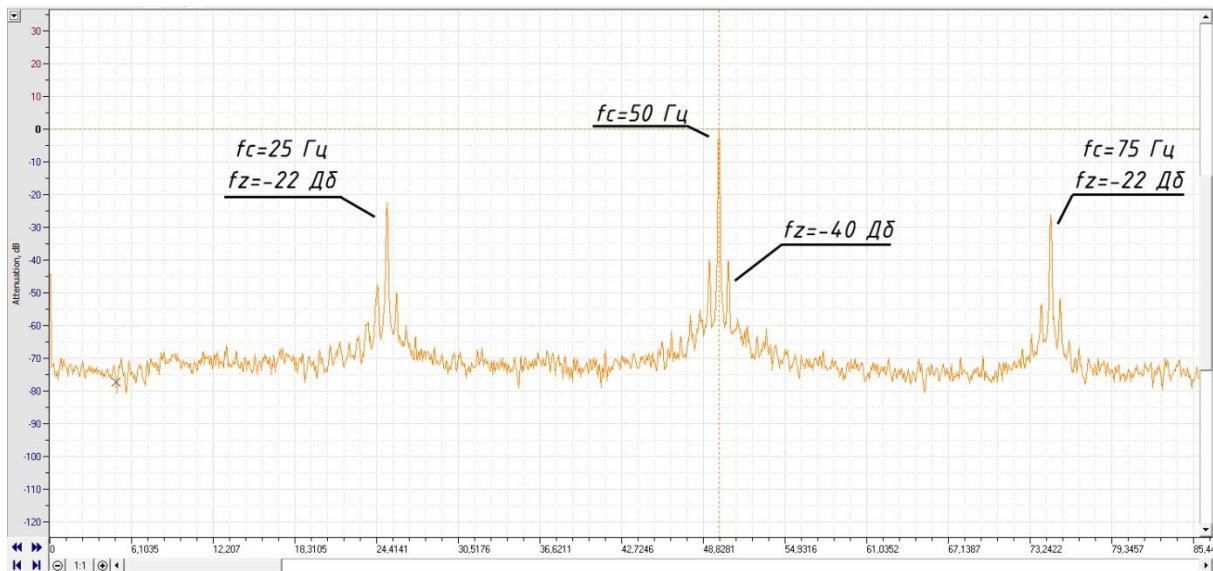


Рисунок 4 – Спектр токового сигнала арматуры с дефектом ходового узла (DN 500) [Spectrum of current signal of valves with motion gear defect (DN 500)]

Теперь рассмотрим арматуру с типоразмером С.КР 700-00-00-Э, установленную в системе основного конденсата энергоблока ВВЭР-1200 (рис. 5).

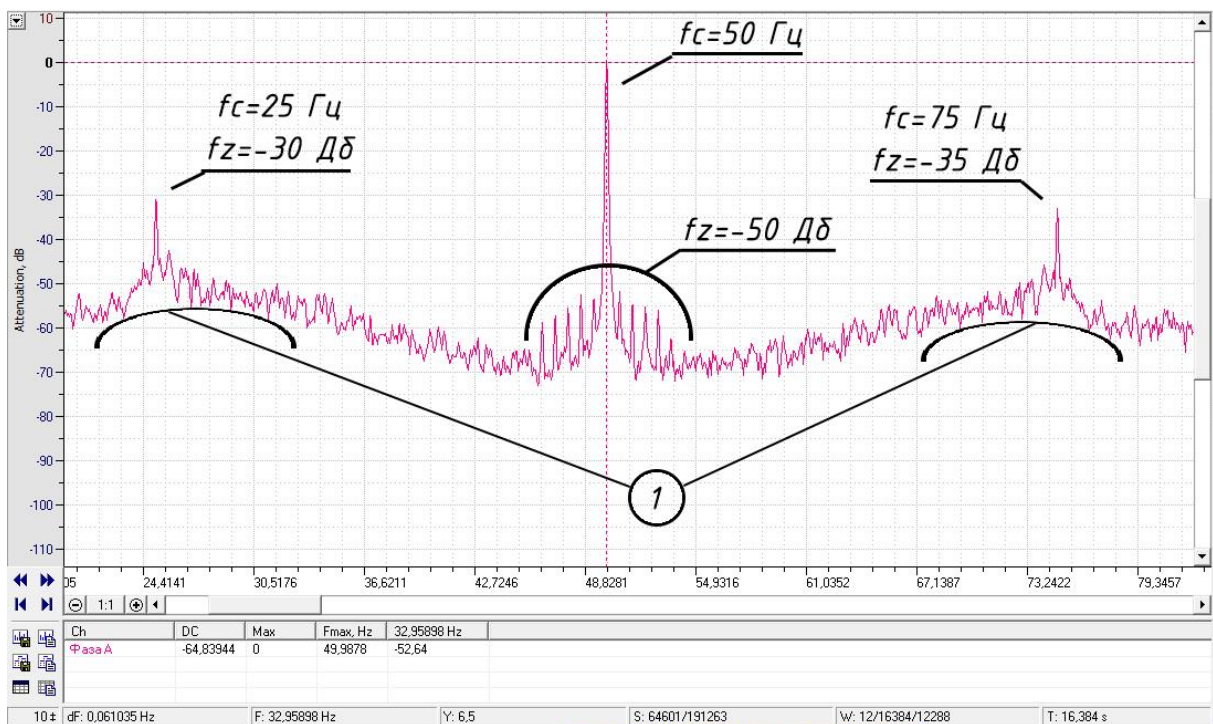


Рисунок 5 – Спектр токового сигнала с дефектом ходового узла (DN 700) [Current signal spectrum with motion gear defect (DN 700)]

При анализе спектра были выявлены отклонения:

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

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

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

Данные отклонения являются следствием неправильного выбора материалов, недостаточного ТОиР и недостатком конструкции регулирующего органа данного типа регулирующих клапанов.

### **Выводы**

Проведенная исследовательская работа позволила определиться с ключевыми моментами по применению спектрального анализа для обнаружения склонности поворотной-регулирующей арматуры к появлению скрытых дефектов и ее недостаточной надежности.

На основании выполненного анализа рекомендуется проводить диагностику единиц поворотной регулирующей арматуры, важных для безопасности АЭС, по электрическим сигналам после каждого осуществляемого ремонта с целью устранения и предотвращения последующих инцидентов с разрушением ходового узла.

Результаты проведенной работы использованы для усовершенствования методики диагностики электроприводной арматуры [5], разработанной НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ, в части дополнения существующего каталога дефектов трубопроводной арматуры.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Андрушечко, С.А. АЭС с реакторами ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С.А. Андрушечко, А.М. Афров, В.Н. Генералов, К.Б. Косоуров, Ю.М. Семченков, В.Ф. Украинцев. – Москва : Логос, 2010. – 604 с.
2. Росатом: государственная корпорация: [сайт]. – Текст. Изображения: электронные. – URL : <https://rosatom.ru/production/design/sovremennyye-reaktory-rossiyskogo-izayna/> (дата обращения 10.04.2021).
3. ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки: Межгосударственный стандарт: издание официальное. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 27.12.72 N 2340, введен впервые 1975-01-01. Разработан Министерством черной металлургии СССР. – Текст : непосредственный. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2001. – 64 с.
4. DeWall, K. Motor-Operated Valve (MOV) actuator motor and gearbox testing / K. DeWall, J.C. Watkins, D. Bramwell // Idaho National Engineering Laboratory, U.S. Department of Energy. – 1997. P.58. Text: direct.
5. МТ 1.2.3.02.999.0085. Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры. Методика. Стандарт организации: издание официальное. Утвержден и введен в действие Приказ ОАО «Концерн Росэнергоатом» № 9/270-П от 22.03.2012, введен впервые 01.06.2012. Разработан НИИ «Энергомашиностроения». – Текст : электронный. – Москва, 2012. – 127 с.
6. Akhmetshin A.R., Golomidov V.N, Vildanov R.R. Technical diagnostics of electrically operated valves at NPP. // International Conference «Methodological problems in reliability study of large energy systems», 14 December 2020. P.1-4.
7. Синельщиков, П.В. Особенности использования методов анализа частотных составляющих токового сигнала ЭПА / П.В. Синельщиков, А.В., Чернов // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – Т.2, вып.1. – С. 1-4.
8. Синельщиков, П.В. Информационно-измерительная система для диагностирования электроприводной арматуры атомных станций на основе вейвлет-преобразования:

- специальность 05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы (приборостроение)»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Синельщиков Павел Владимирович; ВИТИ НИЯУ МИФИ. – Место защиты: Волгоградский государственный университет. – Текст: непосредственный. – Волгоград, 2012.
9. Dipankar, M. Sensorless Stall Detection With the DRV8889-Q1. Texas Instruments. 2020. P.23.
  10. Абидова, Е.А. Повышение чувствительности диагностирования оборудования АЭС в условиях перехода на 18-месячный топливный цикл / Е.А. Абидова // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 4(33). – С. 1-5.
  11. НП-001-15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций: Федеральные нормы и правила: издание официальное. Утвержден и введен в действие Приказом Ростехнадзора от 17.12.2015 N 522, введен впервые 02.02.2016. – Текст: непосредственный. – Москва, 2016. – 74 с.
  12. СТО 1.1.1.01.0069. Правила организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных станций: Стандарт организации: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом АО «Концерн Росэнергоатом» от 04.05.2017 № 9/588-П: введен впервые: дата введения 26.10.2017. Разработан АО «ВНИИАЭС». – Текст: непосредственный. – Москва, 2021. – 112 с.
  13. Sang-hyuk Lee, Yi-qi Wang, Jung-il Song. Fourier and wavelet transformations application to fault detection of induction motor with stator current. Central South university Press and Springer-Verlag. 2010. №17. P.8.
  14. Santhosh K.V., Swetha R. Fault detection of a flow control valve using vibration analysis and support vector machine. MDPI Open Access Journals. 2019. P.15.

## REFERENCES

- [1] Andrushechko, S. A. AES s reaktorami VVER-1000. Ot fizicheskikh osnov ekspluatacii do evolyucii proekta [NPP with WWER-1000 Reactors. From Physical Foundations of Operation to the Evolution of the Project] / S.A. Andrushechko, A.M. Afrov, V.N. Generalov, K.B. Kosourov, Yu.M., Semchenkov, V.F. Ukraintsev. – Moscow: Logos, 2010. P.604 (in Russian).
- [2] Sovremennye reaktory rossijskogo dizajna [Modern Russian-Designed Reactors]. Oficial'nyj sajt gosudarstvennoj korporacii Rosatom [Official website of the state corporation]. 2021. URL: <https://rosatom.ru/production/design/sovremennye-reaktory-rossijskogo-dizayna/> (in Russian).
- [3] GOST 5632-72. Stali vysokolegirovannye i splavy korrozionnostojkie, zharostojkie i zharoprochnye. Marki [High-Alloy Steels and Alloys are Corrosion-Resistant, Heat-Resistant and Heat-Resistant. Stamps]: Interstate standard: official publication: approved and put into effect by the Resolution of the State Committee of Standards of the Council of Ministers of the USSR of 27.12.72 N 2340: introduced for the first time: date of introduction 1975-01-01 / developed by the Ministry of Ferrous Metallurgy of the USSR. Moscow: IPK Publishing House of Standards, 2001. P.64 (in Russian).
- [4] DeWall, K. Motor-Operated Valve (MOV) Actuator Motor and Gearbox Testing / K. DeWall, J.C. Watkins, D. Bramwell // Idaho National Engineering Laboratory, U.S. Department of Energy. – 1997. P.58 (in English).
- [5] MT 1.2.3.02.999.0085. Diagnostirovanie truboprovodnoj elektroprivodnoj armatury. Metodika [Diagnostics of Pipeline Electric Drive Valves. Methodology]. Organization standard: official publication: approved and put into effect Order of JSC "Concern Rosenergoatom" No. 9/270-P of 22.03.2012: introduced for the first time: 01.06.2012 / developed by the Research Institute "Energomashinostroeniya", 2012. P.127 (in Russian).
- [6] Akhmetshin, A.R. Technical Diagnostics of Electrically Operated Valves at NPP / A.R. Akhmetshin, V.N. Golomidov, and R.R. Vildanov // International Conference «Methodological problems in reliability study of large energy systems», 14 December 2020. P. 1-4 (in English).
- [7] Sinelshchikov, P. V., Chernov A.V. Osobennosti ispol'zovaniya metodov analiza chastotnyh sostavlyayushchih tokovogo signala EPA [Features of Use of Methods for Analyzing the Frequency Components of the Current Signal of the EPA] [Global Nuclear Safety]. 2012. № 1(2). P. 1-4 (in Russian).
- [8] Sinelshchikov P. V. Informacionno-izmeritel'naya sistema dlya diagnostirovaniya elektroprivodnoj armatury atomnyh stancij na osnove vejvlet-preobrazovaniya [Information and Measurement System for Diagnosing Electric Drive Valves of Nuclear Power Plants Based on the Wavelet Transform]: specialty 05.11.16 «Information and Measurement and Control Systems (Instrument Engineering)»: abstract of the PhD thesis in Technical Sciences / Sinelshchikov Pavel Vladimirovich; VITI NIYaU MEPhI. – Volgogradsk 2012. Place of defense: Volgograd State University (in Russian).

- [9] Dipankar, M. Sensorless Stall Detection with the DRV8889-Q1 / M. Dipankar // Texas Instruments. 2020. P. 23 (in English).
- [10] Abidova E.A. Povyshenie chuvstvitel'nosti diagnostirovaniya oborudovaniya AES v usloviyah perekhoda na 18-mesyachnyj toplivnyj cikl [Increased Sensitivity of Diagnostics of NPP Equipment in Conditions of Transition to 18-Month Fuel Cycle] [Global Nuclear Safety]. 2019. №. 4(33). P. 1-5 (in Russian).
- [11] NP-001-15. Obshchie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnyh stancij: Federal'nye normy i pravila [General Provisions for Ensuring the Safety of Nuclear Power Plants]: Federal norms and rules: official publication: approved and put into effect by Order of Rostekhnadzor of 17.12.2015 N 522: introduced for the first time: date of introduction 02.02.2016 - Moscow, 2016. P.74 (in Russian).
- [12] STO 1.1.1.01.0069. Pravila organizacii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sistem i oborudovaniya atomnyh stancij [Rules of Organization of Maintenance and Repair of Systems and Equipment of Nuclear Power Plants]: Organization standard: official publication: approved and put into effect by Order of JSC "Concern Rosenergoatom" dated 04.05.2017 No. 9/588-P: introduced for the first time: date of introduction 26.10.2017 / developed by JSC "VNIIAES", Moscow, 2021. P.112 (in Russian).
- [13] Lee Sang-hyuk Fourier and Wavelet Transformations Application to Fault Detection of Induction Motor with Stator Current / Sang-hyuk Lee, Yi-qi Wang, Jung-il Song // Central South university Press and Springer-Verlag. 2010. №17. P.8 (in English).
- [14] Santhosh K.V. Fault Detection of a Flow Control Valve Using Vibration Analysis and Support Vector Machine / K.V. Santhosh, Swetha R. // MDPI Open Access Journals. 2019. P.15 (in English).

### Control Valve Condition Checking by Spectral Analysis

**D.V. Shvets<sup>1</sup>, I.A. Mikshin<sup>2</sup>, A.A. Lapkis<sup>3</sup>, E.S. Arsenteva<sup>4</sup>**

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

<sup>1</sup>ORCID iD: 0000-0002-4651-9495

*e-mail: svecdima6@gmail.com*

<sup>2</sup>ORCID iD: 0000-0001-5854-2353

*e-mail: mikshin89@mail.ru*

<sup>3</sup>ORCID iD: 0000-0002-9431-7046

*e-mail: paltusmeister@gmail.com*

<sup>4</sup>*e-mail: ESArsenteva@mephi.ru*

**Abstract** – The research work considers and analyzes the problem of control valve failure in case of shaft-gear break during normal operation. In order to identify typical deviations and causes of failure of the electrically driven valves, the amplitude-frequency spectra of the current signal taken at one or more phases of the electric motor were analyzed. The method of spectral diagnostics adopted for analysis allows detecting hidden defects of reinforcement not detected in other types of analysis. In order to justify the study, spectral analysis is carried out on control valves installed in the main condensate and feedwater systems of power units WWER-1000 and WWER-1200. As a result of the study, the following relationships were established increase of amplitude speed of electric motor (EM) to -30 dB is a fact of EM operation at increased load, which will lead to wear of thrust-radial bearings; appearance of baseband frequencies in the region of 50 Hz frequency indicates that there are deviations in setting of electric drive torque limiters. The detected defects, in the future, will lead to the failure of the gear shaft and the shutdown of the power unit. The results of the performed work are used to supplement the existing catalog of defects of pipeline valves developed by RI NPE VETI NRNU MEPhI.

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

---

---

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ  
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

---

---

УДК 621.315.14:621.315.175

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ИНТЕНСИВНОСТИ  
ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ В  
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

© 2021 Е.С. Молошная, В.В. Нечитайлов, И.В. Мельников, С.А. Баран

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

Ростовская атомная станция является крупнейшим энергетическим центром на Юге России. Электроэнергия от АЭС передается на узловые подстанции по территории Южного региона, климатические условия которого способствуют образованию гололедных отложений на линиях электропередач это обуславливает актуальность проблемы плавки гололеда. Существующие системы раннего обнаружения гололеда и плавки его на проводах ВЛ 110-500 кВ позволяют предотвратить обрыв проводов и разрушение опор. В современных методах плавка гололеда выполняется переменным и постоянным током с использованием специальных трансформаторов и выпрямителей с напряжением плавки 10 кВ и током плавки до 3600 А. В технологических картах плавки гололеда установлены требования к контролю величины токов плавки на стороне переменного и постоянного тока в зависимости от метеоусловий, токов и напряжений для предотвращения перегрева контактов в схемах плавки и соблюдения параметров плавки. В схемах с использованием постоянного тока нет надежной методики контроля его величины. В работе рассматривается возможность применения волоконно-оптического датчика тока с диапазоном измерения от 1 до 3600 А.

*Ключевые слова:* плавка гололёда, контроль тока плавки и напряжения, волоконно-оптический датчик, понижающий трансформатор, трёхфазный мостовой выпрямитель, система управления, регулирования, защиты и автоматики, индукция магнитного поля, эффект Фарадея, оптоэлектронный трансивер, поляризатор.

Поступила в редакцию 16.04.2021

После доработки 28.04.2021

Принята к публикации 30.04.2021

В условиях Южного региона для плавки гололеда на высоковольтных воздушных линиях используются источники питания, как переменным, так и постоянным током. Для линий электропередач 220, 500кВ в «длинную» сторону целесообразно использование источников постоянного тока, так как при этом исключается влияние на процесс плавки гололеда, индуктивного сопротивления линии и соответственно потребует меньшей полной мощности. Источник питания для плавки гололеда (далее ПГ) представляет собой трехфазный понижающий трансформатор (рис. 1), с подключением к трехфазным мостовым выпрямителям. Наиболее удобным выходным напряжением является напряжение 10 кВ. Мощность плавки гололеда должна соответствовать интенсивности гололедообразования на проводах и длины линии ЛЭП, поэтому выпрямительные установки могут включаться последовательно, за счет чего увеличивается в 2 раза напряжение плавки гололеда.

Для плавки гололеда ЛЭП 500кВ широко применяются выпрямители трехфазные постоянного тока с принудительным воздушным охлаждением, диодные (далее В-ТППД). Ток плавки гололеда определяется величиной выбранного напряжения агрегата и коэффициентом трансформации разделительного трансформатора питающей

выпрямительной установки. Для выпрямительной установки применена трехфазная мостовая схема, преобразовывающая трехфазный ток с частотой 50 Гц в постоянный при минимальном коэффициенте пульсации. Конструктивно силовая часть выпрямителя размещена в трех шкафах в каждом из которых размещаются два диодных высоковольтных плеча одной фазы.

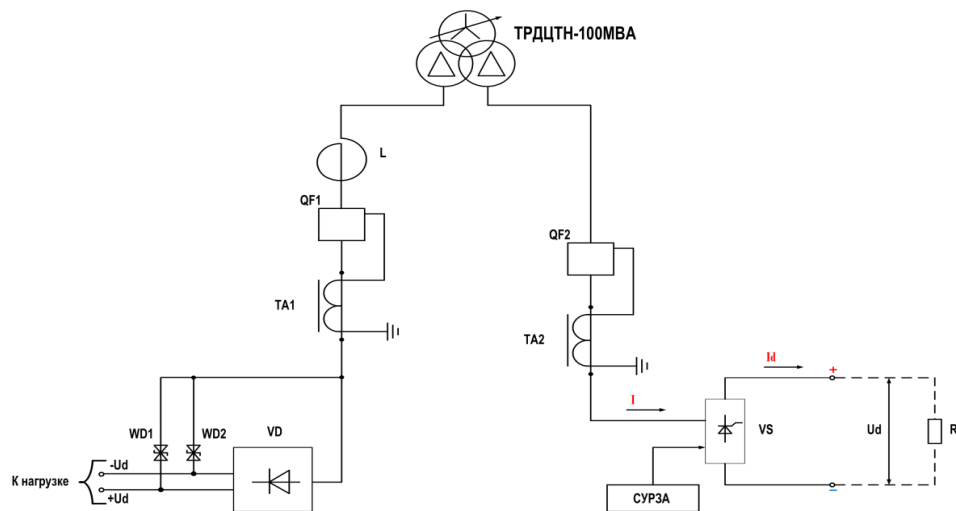


Рисунок 1 – Однолинейная схема устройств плавки гололеда, выполнена на диодах и тиристорах, где ТРДЦТН-трансформатор плавки гололеда, QF-вакуумный выключатель, L-реактор, ТА-трансформатор тока, VD-шкаф диодный, WD-ограничители перенапряжений, VS-выпрямительная установка плавки гололеда, СУРЗА-система регулирования, релейная защита и автоматика [A single-line diagram of ice melting devices, made on diodes and thyristors, where ТРДЦТН is an ice melting transformer, a QF-vacuum circuit breaker, an L-reactor, a TA-current transformer, a VD-diode cabinet, WD-surge arresters, a VS-ice melting rectifier, SURZA-control system, relay protection and automation]

Датчиками тока для вторичных цепей управления и защиты служат трансформаторы тока, соединенные в звезду с нулевым выводом, установленные на входе выпрямителя. В силовой части выпрямительной установки со стороны трехфазной сети установлены токоограничивающие реакторы. В схемах плавки гололеда постоянным током могут присутствовать высшие гармоники, оказывающие негативное влияние на оптический грозотрос, предназначенный для передачи сигналов высокой частоты, находящиеся в магнитном поле обогреваемой линии, что приводит к возникновению помех. Это обуславливает необходимость дополнительной защиты этих линий на кратковременный период плавки гололеда. Управление выпрямителем осуществляется блоком системы регулирования защиты и автоматики (далее СУРЗА). Выпрямительная установка является источником питания для цепи плавки гололеда, в которую включены провода или тросы ВЛ, соединенные по одной из схем, обеспечивающих образование контура постоянного тока (провод-два провода, провод-провод). Управление производится с помощью органов управления СУРЗА, измерение постоянного тока до 2 кА в цепи плавки гололеда может производиться с использованием датчиков типа LEM [1], принцип работы которых основан на использовании эффекта Холла [2] (рис. 2), силовым воздействием магнитного поля создаваемым измеряемым током на заряды во вторичной цепи, которые расположены перпендикулярно силовым линиям. Измеренный постоянный ток течет по проводнику вокруг которого образуется постоянное магнитное поле. Датчик Холла [3] представляет собой пластину из полупроводникового или проводникового материала. На заряды в пластине со стороны магнитного поля действует сила Лоренца и они смещаются к противоположным сторонам пластины создавая, таким образом, разность потенциалов пропорциональную силе измеряемого тока.

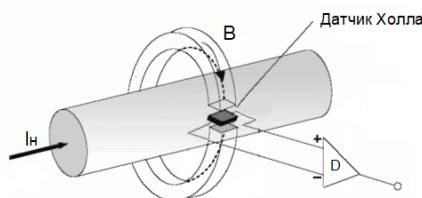


Рисунок 2 – Датчик Холла:  $I_n$  – ток нагрузки, B – незамкнутое магнитное кольцо, D – усилитель сигнала  
[Hall sensor:  $I_n$  is the load current, B is an open magnetic ring, D is a signal amplifier]

При всей неприхотливости в обслуживании главным недостатком таких датчиков является высокая погрешность измерений, так как на его работу оказывает влияние магнитное поле, создаваемое в электроустановке. Величина помех может создавать значительные неточности измерения тока, в то время как в реальных условиях существует необходимость измерения выходного тока в зависимости от интенсивности гололёдообразования, что делает мало приемлемым применение этих датчиков.

В существующих схемах измерение тока производится через измерительные трансформаторы тока, которые установлены на входе в цепь выпрямителя, а значения постоянного тока на выходе выпрямителя не измеряются. Это усложняет процесс контроля управления и защиты плавки гололеда. Решить проблему измерения выпрямленного тока можно применив оптический датчик тока, принцип которого основан на эффекте Фарадея [4], по которому у светового потока, проходящего через магнитное поле изменяется поляризация.

Согласно закону Верде вращение плоскости поляризации линейно-поляризованного монохроматического света, проходящего в изотропной среде вдоль магнитного поля, угол поворота плоскости поляризации определяется напряженностью магнитного поля ( $H$ ) и длиной пути светового луча ( $l$ ) вдоль силовой линии магнитного поля [5], формула (1):

$$\Theta = V \times l \times H, \quad (1)$$

где  $\Theta$  – угол поворота светового луча;

$V$  – постоянная Верде, определяемая длиной волны светового луча, свойствами среды и температурой.

Постоянная Верде – величина, характеризующая магнитное вращение плоскости поляризации в веществе. Ее значение зависит от свойств вещества и длины волны, монохроматического излучения. При  $V > 0$ , в данной среде происходит правостороннее вращение луча. Направление угла поворота плоскости поляризации зависит только от направления магнитного поля, но не от направления светового луча вдоль поля или против него. Закон Верде, описывающий эффект Фарадея используется для бесконтактного измерения в цепи плавки гололеда. Магнитное поле существует вокруг воздушных линий постоянного тока. Линейно поляризованный луч, находящийся в чувствительном элементе отклонен на некоторый угол. Угол поворота плоскости поляризации определяется величиной напряженности магнитного поля, которое пропорционально намагничивающему току [6].

Оптоэлектронный трансивер (рис. 3) преобразует излучение светодиода в два линейно поляризованных оптических сигнала [7], которые вводятся и распространяются в оптическом волокне, сохраняющем поляризацию до кольцевой намотки волокна (чувствительного элемента). Назначение поляризатора разделить два линейно поляризованных сигнала на сигнал с правой и левой круговой поляризацией. Поляризованный оптический сигнал проходит по кольцевой намотке волокна по проводнику с током несколько раз [8]. В силу эффекта Фарадея, состоящего в зависимости величины преломленного луча оптического материала от величины



магнитного поля, создаваемого электрическим током, скорость распространения оптического сигнала с левой поляризацией уменьшается, а с правой поляризацией – увеличивается. После прохождения полного пути по кольцевой намотке волокна, оптические сигналы с круговой поляризацией проходят через светоделитель, движутся обратно, удваивая при этом эффект фазового рассогласования двух кругополяризованных сигналов. Сигнал, поступив на вход поляризатора, преобразуется обратно в линейно поляризованные оптические сигналы, который поступает на оптоэлектронный трансивер. Разность в скорости распространения преобразуется в фазовый сдвиг двух сигналов. Поскольку оптические сигналы распространяются по одинаковому пути с одинаковым влиянием на них вибрации и температуры, то точность измерения величины тока не зависит от действия этих факторов. Волоконно-оптический датчик [9] тока имеет высокую точность: Кл. 0,2 для токов от 1 до 3600 А. Аналого-цифровой преобразователь усиливает полученные электрические сигналы и обеспечивает действие цифровой системы защиты и измерения [10].

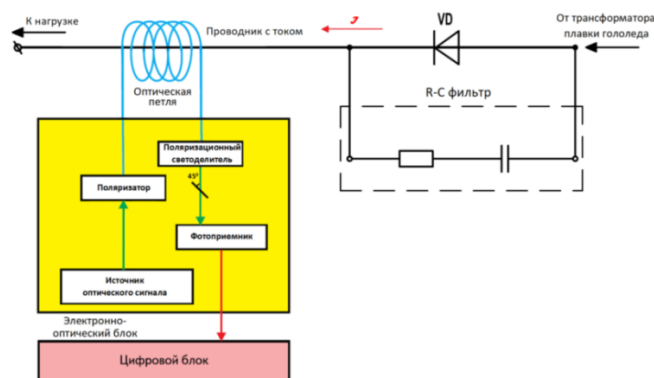


Рисунок 3 – Схема выпрямительной установки с волоконно-оптическим датчиком тока, где VD-диодный шкаф, R-C-фильтр для сглаживания пульсаций [Diagram of a rectifier unit with a fiber-optic current sensor, where VD is a diode cabinet, an R-C filter for smoothing ripple]

Для тестирования образца датчика были произведены измерения постоянного тока  $I=500$  А, полученного на выходе выпрямительной установки на РП 220кВ Волгодонск. В качестве источника светового потока используется неоновый лазер 1 с длиной волны  $\lambda=630$  нм [11] (рис. 4), этот луч попадает в патч корд 2, на конце которого расположен коллиматор 3, дающий практически параллельные пучки, которые попадают на поляризатор 4, пропускающий только одну форму. Далее свет проходит по проводнику с током 6, таким образом, обмотка оптоволокна находится в постоянном магнитном поле. Далее световой луч проходит через анализатор 7, связанный со шкалой углов, через коллиматор 8 и регистрируется фотоприемником 9.

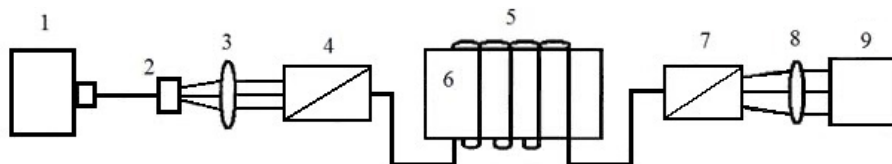


Рисунок 4 – Схема установки ВОДТ: 1 – неоновый лазер, 2 – патч корд, 3 – коллиматор, 4 – поляризатор, 5 – волоконно-оптическая петля, 6 – проводник с током, 7 – анализатор, 8 – коллиматор, 9 – фотоприемник [Fiber optical current sensor setup scheme: 1 – neon laser, 2 – patch cord, 3 – collimator, 4 – polarizer, 5 – fiber-optic loop, 6 – current-carrying conductor, 7 – analyzer, 8 – collimator, 9 – photodetector]

Постоянная Верде может быть определена с использованием двух режимов работы установки: 1 – без тока, 2 – с пропущенным измеряемым током. Интенсивность



света, проходящего через оба поляризатора зависит от угла  $\Theta$  (угол между осями пропускания поляризаторов друг относительно друга для первого режима):

$$Int = \frac{1}{2} Int_0 \cos^2 \Theta$$

При втором режиме магнитным полем создается перемещение поляризованного излучения относительно первого на угол  $\Delta\Theta$  (для второго режима):

$$Int = \frac{1}{2} Int_0 \cos^2(\Theta + \Delta\Theta)$$

Были проведены соответствующие измерения света в зависимости от угла между осями поляризаторов в двух режимах, по результатам опыта построенные в зависимости функции вида  $Int = const \cdot \cos^2(\Theta + k_1)$  (для режима 1) и  $Int = const \cdot \cos^2(\Theta + k_2)$  (для режима 2).

Сдвиг фаз между кривыми, построенными по результату опытов, соответствуют углу  $\Theta$ , на которые повернулась плоскость поляризации в процессе воздействия магнитного поля.

Постоянную Верде можно определить по формуле (2):

$$V = \mu_0 \frac{I \cdot N}{l}, \quad (2)$$

где  $I$  – ток в катушке;

$N$  – количество витков в катушке;

$l$  – размер обмотки.

При проведении опытов был использован  $I=500$  А на выходе выпрямительной установке. Определена магнитная индукция поля постоянного тока и вычислена напряженность электрического поля:

$$H = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{500 \cdot 400}{0.08} \approx 0,314 [\text{Эр}].$$

На основании опыта и расчета получены точки, соответствующие величине плоскости поворота поляризации [12]. Аппроксимирующие кривые показаны на рисунке 5.

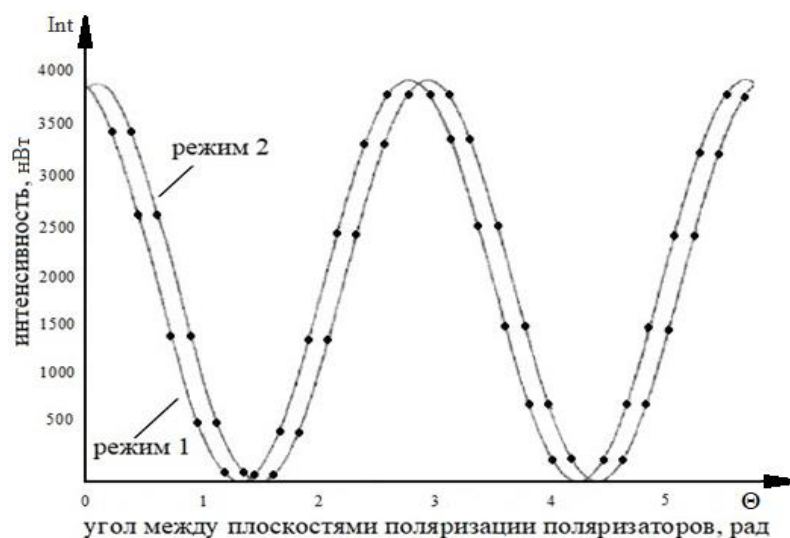


Рисунок 5 – Зависимость интенсивности света от угла поляризации [Light intensity versus polarization angle]

Таким образом, как видно из графика,  $\Theta = 0,18$  рад =  $10,313^0$ . Тогда постоянная Верде находится следующим образом:

$$V = \frac{\Theta \cdot 60}{n \cdot l} = \frac{10,313 \cdot 60}{900 \cdot 8} = 0,085 \frac{\text{мин}}{\text{Э·см}}$$

Полученное значение постоянной Верде соответствуют магнитоактивному стеклу, это значит волоконно-оптический датчик тока может быть применен для измерения токов для установок плавки гололеда постоянным током. Достоинства этого метода является высокий класс точности 0,2 и большой диапазон измеряемых токов — до 3,6 кА, высокое быстродействие и независимость от воздействия внешних факторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чечерников, В.И. Магнитные измерения / Н.И. Чечерников. — Москва: Издательство Московского университета, 1969. — С. 320-327.
2. Абраменкова, И. Оптические датчики тока и напряжения / И. Абраменкова, И. Корнеев, Ю. Троицкий // Компоненты и технологии. — 2010. — № 8. — С. 60-63.
3. Гавричев, В.Д. Волоконно-оптические датчики магнитного поля / В.Д. Гавричев, А.Л. Дмитриев. — Санкт-Петербург : СПбНИУ ИТМО, 2013. — 83 с.
4. Некрашевич, Е. Волоконно-оптические датчики тока / Е. Некрашевич, Н. Старостин // Электронные компоненты. — 2006. — № 11. — С. 23-77.
5. Гуляев, Ю.В. Волоконно-оптические технологии, устройства, датчики и системы / Ю.В. Гуляев, С.А. Никитов, В.Т. Потапов, Ю.К. Чаморовский // Фотон-экспресс : Спецвыпуск. — 2005. — № 6. — С. 114-127.
6. Рембеза, С.И. Физика твердого тела. Оптические, диэлектрические и магнитные свойства твердых тел. Ч. III / С.И. Рембеза, Н.И. Каргин. — Ставрополь : СевКавГТУ, 2003.
7. Удд, Э. Волоконно-оптические датчики / Э. Удд. — Москва : Техносфера, 2008. — 520 с.
8. Окоси, Т. Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси. — Ленинград : Энергоатомиздат, 1990. — 256 с.
9. Кульчин, Ю.Н. Распределенные волоконно-оптические датчики и измерительные сети / Ю.Н. Кульчин. — Москва : Физматлит, 2001. — 272 с.
10. Соколов, А. Волоконно-оптические датчики и системы: принципы построения, возможности и перспективы / А. Соколов, В. Яцеев // Световая волна. Русское издание. — 2006. — № 4. — С. 44-46.
11. Калитиевский, Н.И. Волновая оптика / Н.И. Калитиевский. — Санкт-Петербург : Лань, 2006. — 480 с.
12. Волкова, Е.А. Поляризационные измерения / Е.А. Волкова. — Москва : Наука, 1974. — 224 с.

#### REFERENCES

- [1] Chechernikov V.I. Magnitnyye izmereniya [Magnetic Measurements]. Moskva: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta [Moscow: Moscow University Press]. 1969. P. 320-327 (in Russia).
- [2] Abramenkova I., Korneev I., Troitskiy Yu. Opticheskiye datchiki toka i napryazheniya [Optical sensors for current and voltage]. Komponenty i tekhnologii [Components and Technologies]. N 8. P. 60-63 (in Russia).
- [3] Gavrichev V.D., Dmitriev A.L. Volokonno-opticheskiye datchiki magnitnogo polya [Fiber-optic magnetic field sensors]. Tutorial. Sankt-Peterburg: SPbNIU ITMO [St. Petersburg: SPbNIU ITMO]. 2013. 83 p. (in Russia).
- [4] Nekrashevich E., Starostin N. Volokonno-opticheskiye datchiki toka [Fiber Optic Current Sensors]. Elektronnyye komponenty [Electronic Components]. 2006. № 11. P. 23-77 (in Russia).
- [5] Gulyaev Yu.V., Nikitov S.A., Potapov V.T., Chamorovsky Yu.K. Volokonno-opticheskiye tekhnologii, ustroystva, datchiki i sistemy [Fiber-Optic Technologies, Devices, Sensors and Systems]. Foton-ekspress: Spetsvypusk [Photon Express: Special]. 2005. № 6. P. 114-127 (in Russia).
- [6] Rembez S.I., Kargin N.I. Fizika tverdogo tela. Opticheskiye, dielektricheskiye i magnitnyye svoystva tverdykh tel. Ch. III [Solid State Physics. Optical, Dielectric and Magnetic Properties of Solids. P. III]. Stavropol: SevKavGTU [Stavropol: Publishing House SevKavGTU]. 2003 (in Russia).

- [7] Udd E. Volokonno-opticheskie datchiki [Fiber Optic Sensors]. Moskva: Tekhnosfera [Moscow: Technosphere]. 2008. 520 p. (in Russia).
- [8] Okoshi T. Volokonno-opticheskie datchiki [Fiber Optic Sensors]. Leningrad: Energoatomizdat. 1990. 256 p. (in Russia).
- [9] Kulchin Yu.N. Raspredelennye volokonno-opticheskie datchiki i izmeritel'nye seti [Distributed Fiber Sensors and Measuring Networks]. Moskva: Fizmatlit [Moscow: Fizmatlit]. 2001. 272 p. (in Russia).
- [10] Sokolov A., Yatseev V. Volokonno-opticheskie datchiki i sistemy: principy postroeniya, vozmozhnosti i perspektivy [Fiber-Optic Sensors and Systems: Principles of Construction, Possible Costs and Prospects]. Svetovaya volna. Russkoye izdaniye [Lightwave. Russian Edition]. 2006. № 4. P. 44-46 (in Russia).
- [11] Kalitievsky N. I. Volnovaya optika [Wave Optics]. Saint Petersburg. Lan' Publisher, 2006. 480 p.
- [12] Volkova E.A. Polyarizacionnye izmereniya [Polarization Measurements]. Moskva: Nauka [Moscow: Nauka]. 1974. 224 p. (in Russia).

## Analysis of the Possibility of Ice Melting Intensity Monitoring by Direct Current in High-Voltage Electrical Systems

**E.S. Moloshnaya<sup>1</sup>, V.V. Nechitailov<sup>2</sup>, I.V. Melnikov<sup>3</sup>, S.A. Baran<sup>4</sup>**

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

<sup>1</sup>ORCID iD: 0000-0001-8766-2290

WoS Researcher ID: AAH-5369-2020

e-mail: elena\_moloshnay@mail.ru

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

<sup>3</sup>ORCID iD: 0000-0002-8613-9083

WoS Researcher ID: AHH-5335-2020

e-mail: comosabe@mail.ru

<sup>4</sup>ORCID iD: 0000-0002-3232-4072

WoS Researcher ID: I-7933-2018

e-mail: bastr@rambler.ru

**Abstract** – The Rostov nuclear power plant is the largest energy center in the South of Russia. Electricity from the nuclear power plant is transmitted to nodal substations across the territory of the Southern region, the climatic conditions of which contribute to the formation of ice deposits on power lines, this determines the urgency of the problem of ice melting. Existing systems for early detection of ice and melting it on wires of 110-500 kV overhead lines allow preventing wire breakage and destruction of supports. In modern methods ice melting is performed with alternating and direct current using special transformers and rectifiers with a melting voltage of 10 kV and a melting current of up to 3600 A, currents and voltages to prevent overheating of contacts in melting circuits and compliance with melting parameters. In circuits using direct current, there is no reliable method for controlling its magnitude. The paper considers the possibility of using a fiber-optic current sensor with a measurement range from 1 to 3600 A.

**Ключевые слова:** ice melting, melting current and voltage control, fiber-optic sensor, step-down transformer, three-phase bridge rectifier, control, regulation, protection and automation system, magnetic field induction, Faraday effect, optoelectronic transceiver, polarizer.

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

УДК 330.101.8

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ  
КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ В 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 формирования культуры безопасности в Российской Федерации. Предлагается общий анализ действующей нормативно-правовой базы, определяющей концептуальные основы формирования и развития культуры безопасности жизнедеятельности, культуры экономической безопасности и экологической культуры в Российской Федерации.

*Ключевые слова:* национальная и экономическая безопасность, культурная политика, культура безопасности, безопасность жизнедеятельности, культура экономической безопасности, экологическая культура, охрана труда.

Поступила в редакцию 21.01.2021

После доработки 28.04.2021

Принята к печати 12.05.2021

Государственная и общественная безопасность, как состояние защищённости от реальной и потенциальной опасности, от внешних и внутренних угроз, в «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» характеризуется как единое целое. В частности, устанавливаются общие стратегические цели государственной и общественной безопасности: «защита конституционного строя, суверенитета, государственной и территориальной целостности Российской Федерации, основных прав и свобод человека и гражданина, сохранение гражданского мира, политической и социальной стабильности в обществе, защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». Широкий спектр потенциальных угроз обосновывает формирование главных направлений обеспечения государственной и общественной безопасности: «усиление роли государства в качестве гаранта безопасности личности и прав собственности, совершенствования правового регулирования предупреждения преступности (в том числе в информационной сфере), коррупции, терроризма и экстремизма, распространения наркотиков и борьбы с такими явлениями, развитие взаимодействия органов обеспечения государственной безопасности и правопорядка с гражданским обществом, повышение доверия граждан к правоохранительной и судебной системам Российской Федерации, эффективности защиты прав и законных интересов российских граждан за рубежом, расширение международного сотрудничества в области государственной и общественной безопасности» [1].

Согласно «Концепции общественной безопасности в Российской Федерации», утверждённой Президентом РФ (14.11.2013, № Пр-2685), под общественной безопасностью понимается «состояние защищённости человека и гражданина,

материальных и духовных ценностей общества от преступных и иных противоправных посягательств, социальных и межнациональных конфликтов, а также чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [2].

Целью исследования является выявление основных направлений формирования культуры безопасности в Российской Федерации, актуализация развития культуры безопасности жизнедеятельности, культуры экономической безопасности, экологической культуры населения России. Основным методом исследования является комплексный анализ действующей нормативно-правовой базы, регулирующей сферу безопасности жизнедеятельности и определяющей основы культуры общественной безопасности в Российской Федерации.

Реализацию основных направлений обеспечения государственной и общественной безопасности дополнительно к указанным регламентируют следующие нормативно-правовые документы: Федеральный закон РФ от 21.12. 1994 г. № 68 (ред. от 08.12.2020 № 429-ФЗ) «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»; Федеральный закон РФ от 21.12. 1994 г. № 69 (ред. 22.12. 2020 № 454-ФЗ) «О пожарной безопасности»; Федеральный закон РФ от 09.01.1996 № 3 (ред. от 08.12. 2020 № 429-ФЗ) «О радиационной безопасности населения»; Федеральный закон от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ (ред. 13.07.2020 № 194-ФЗ) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»; Федеральный закон от 10.01.2002 (ред. от 30.12.2020) № 7 «Об охране окружающей среды» (ред. от 30.12.2020); «Основы государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года», утверждённые Указом Президента РФ от 11 января 2018 г. № 12, «Военная доктрина Российской Федерации» (утв. Президентом РФ 25.12.2014 № Пр-2976), «Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» (утв. Президентом РФ 01.03.2012 № Пр-539), «Доктрина информационной безопасности Российской Федерации», утверждённая Указом Президента РФ от 5 декабря 2016 г. № 646, «Основы государственной политики Российской Федерации в области гражданской обороны на период до 2030 года», утверждённые Указом Президента РФ от 20 декабря 2016 г. № 696, «Стратегия в области развития гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах на период до 2030 года», утверждённая Указом Президента РФ от 16 октября 2019 г. № 501, «Основы государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года», утверждённые Указом Президента РФ от 1 января 2018 г. № 2, Указ Президента РФ «О мерах по совершенствованию государственного управления в области противодействия терроризму» от 26 декабря 2015 г. № 664 и др.

Официальные сведения по реализации государственной политики в области общественной безопасности, защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций систематически фиксируются в ежегодных государственных докладах Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России). В государственных докладах приводятся основные показатели состояния защищённости населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах; сведения о мероприятиях по предупреждению чрезвычайных ситуаций и снижению ущерба от них; сведения о деятельности единой государственной системы предупреждения и ликвидации

чрезвычайных ситуаций; прогнозы на следующий год; выводы и предложения по совершенствованию защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.

Согласно статистическим данным, содержащимся в Государственном докладе «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2019 г.», на территории Российской Федерации произошло 266 ЧС, в том числе 116 – локальных, 109 – муниципальных, 7 – межмуниципальных, 30 – региональных и 4 – федеральных. В результате ЧС погибло 532 чел., пострадало 120 911 чел., спасено 9607 чел. Основными видами ЧС в 2019 г. были техногенные, биолого-социальные и природные. На долю техногенных ЧС в 2019 г. пришлось 75,94 % от общего числа ЧС; на долю биолого-социальных – 5,64 %; на долю природных – 18,42 %; крупных террористических актов не зарегистрировано.

В техногенных ЧС погибло 498 чел. (93,61 % от общего количества погибших); в природных ЧС погибло 34 чел. (6,39 % от общего количества погибших); в биолого-социальных ЧС погибших нет. В техногенных ЧС пострадало 2532 чел. (2,09 % от общего количества пострадавших); в природных ЧС – 118 374 чел. (97,90 % от общего количества пострадавших); в биолого-социальных ЧС – 5 чел. (0,01 % от общего количества пострадавших). В техногенных ЧС спасено 1979 чел. (20,6 % от общего количества спасенных); в природных ЧС спасено 7623 чел. (79,35 % от общего количества спасенных), в биолого-социальных ЧС спасено 5 чел. (0,05 % от общего количества спасенных).

Относительно основных тенденции в динамике возникновения чрезвычайных ситуаций следует заметить, что в Российской Федерации в 2019 г. произошло столько же ЧС, сколько и в 2018 г., – 266. Количество погибших в 2019 г. составило 532 чел., что на 25,8 % меньше, чем в 2018 г. (717 чел.). Однако в 2019 г. значительно увеличилось число пострадавших от ЧС – 120 911 чел., против 57 477 чел. в 2018 г., рост составил 110,36 %. В 2019 г. спасено 9607 чел., что на 34,68 % меньше, чем в 2018 г. (14 707 чел.). Материальный ущерб, причиненный ЧС различных видов, в 2019 г. составил 20 507,88 млн руб., что на 82,65 % больше, чем в 2018 г. (11 228,028 млн руб.). В 2019 г. на долю техногенных ЧС пришлось 4751,476 млн руб. (23,17 % от общего материального ущерба); на долю природных ЧС – 15 019,962 млн руб. (73,24 % от общего материального ущерба); на долю биолого-социальных ЧС – 736,45 млн руб. (3,59 % от общего материального ущерба). В докладе подчёркивается, что целом по Российской Федерации наблюдается значительное снижение количества погибших в ЧС на фоне роста количества пострадавших и материального ущерба в 2019 г. по сравнению с 2018 г. [3].

Количество жертв и пострадавших от чрезвычайных ситуаций исчисляется десятками тысяч. Масштабы материального ущерба заставляют задуматься о необходимости их минимизации посредством прогнозов и эффективной профилактической деятельности по предупреждению ЧС. Однако самыми тяжёлыми и невосполнимыми потерями в чрезвычайных ситуациях являются жизнь и здоровье людей. Статистические данные о погибших, пострадавших и спасённых в ЧС техногенного, природного, биолого-социального характера и террористических актах в 2016-2019 гг. представлены в таблице, составленной на основе данных Государственных докладов «О состоянии защиты населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» в 2016 г., 2017 г., 2018 г., 2019 г. Государственный доклад «О состоянии защиты населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 г.» находится в стадии подготовки.

Таблица 1\* – Статистические данные о погибших, пострадавших и спасённых в ЧС техногенного, природного, биолого-социального характера и террористических актах в 2016-2019 гг. [Statistical data on the dead, injured and rescued in emergencies of a technogenic, natural, biological and social nature and terrorist attacks in 2016-2019.]

| ЧС, год                          |                        | 2016 г.           | 2017 г.           | 2018 г.            | 2019 г.             |
|----------------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| ЧС техногенного характера        | Погибших (чел., %)     | 710<br>(90,1%)    | 507<br>(91 %)     | 709<br>(98,88 %)   | 498<br>(93,61 %)    |
|                                  | Пострадавших (чел., %) | 3991<br>(3,05 %)  | 2335<br>(6,41 %)  | 3838<br>(6,71 %)   | 2532<br>(2,09 %)    |
|                                  | Спасённых (чел., %)    | 846<br>(2,19 %)   | 1764<br>(33 %)    | 1092<br>(7,43 %)   | 1979<br>(20,6 %)    |
| ЧС природного характера          | Погибших (чел., %)     | 3<br>(0,38 %)     | 33<br>(6 %)       | 8<br>(1,12 %)      | 34<br>(6,39 %)      |
|                                  | Пострадавших (чел., %) | 126465 (96,57 %)  | 33964<br>(93,3 %) | 53637<br>(93,28 %) | 118374<br>(97,90 %) |
|                                  | Спасённых (чел., %)    | 37308<br>(96,7 %) | 3491<br>(65,4 %)  | 13615<br>(92,57 %) | 7623<br>(79,35 %)   |
| ЧС биолого-социального характера | Погибших (чел., %)     | 75<br>(9,52%)     | -                 | -                  | -                   |
|                                  | Пострадавших (чел., %) | 503<br>(0,38 %)   | -                 | 5<br>(0,01 %)      | 5<br>(0,01 %)       |
|                                  | Спасённых (чел., %)    | 428<br>(1,11 %)   | -                 | -                  | 5<br>(0,05 %)       |
| Террористические акты            | Погибших (чел., %)     | -                 | 16<br>(3 %)       | -                  | -                   |
|                                  | Пострадавших (чел., %) | -                 | 103<br>(0,29 %)   | -                  | -                   |
|                                  | Спасённых (чел., %)    | -                 | 87<br>(1,6 %)     | -                  | -                   |
| Общее количество (чел., %)       | Погибших (чел., %)     | 788<br>(100 %)    | 556<br>(100 %)    | 717<br>(100 %)     | 532<br>(100 %)      |
|                                  | Пострадавших (чел., %) | 130959<br>(100 %) | 36402<br>(100 %)  | 57477<br>(100 %)   | 120911<br>(100 %)   |
|                                  | Спасённых (чел., %)    | 38582<br>(100 %)  | 5342<br>(100 %)   | 14707<br>(100 %)   | 9607<br>(100 %)     |

\*Составлено автором на основе данных Государственных докладов «О состоянии защиты населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» в 2016 г., 2017 г., 2018 г., 2019 г. (<https://www.mchs.gov.ru/dokumenty>).

Стратегические приоритеты национальной и экономической безопасности, нацеленные на обеспечение устойчивого социально-экономического развития, сохранение политической, социальной и экономической стабильности и безопасности, повышение качества и уровня жизни населения страны, наряду с широкой совокупностью мер политического, социально-экономического, организационного, правового, информационного характера актуализируют задачи формирования и развития культуры безопасности российского общества. В «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» (п. 49) отмечается, что «формирование культуры безопасности жизнедеятельности населения» является значимой составляющей процесса обеспечения национальной безопасности, то есть достижения состояния защищённости личности, общества и государства от реальных и потенциальных внутренних и внешних рисков и угроз. Кроме того, следует отметить, что среди широкого комплекса мер, в том числе профилактического характера, в целях обеспечения общественной безопасности, закреплённых «Основами государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года», выделяется «совершенствование подготовки населения по вопросам культуры безопасности жизнедеятельности» (п. 9) [1].

Интересы национальной, экономической, общественной безопасности Российской Федерации определяют приоритеты государственной культурной политики, закрепляющей концептуальные основы формирования и развития культуры безопасности жизнедеятельности современного российского общества. Согласно Указу Президента РФ от 24 декабря 2014 г. № 808 «Об утверждении основ государственной культурной политики» данное направление признаётся «неотъемлемой частью стратегии национальной безопасности Российской Федерации». Государственная культурная политика осуществляет значимую роль государства по обеспечению «приоритетного культурного и гуманитарного развития как основы экономического процветания, государственного суверенитета и цивилизованной самобытности страны». Культура России характеризуется как достояние, не менее значимое, чем природные богатства, как мощный ресурс социально-экономического развития, способный обеспечить «более высокое качество общества».

Главная миссия культуры состоит в трансляции новым поколениям «свода моральных, этических, эстетических, интеллектуальных, гражданских ценностей, составляющих ядро национальной самобытности». Принятием «Основ государственной культурной политики» государство впервые возводит культуру в «ранг национальных приоритетов и признаёт её важнейшим фактором роста качества жизни и гармонизации общественных отношений, залогом динамичного социально-экономического развития, гарантом сохранения единого культурного пространства и территориальной целостности России». Основные цели государственной культурной политики направлены на формирование «гармонично развитой личности и укрепление единства российского общества посредством приоритетного культурного и гуманитарного развития». Очевидно, что достижение стратегических целей социально-экономического развития российского общества возможно при условии значительных «инвестиций в человека», в «качественное обновление личности», «повышение качества человеческого потенциала» [4]. В дополнение к «Основам государственной культурной политики» принята «Стратегия государственной культурной политики на период до 2030 года». В стратегии отмечается роль инновационного сценария развития российского общества, предусматривающего «значительные инвестиции в человеческий капитал и систему профессионального образования» [5].

Ценностные приоритеты, закреплённые основами культурной политики, неразрывно связаны со «Стратегией государственной национальной политики Российской Федерации на период до 2025 года», «Стратегией развития воспитания в Российской Федерации на период до 2025 года», «Концепцией государственной семейной политики в России на период до 2025 года», «Основами государственной молодёжной политики Российской Федерации на период до 2025 года», «Концепцией демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года», «Концепцией государственной миграционной политики Российской Федерации на 2019 – 2025 годы» и др. [6-11]. В данных документах подчёркиваются совокупность духовно-нравственных ценностей, которые сложились в процессе культурного развития России, среди них – справедливость, честь, совесть, воля, личное достоинство и др. Особое внимание уделяется приоритетам государственной политики в области воспитания молодого поколения, в частности созданию условий для воспитания «здоровой, счастливой, свободной, ориентированной на труд личности» [7].

Стратегические приоритеты национальной, экономической, общественной безопасности, цели государственной культурной политики определяют концептуальные положения и направления формирования и развития культуры безопасности в современном российском обществе. Соответственно целям устойчивого развития, имеющим чёткую социальную, экономическую и экологическую направленность, логично выделяются следующие *направления формирования и*



*развития культуры безопасности* в Российской Федерации: во-первых, формирование и развитие культуры безопасности в повседневной (в том числе бытовой) жизнедеятельности и, особенно, в чрезвычайных ситуациях; во-вторых, формирование и развитие культуры экономической безопасности, в том числе культуры безопасности труда; в-третьих, формирование и развитие экологической культуры общества. Впрочем, культура экономической и экологической безопасности (экологическая культура) выделяется весьма условно. Эти направления являются составной частью культуры безопасности жизнедеятельности, однако актуализируются в контексте экономических и экологических аспектов обеспечения устойчивого развития современного сообщества.

Осознание абсолютной ценности жизни, здоровья, безопасности окружающей среды и глобальной экосистемы, социально-экономического благополучия современного мирового сообщества обосновывает актуальность формирования и развития *культуры безопасности жизнедеятельности*. Культура безопасности – комплексная междисциплинарная категория, характеризующаяся определёнными видами деятельности человека и общества (учебной, трудовой, творческой, коммуникативной, досуговой и др.) и включающая в себя отдельные компоненты социальной, политической, правовой, гражданско-патриотической, экологической, национальной, этнической, демографической, познавательной, интеллектуальной, философской, религиозной, духовной, психологической, коммуникативной, нравственной, этической, творческой, эстетической, художественной, потребительской, предпринимательской, финансовой, инвестиционной, физической, гигиенической (санитарной) культуры, культуры здорового образа жизни, культуры безопасности труда и др.

Нормативные требования к культуре безопасности ориентированы на задачи профилактики, минимизации угроз и негативных последствий чрезвычайных ситуаций, то есть обстоятельств, сложившихся в результате аварий, опасных природных явлений, катастроф, стихийных бедствий и др. Общие нормы и требования культуры безопасности жизнедеятельности фиксируются в Национальных стандартах Российской Федерации по обеспечению безопасности в чрезвычайных ситуациях (ГОСТ Р 22.3.07-2014 [12], ГОСТ Р 22.3.08-2014 [13], ГОСТ Р 55059-2012) [14].

Остановимся на характеристике ключевых понятий (терминов и определений), выявляющих структуру и содержание культуры безопасности жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях. С нашей точки зрения они могут быть применимы не только к обстоятельствам повышенного риска и угроз, но и к общей теории и практике формирования и совершенствования культуры безопасности личности, общества и государства, повседневной (бытовой) индивидуальной и коллективной жизнедеятельности. Кроме того, важно подчеркнуть, что в указанных Национальных стандартах содержатся рекомендации по использованию установленных терминов и определений во всех видах документации и инструкций в области культуры безопасности жизнедеятельности и защиты людей от чрезвычайных ситуаций, а также содержатся общие требования к организационно-методической работе в области различных аспектов безопасности жизнедеятельности.

*Безопасность жизнедеятельности* определяется как «состояние человека, общества и государства, при котором отсутствуют опасности и угрозы нанесения неприемлемого ущерба их жизненно важным интересам». Неприемлемый ущерб может рассматриваться в экономическом, социальном и экологическом контекстах, а также как ущерб жизни и здоровью людей, окружающей среде; он может быть существенным или невосполнимым в материальном отношении, лично и социально несправедливым, ущемляющим права и интересы современного общества или будущих поколений и т.д.

*Культура безопасности жизнедеятельности* – составная часть общей культуры личности (социальной группы), «характеризующая уровень подготовки в области безопасности жизнедеятельности и осознанную потребность в соблюдении норм и правил безопасного поведения».

*Основы безопасности жизнедеятельности* трактуются как определённый «уровень знаний, умений и навыков по основным аспектам безопасности, получаемый человеком в семье и образовательных учреждениях дошкольного и общего образования» [12].

При необходимости, как отмечается в ГОСТ Р 22.3.08-2014, допускается возможность изменения, в нашем случае адаптация стандартизированных терминов и определений к интересующей нас области исследования без искажения их смыслового содержания [13]. Среди стандартизированных терминов и определений в области культуры безопасности жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях выделим и адаптируем к целям нашего исследования те, которые имеют непосредственное отношение к общей культуре безопасности.

*Воспитание* (в области безопасности жизнедеятельности человека) – формирование личности, осознающей потребность в соблюдении норм и правил безопасного поведения и действий при чрезвычайных ситуациях или по их недопущению.

*Обучение* (в области безопасности жизнедеятельности человека) – целенаправленный процесс организации деятельности человека по овладению знаниями, умениями и навыками в области безопасности жизнедеятельности.

*Повышение квалификации* (в области безопасности трудовой деятельности) – совершенствование или получение должностными лицами новых компетенций (полномочий либо обновлённых и углублённых знаний, умений, навыков), необходимых для их профессиональной деятельности в области охраны труда, или повышение профессионального уровня сотрудников в рамках имеющейся квалификации.

*Комплексная безопасность человека* – состояние защищённости от реальных и прогнозируемых рисков и угроз природного, техногенного и социального характера, обеспечивающее безопасность жизнедеятельности.

*Формирование культуры безопасности жизнедеятельности человека* – деятельность по привитию человеку необходимых знаний, умений и навыков по профилактике и защите от опасностей, а также воспитанию внутренней осознанной потребности следовать существующим нормам и правилам безопасного поведения в процессе жизнедеятельности.

Формирование и развитие культуры безопасности жизнедеятельности – процесс непрерывный на протяжении всей жизни человека с учётом возрастных, психофизиологических, социальных факторов, в том числе сферы профессиональной деятельности человека, с участием семьи, организаций, органов местного самоуправления и государственной власти.

Формирование культуры безопасности жизнедеятельности человека, общества и государства ориентировано на широкий комплекс потенциальных опасностей современного мира и соответственно предусматривает комплекс мер по обеспечению:

- безопасности в области гражданской обороны, защиты от чрезвычайных ситуаций, пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах;
- безопасности на транспорте и объектах транспортной инфраструктуры;
- безопасности в быту и поддержания здорового образа жизни;
- безопасности дорожного движения;
- безопасности в области экологии и природопользования;
- информационной безопасности;

- радиационной безопасности;
- безопасности в области энергетики;
- безопасности труда [12].

Основными *целями формирования культуры безопасности жизнедеятельности* являются:

- обеспечение безопасности человека, общества и государства;
- снижение влияния человеческого фактора на риски и угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций;
- оптимизация затрат при реализации мероприятий по защите людей и территорий от чрезвычайных ситуаций;
- минимизация количества пострадавших в чрезвычайных ситуациях.

Согласно ГОСТ Р 22.3.07-2014 выделяются следующие *направления формирования культуры безопасности жизнедеятельности* на общественно-государственном, коллективном (организационном) и индивидуальном уровне:

- формирование государственной политики в области обеспечения безопасности жизнедеятельности;
- контроль и надзор в области обеспечения безопасности жизнедеятельности;
- подготовка всех групп населения в области безопасности жизнедеятельности;
- духовно-нравственное и патриотическое воспитание;
- социализация человека в обществе [12].

К компетенции государства по формированию государственной политики в области обеспечения безопасности жизнедеятельности относятся такие направления работы:

- развитие и совершенствование законодательной и нормативно-правовой базы в области безопасности жизнедеятельности, в том числе совершенствование механизмов реализации государственной политики и законодательное закрепление новых подходов к обеспечению безопасности жизнедеятельности человека, общества и государства;
- создание и совершенствование структуры государственных институтов и организаций, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности;
- проведение научных исследований в области обеспечения безопасности жизнедеятельности и внедрение полученных результатов в практику;
- организация разработок и внедрение систем комплексной защиты населения;
- совершенствование нормативной и методической базы по обучению и пропаганде знаний о области безопасности жизнедеятельности.

Кроме того, к компетенции органов исполнительной власти различных уровней относится осуществление контроля и надзора в области обеспечения безопасности жизнедеятельности, регулирование единой системы подготовки населения в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций, организация работы по информированию населения и пропаганда знаний в области безопасности жизнедеятельности.

Подготовка социальных групп (школьных классов, студенческих групп, производственных коллективов) в области безопасности жизнедеятельности предполагает освоение комплекса теоретических знаний и практических навыков с учётом возрастных, интеллектуальных, индивидуальных, физиологических, психологических особенностей в процессе изучения учебных дисциплин «Окружающий мир» и «Основы безопасности жизнедеятельности» в общеобразовательных учреждениях [15-18], «Безопасность жизнедеятельности» в профессиональных образовательных учреждениях, в процессе повышения квалификации должностных лиц, руководителей организаций и органов исполнительной власти, а также профессиональная подготовка специалистов по направлению «Техносферная безопасность» и др.

Общеобразовательные программы, программы среднего профессионального образования, программы высшего образования, программы повышения профессиональной квалификации на основе принципов всеобщности, непрерывности и комплексности обеспечивают широкий круг интегрированных и междисциплинарных задач и направлений деятельности по воспитанию, обучению и развитию человека, закреплению моделей безопасного поведения и эффективной социализации личности, включая правовое, гражданско-патриотическое, духовно-нравственное, интеллектуальное, трудовое, физическое, здоровьесберегающее, социокультурное, творческое, эстетическое, семейно-ценностное, экологическое воспитание, развитие коммуникативной культуры и формирование культуры безопасности.

Образование и воспитание граждан по вопросам безопасности призвано содействовать непрерывной социализации и адаптации человека к культурным, нравственным и правовым нормам и требованиям безопасности жизнедеятельности, закреплению ценностных приоритетов личности по формированию бережного и ответственного отношения к собственному физическому и психическому здоровью, формированию и развитию мировоззрения личной и общественной безопасности, закреплению ценностей национального самосознания и российской гражданской идентичности, уважение к истории, традициям, культуре России, развитию культуры и этики безопасного поведения.

Значимым направлением формирования и развития культуры безопасности в Российской Федерации является *культура экономической безопасности*. В комплексе стратегических экономических приоритетов, укрепляющих национальную безопасность Российской Федерации, актуализируются цели повышения качества жизни российских граждан. Согласно «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» стратегическими целями государства в области повышения качества жизни населения России являются «развитие человеческого потенциала, удовлетворение материальных, социальных и духовных потребностей граждан, снижение уровня социального и имущественного неравенства населения прежде всего за счёт роста доходов» [1]. Ключевыми компонентами, гарантирующими повышение качества жизни, считаются обеспечение «продовольственной безопасности, доступности комфортного жилья, высококачественных товаров и услуг, современного образования и здравоохранения, спортивных сооружений, создание высокоэффективных рабочих мест, а также благоприятных условий для повышения социальной мобильности, качества труда, его достойной оплаты, поддержки социально значимой трудовой занятости, обеспечения доступности объектов социальной, инженерной и транспортной инфраструктур для инвалидов и других маломобильных групп населения, достойного пенсионного обеспечения» [1].

Для стимулирования роста российской экономики на федеральном, региональном, локальном, отраслевом, организационном уровне требуются особые меры по развитию промышленно-технологической базы, модернизации национальной экономики, повышению её инвестиционной привлекательности, улучшению делового климата, развитию предпринимательства, повышению производительности труда и пр. В связи с этим существенное внимание должно уделяться совершенствованию кадрового потенциала, развитию человеческих ресурсов.

Обязательным условием повышения качества жизни является эффективная трудовая деятельность человека. В процессе непрерывной социальной адаптации важно признание роли труда как источника личного и социального благополучия; актуализация трудового воспитания и профессионального самоопределения личности с учётом её потребностей, способностей, интересов; развитие потребительской, предпринимательской, трудовой, финансовой, инвестиционной, творческой,

коммуникативной культуры человека; формирование потребности непрерывного профессионального развития и др.

Результатом длительного процесса обучения, воспитания и социализации человека в сфере трудовых и социально-экономических отношений являются:

- уважение всех форм собственности, готовность к защите личных имущественных интересов и прав;
- осознанный выбор будущей профессии как способа самореализации и удовлетворения значимых личных и социальных потребностей;
- готовность к трудовой профессиональной деятельности как форме приобщения к решению индивидуальных, общественных и государственных задач;
- потребность трудиться, уважение к труду и трудовым достижениям людей, добросовестное, ответственное и творческое отношение к трудовой деятельности;
- готовность к экономическому самообеспечению и самообслуживанию, включая образование (самообразование) и выполнение домашних обязанностей [18].

В целях достижения устойчивого социально-экономического развития, повышения конкурентоспособности российской экономики, обеспечения национальной безопасности страны особое внимание со стороны государства уделяется задачам самореализации молодёжи в сфере трудовой деятельности, улучшения её социально-экономического положения и повышение уровня вовлечённости в социально-экономические процессы. Согласно экономическим целям государственной молодёжной политики предусматриваются гарантии высокопроизводительной занятости молодёжи, создание условий для реализации её предпринимательского потенциала, развитие трудовой и проектной активности молодых людей, целенаправленная поддержка молодёжных проектов и программ, формирование условий для возможности совмещения учебной и трудовой деятельности, поддержка сельской молодёжи и молодёжи малых городов, поддержка молодых учёных и исследователей, развитие системы адресной помощи молодёжи, оказавшейся в трудной жизненной ситуации, создание равных условий молодым людям с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам в процессе социализации, реализации творческого потенциала, трудоустройстве, предпринимательской деятельности и др. [9].

Обязательным компонентом безопасности экономической деятельности человека является культура безопасности труда. Значительную роль в области защиты трудовых прав человека, в том числе в сфере «культуры охраны труда», обеспечивает деятельность Международной организации труда. Знаменательным событием в июне 2019 г. стала Международная конференция труда в Женеве, посвящённая столетию МОТ. На конференции подводились итоги многолетней деятельности МОТ, обсуждались вопросы современного состояния и будущего сферы труда, закреплялись новые подходы к организации труда, в частности, ориентированность на человека, его интересы, счастье и благополучие, гарантии безопасного труда и др. [19-20].

Актуальной задачей развития международного сотрудничества в сфере труда признано развитие «культуры охраны труда», как важнейшее направление обеспечения достойного и безопасного труда. Ещё в 2005 г. подчёркивалась исключительная значимость формирования «национальной культуры предупредительных мер по охране труда». Под культурой охраны труда понималась «культура, в которой право на безопасную и здоровую производственную среду признается на всех уровнях; в которой правительства, работодатели и работники активно участвуют в обеспечении безопасной и здоровой производственной среды через систему определенных прав, обязанностей и обязательств; в которой принципу предотвращения производственных травм и профессиональных заболеваний придаётся первостепенное значение» [21].

Российская Федерация сотрудничает в этом направлении с Международной организацией труда.

Важно отметить, что особое внимание обеспечению безопасности труда, в том числе развитию культуры безопасности и безопасного поведения персонала организаций, требуется в условиях пандемии COVID-19. Ежегодный доклад Международной организации труда в 2020 г. был посвящён проблемам охраны труда в условиях пандемии. В докладе подчёркивается, что экономический кризис, вызванный условиями пандемии «чреват не только безработицей и неполной занятостью». Кризис влияет на условия и оплату труда, а также на доступность социальной защиты и обеспечение социальных гарантий работников, особенно пагубно воздействуя на уязвимые категории населения (работников сферы здравоохранения (большинство из которых – женщины), принявших на себя значительные угрозы собственному здоровью; людей с хроническими заболеваниями и пожилых людей, в большей степени рискующих заболеть и получить осложнения от новой инфекции; молодёжь, среди которой уровень безработицы и так высок; женщин, для которых значительно увеличилась социальная нагрузка в условиях дистанционной занятости; работников-мигрантов и работников с неофициальной занятостью, лишённых материальной поддержки в условиях пандемии и др.) [22].

Кроме культуры безопасности труда, в качестве наиболее актуальных направлений в области развития культуры экономической безопасности признаётся повышение финансовой грамотности российского общества, особенно школьной и студенческой молодёжи; лиц, склонных к рискованному типу финансового поведения в сложных жизненных обстоятельствах; граждан с низким и средним уровнем доходов; граждан пенсионного и предпенсионного возраста; людей с ограниченными возможностями здоровья. Согласно «Стратегии повышения финансовой грамотности в Российской Федерации на 2017 – 2023 годы», утверждённой Распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 сентября 2017 г. № 2039-р, целью данного направления деятельности органов государственной власти, местного самоуправления, общественных организаций является «формирование финансово грамотного поведения населения как необходимого условия повышения уровня и качества жизни граждан в том числе за счет использования финансовых продуктов и услуг надлежащего качества». Соответственно, финансовая грамотность и финансовая культура являются «результатом процесса финансового образования, который определяется как сочетание осведомленности, знаний, умений и поведенческих моделей, необходимых для принятия успешных финансовых решений и в конечном итоге для достижения финансового благосостояния». Требуется комплексная целенаправленная работа в области «финансового просвещения» населения для формирования знаний и способностей оценивать рынок финансовых продуктов; развивать практические навыки в сфере регулирования личных финансовых доходов и расходов; повышать осведомленность о финансовых рисках и инвестиционных возможностях; делать осознанный выбор в отношении финансовых услуг; знать основы обеспечения финансовой безопасности; принимать эффективные меры для улучшения личного финансового и экономического положения; развивать бережливое мышление и формировать долгосрочные сбережения; владеть навыками поиска финансовой информации; знать и уметь отстаивать свои законные права как потребителя финансовых услуг; уметь распознавать признаки финансового мошенничества; знать и выполнять обязанности налогоплательщика; вести финансовую подготовку к жизни на пенсии, обеспечивая ресурсы для активного образа жизни в зрелом возрасте и др. [23].

Характеризуя ключевые направления формирования и развития культуры безопасности, отдельно необходимо обозначить *основы формирования экологической культуры* российского общества. Общую концептуальную и нормативно-правовую

базу для реализации этого направления составляют Конституция РФ, Федеральный закон от 10.01.2002. № 7-ФЗ (ред. от 08.12.2020) «Об охране окружающей среды», Указ Президента РФ от 31 декабря 2015 г. № 683 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации», Указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176 «О стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года», «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (утв. Президентом РФ 30.04.2012.) [1, 24-26].

Согласно «Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» целями государственной политики в области экологической безопасности являются «сохранение и восстановление природной среды, обеспечение качества окружающей среды, необходимого для благоприятной жизни человека и устойчивого развития экономики, ликвидация накопленного вреда окружающей среде вследствие хозяйственной и иной деятельности в условиях возрастающей экономической активности и глобальных изменений климата». Среди многочисленного перечня приоритетных задач и направлений в этой сфере деятельности выделяется «развитие системы экологического образования и просвещения, повышение квалификации кадров в области обеспечения экологической безопасности» [25].

Среди задач государственной политики в области экологического развития также актуализируются аспекты «формирования экологической культуры, развития экологического образования и воспитания». Особое внимание уделяется формированию у населения, особенно молодёжи, экологически ответственного мировоззрения и ответственного поведения. Основы формирования экологической культуры обеспечиваются в процессе общего, среднего профессионального, высшего, дополнительного профессионального образования специалистов, а также средствами массовой информации, деятельностью музеев, библиотек, учреждений культуры, природоохранными, спортивными, туристскими организациями.

Результатом сформированной экологической культуры человека является «бережное отношение к родной земле, природным богатствам России и мира, понимание влияния социально-экономических процессов на состояние природной и социальной среды, осознание ответственности за состояние природных ресурсов, умения и навыки разумного природопользования, непримиримое отношение к действиям, приносящим вред экологии» [7, 18].

Таким образом, на основе анализа действующей нормативно-правовой базы Российской Федерации по вопросам общественной безопасности следует сделать вывод о значимой роли культурной политики государства в обеспечении национальной безопасности, необходимости признания роли культуры безопасности в качестве приоритетного направления деятельности органов государственной власти и местного самоуправления, актуализации целенаправленной деятельности по формированию культуры безопасности на индивидуальном и коллективном уровне. В качестве основных направлений формирования и развития культуры безопасности в Российской Федерации выделяются: формирование культуры безопасности жизнедеятельности населения (в процессе повседневной занятости и в условиях чрезвычайных ситуаций). С учётом социальных, экономических и экологических целей устойчивого развития Российской Федерации отдельно и дополнительно выделяются направления по формированию и развитию личной и общественной культуры экономической безопасности и экологической культуры. Подчёркивается исключительно важная профилактическая функция культуры безопасности в процессе социальной адаптации личности, формирования модели безопасного мышления и безопасного поведения человека, отвечающего требованиям личной и общественной безопасности с учётом возрастных, индивидуальных, физиологических, психологических особенностей, а

также учётом социального статуса, специфики сферы занятости и профессиональной деятельности личности и др.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации: указ Президента РФ от 31.12.2015 № 683 // Собрание законодательства РФ. – 04.01.2016, – № 1 (часть II). – Ст. 212.
2. Концепция общественной безопасности в Российской Федерации, утв. Президентом РФ 14.11.2013 № Пр-2685 / Официально документ опубликован не был. [Электронный ресурс] Официальный интернет-портал правовой информации / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) дата обращения-23.01.2021
3. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2019 г.: государственный доклад. – М.: МЧС России; ФБГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) 2020. С. 7, 20. [Электронный ресурс] // URL: <https://www.hs.gov.ru/dokumenty/4602> дата обращения 23.01.2021.
4. Об утверждении основ государственной культурной политики: указ Президента Российской Федерации от 24.12.2014. [Электронный ресурс] Официальный интернет-портал правовой информации / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) дата обращения-23.01.2021
5. Об утверждении Стратегии государственной культурной политики на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.02.2016 г. № 326-р (ред. от 30.03.2018) // Собрание законодательства РФ, – 14.03.2016. – № 11. – Ст. 1552.
6. Об утверждении Стратегии государственной национальной политики Российской Федерации на период до 2025 года: указ Президента Российской Федерации от 19.12.2012 № 1666 (ред. от 06.12.2018) // Собрание законодательства РФ, – 24.12.2012. – № 52. – Ст. 7477.
7. Об утверждении Стратегии развития воспитания в Российской Федерации на период до 2025 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.05.2015 г. № 996-р. [Электронный ресурс] Официальный интернет-портал правовой информации / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) дата обращения-23.01.2021
8. Об утверждении Концепции государственной семейной политики в России на период до 2025 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.08.2014 г. № 1618-р. [Электронный ресурс] Официальный интернет-портал правовой информации / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) дата обращения-23.01.2021
9. Об утверждении Основ государственной молодёжной политики Российской Федерации на период до 2025 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.11.2014 г. № 2403-р // Собрание законодательства РФ. – 15.12.2014. – № 50. – Ст. 7185.
10. Об утверждении концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года: указ Президента Российской Федерации от 09.10. 2007 № 1351 // Собрание законодательства РФ. – 15.10.2007. – № 42. – Ст.5009.
11. О концепции государственной миграционной политики Российской Федерации на 2019 – 2025 годы: указ Президента Российской Федерации от 31.10.2018 № 622 // Собрание законодательства РФ. – 05.11.2018 – № 45.– Ст. 6917.
12. ГОСТ Р 22.3.07-2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Культура безопасности жизнедеятельности. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2019, – 6 с.
13. ГОСТ Р 22.3.08-2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Культура безопасности жизнедеятельности. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2019, – 5 с.
14. ГОСТ Р 55059-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2018, – 7 с.
15. Об образовании в Российской Федерации: Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 08.12.2012). [Электронный ресурс] Официальный интернет-портал правовой информации / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru), 08.12.2010. дата обращения-23.01.2021
16. Примерная основная образовательная программа начального общего образования (одобрена решением федерального учебно-методического объединения по общему образованию, протокол от 08.04.2015 № 1/15. [Электронный ресурс] Официальный интернет-портал правовой информации / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) дата обращения-23.01.2021
17. Примерная основная образовательная программа основного общего образования (одобрена решением федерального учебно-методического объединения по общему образованию, протокол от 08.04.2015 № 1/15, ред. от 04.02.2020. [Электронный ресурс] Официальный



- интернет-портал правовой информации / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) дата обращения-23.01.2021
18. Примерная основная образовательная программа среднего общего образования (одобрена решением федерального учебно-методического объединения по общему образованию, протокол от 28.06.2016 № 2/16-з). [Электронный ресурс] Официальный интернет-портал правовой информации / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) дата обращения-23.01.2021
  19. Работать ради лучшего будущего. Глобальная комиссия по вопросам будущего сферы труда. Международное бюро труда. – Женева: МБТ, 2019, – 91 с.
  20. Безопасный труд – право каждого человека. Доклад МОТ к Всемирному дню охраны труда – 2009. Субрегиональное бюро охраны труда для стран Восточной Европы и Центральной Азии. 2009. – 26 с.
  21. Предотвращение производственного травматизма и профессиональной заболеваемости: глобальная стратегия. Продвижение культуры охраны труда. Доклад МОТ к Всемирному дню охраны труда – 2005. – Женева: МБТ, 2005, – 18 с.
  22. Охрана труда в условиях пандемии. Доклад МОТ к Всемирному дню охраны труда – 2020. [Электронный ресурс] / URL: [https://www.ilo.org/moscow/information-resources/publications/WCMS\\_746691/lang--ru/index.htm](https://www.ilo.org/moscow/information-resources/publications/WCMS_746691/lang--ru/index.htm) дата обращения-23.01.2021
  23. Об утверждении Стратегии повышения финансовой грамотности в Российской Федерации на 2017-2023 годы: распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.09. 2017 г. № 2039-р [Электронный ресурс] / Официальный интернет-портал правовой информации / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) дата обращения-23.01.2021
  24. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002. № 7-ФЗ (ред. от 30.12.2020) / Собрание законодательства РФ, 14.01.2020 [Электронный ресурс] / Официальный интернет-портал правовой информации / URL: / [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru)-30.12.2020. дата обращения-23.01.2021
  25. О стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: указ Президента РФ от 19.04. 2017 г. № 176 / Собрание законодательства РФ, 24.04.2017, – № 17.– Ст. 2546.
  26. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утв. Президентом РФ 30.04.2012.) // Официально документ опубликован не был. [Электронный ресурс] Официальный интернет-портал правовой информации / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) дата обращения-23.01.2021

## REFERENCES

- [1] O strategii nacionalnoy bezopasnosti Rossiyskoy Federacii: ukaz prezidenta RF ot 31.12.2015 № 683. Sobranie zakonodatelstva RF, 04.01.2016. – № 1 (chast II). – St. 212 [National Security Strategy of the Russian Federation: decree of the President of the Russian Federation No. 683 of 31.12.2015 // Collection of Legislation of the Russian Federation. - 04.01.2016, - No. 1 (Part II). - Article 212].
- [2] Konceptiya obshchestvennoy bezopasnosti v Rossiyskoy Federacii. Utv.prezidentom RF 14.11.2013. Pr-2685 (oficialno document opublikovan ne byl). [Concept of Public Safety in the Russian Federation, Approved by the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation. The President of the Russian Federation 14.11.2013 No. Pr-2685 / The document was not officially published. [Electronic resource] Official Internet portal of legal information / URL: <http://www.pravo.gov.ru> accessed 23.01.2021].
- [3] O sostoyanii zashchity naseleniya i territoriy Rossiyskoy Federacii ot chrezvychaynyh situatsiy prirodnogo i tehnogennogo haraktera v 2019 g.: gosudarstvennyy doklad. M.: mchs Rossii FBGU VNII-GOCHS (FC) 2020. S.7, 20. Elektronnyy resurs Url: [https:// www.hs.gov.ru/dokumenty/4602](https://www.hs.gov.ru/dokumenty/4602), data obrashcheniya 23.01.2021 [State of Protection of the Population and Territories of the Russian Federation from Emergency Situations of Natural and Man-Made Nature in 2019: state report. - Moscow: EMERCOM of Russia; FBGU VNII GOChS (FTS) 2020. p. 7, 20. [Electronic resource] // URL: <https://www.hs.gov.ru/dokumenty/4602> accessed 23.01.2021].
- [4] Ob utverzhdenii osnov gosudarstvennoy kulturnoy politiki: ukaz prezidenta Rossiyskoy Ffederacii ot 24.12.2014. Elektronnyy resurs.. Oficialnyy internet portal pravovoy informacii. Url: <http://www.pravo.gov.ru>. data obrashcheniya 23.01.2021 [Approval of the Fundamentals of the State Cultural Policy: decree of the President of the Russian Federation of 24.12.2014. [Electronic resource] Official Internet portal of legal information / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) accessed 23.01.2021].
- [5] Ob utverzhdenii strategii gosudarstvennoy kulturnoy politiki na period do 2030 goda: rasporyazhenie pravitelstva Rossiyskoy Federacii ot 29.02.2016. № 326-r (red. ot 30.03.2018). Sobranie zakonodatelstva RF. – 14.03.2016. – № 11. St.1552 [Approval of the Strategy of the

- State Cultural Policy for the Period up to 2030: order of the Government of the Russian Federation of 29.02.2016 No. 326-r (ed. of 30.03.2018) / / Collection of Legislation of the Russian Federation, – 14.03.2016, – No. 11. – St. 1552.].
- [6] Ob utverzhdenii strategii gosudarstvennoy nacionalnoy politiki Rossiyskoy Federacii na period do 2025-goda: ukaz prezidenta Rossiyskoy Federacii ot 19.12.2012. № 1666 (red. ot 06.12.2018). Sobranie zakonodatelstva RF. – 24.12.2012. – № 52, – St. 7477 [Approval of the Strategy of the State National Policy of the Russian Federation for the Period up to 2025: Decree of the President of the Russian Federation of 19.12.2012 No. 1666 (ed. of 06.12.2018) / / Collection of Legislation of the Russian Federation, - 24.12.2012. - No. 52. - St. 7477.].
- [7] Ob utverzhdenii strategii razvitiya vospitaniya v Rossiyskoy Federacii na period do 2025 goda: rasporyazhenie pravitelstva Rossiyskoy Federacii ot 29.05.2015. № 996-rio Eelektronnyy resurs. Oficialnyy internet portal pravovoy informacii. Url: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) data obrashcheniya 23.01.2021. [Approval of the Strategy for the Development of Education in the Russian Federation for the Period up to 2025: Order of the Government of the Russian Federation No. 996-r of 29.05.2015. [Electronic resource] Official Internet portal of legal information / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) accessed 23.01.2021].
- [8] Ob utverzhdenii koncepcii gosudarstvennoy semeynoy politiki v Rossii na period do 2025 goda: rasporyazhenie pravitelstva Rossiyskoy Federacii ot 25.08.2014. № 1618-r Elektronnyy resurs. Oficialnyy internet portal pravovoy informacii. Url: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) data obrashcheniya 23.01.2021. [Approval of the Concept of State Family Policy in Russia for the Period up to 2025: Order of the Government of the Russian Federation No. 1618-r of 25.08.2014 [Electronic resource] Official Internet portal of legal information / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) accessed 23.01.2021].
- [9] Ob utverzhdenii osnov gosudarstvennoy molodyozhnoy politiki Rossiyskoy Federacii na period do 2025-goda: rasporyazhenie pravitelstva Rossiyskoy Federacii ot 29.11. 2014. № 2403-r Sobranie zakonodatelstva RF. – 15.12.2014. – № 50. – St. 7185 [Approval of the Fundamentals of the State Youth Policy of the Russian Federation for the Period up to 2025: Order of the Government of the Russian Federation No. 2403-r of 29.11.2014 / / Collection of Legislation of the Russian Federation. – 15.12.2014. - No. 50. - St. 7185.].
- [10] Ob utverzhdenii koncepcii demograficheskoy politiki Rossiyskoy Federacii na period do 2025 goda: ukaz prezidenta Rossiyskoy Federacii ot 09.10.2007. № 1351. Sobranie zakonodatelstva RF.– 15.10.2007. – № 42.– St. 5009. [Approval of the Concept of Demographic Policy of the Russian Federation for the Period up to 2025: Decree of the President of the Russian Federation No. 1351 of 09.10. 2007 // Collection of Legislation of the Russian Federation. – 15.10.2007. - No. 42. - St. 5009.].
- [11] O koncepcii gosudarstvennoy migracionnoy politiki Rossiyskoy Federacii na 2019-2025-gody: ukaz prezidenta Rossiyskoy Federacii ot 31.10.2018 № 622. Sobranie zakonodatelstva RF. – 05.11.2018. – № 45. – St. 6917 [Concept of the State Migration Policy of the Russian Federation for 2019-2025: Decree of the President of the Russian Federation No. 622 of 31.10.2018 / / Collection of Legislation of the Russian Federation. - 05.11.2018-No. 45. - St. 6917].
- [12] GOST R 22.3.07-2014. Nacionalnyy standart Rossiyskoy Federacii. Bezopasnost v chrezvychaynykh situatsiyah. Kultura bezopasnosti zhiznedeyatelnosti. Obshchie polozheniya. Moskva: Standartinform. 2019. 6-s. [GOST R 22.3.07-2014. National Standard of the Russian Federation. Safety in Emergency Situations. Culture of Life Safety. General Provisions. Moscow: Standartinform, 2019. – 6 p.].
- [13] GOST R 22.3.08-2014. Nacionalnyy standart Rossiyskoy Federacii. Bezopasnost v chrezvychaynykh situatsiyah. Kultura bezopasnosti zhiznedeyatelnosti. Terminy i opredeleniya. Moskva: Standartinform. 2019. 5-s [GOST R 22.3.08-2014. National Standard of the Russian Federation. Safety in Emergency Situations. Culture of Life Safety. Terms and definitions. Moscow: Standartinform, 2019. – 5 p.].
- [14] GOST R 55059-2012. Nacionalnyy standart Rossiyskoy Federacii. Bezopasnost v chrezvychaynykh-situatsiyah. Menedzhment riska chrezvychaynoy situatsii. Terminy i opredeleniya. Moskva: Standartinform. 2018. 7-s. [GOST R 55059-2012. National Standard of the Russian Federation. Safety in Emergency Situations. Emergency Risk Management. Terms and definitions. Moscow: Standartinform, 2018. – 7 p].
- [15] Ob obrazovanii v Rossiyskoy Federacii: Federalnyy zakon ot 29.12.2012. № 273- FZ (red. ot 08.12.2012). Eelektronnyy resurs oficialnyy internet portal pravovoy informacii. Url: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru). 08.12.2010 data obrashcheniya 23.01.2021. [Education in the Russian Federation: Federal Law No. 273-FZ of 29.12.2012 (as amended on 08.12.2012) [Electronic resource] Official Internet portal of legal information / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru), 08.12.2010. accessed 23.01.2021].

- [16] Primernaya osnovnaya obrazovatel'naya programma nachalnogo obshchego obrazovaniya (odobrena resheniem federalnogo uchebno-metodicheskogo obединeniya po obshchemu obrazovaniyu, protocol ot 08.04.2015. № 115. Elektronnyy resurs. Oficialnyy internet portal pravovoy informacii. Url: -[http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) data obrashcheniya 23.01.2021. [Approximate Basic Educational Program of Primary General Education (approved by the decision of the federal educational and methodological association for general education, Protocol No. 1/15 of 08.04.2015. [Electronic resource] Official Internet portal of legal information / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) accessed 23.01.2021].
- [17] Primernaya osnovnaya obrazovatel'naya programma osnovnogo obshchego obrazovaniya (odobrena resheniem federalnogo uchebno-metodicheskogo obединeniya po obshchemu obrazovaniyu, protocol ot 08.04.2015. № 115 (red. ot 04.02.2020. Elektronnyy resurs. Oficialnyy internet portal pravovoy informacii. Url: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) -dataobrashcheniya 23.01.2021. [Approximate Basic Educational Program of Basic General Education (approved by the decision of the Federal Educational and Methodological Association for General Education, Protocol No. 1/15 of 08.04.2015, ed. from 04.02.2020. [Electronic resource] Official Internet portal of legal information / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) accessed 23.01.2021].
- [18] Primernaya osnovnaya obrazovatel'naya programma srednego obshchego obrazovaniya (odobrena resheniem federalnogo uchebno-metodicheskogo obединeniya po obshchemu obrazovaniyu, protocol ot 28.06.2016. № 216-z. Elektronnyy resurs. Oficialnyy internet portal pravovoy informacii. Url: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) data obrashcheniya 23.01.2021. [Approximate Basic Educational Program of Secondary General Education (approved by the decision of the federal Educational and Methodological Association for General Education, Protocol No. 2/16-z of 28.06.2016). [Electronic resource] Official Internet portal of legal information / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) accessed 23.01.2021].
- [19] Rabotat radi luchshego budushchego. Globalnaya komissiya po voprosam budushchego sfery truda. Mezhdunarodnoe byuro truda. Zheneva: MBT. 2019. 91 s. [Work for Better Future. Global Commission on the Future of Work. International Labour Office. - Geneva: ILO, 2019, - 91 p.].
- [20] Bezopasnyy trud – pravo kazhdogo cheloveka. Doklad MOT k vseмирному dnyu ohrany truda. 2009. Subregionalnoe byuro ohrany truda dlya stran Vostochnoy Evropy i Centralnoy Azii. 2009. 26 s. [Safe Work is the Right of Every Person. The ILO report on World Labor Protection Day 2009. Sub-regional Office for Occupational Safety and Health for Eastern Europe and Central Asia. 2009. - 26 p.].
- [21] Predotvrashchenie proizvodstvennogo travmatizma i professionalnoy zaboлеваemost: globalnaya strategiya. Prodvizhenie kultury ohrany truda. Doklad MOT k vseмирному dnyu ohrany truda. 2005. Zheneva:MBT. 2005. 18 s. [Prevention of Occupational Injuries and Occupational Diseases: a Global Strategy. Promotion of Culture of Occupational Safety and Health. ILO report on the World Day for Occupational Safety and Health – 2005. - Geneva: ILO, 2005, - 18 p.].
- [22] Ohrana truda v usloviyah pandemii. Doklad MOT k vseмирному dnyu ohrany truda-2020. Elektronnyy resurs. Url : [https://www.ilo.org/moscow/information-resources/publications/WCMS\\_746691/lang-ru/index.htm](https://www.ilo.org/moscow/information-resources/publications/WCMS_746691/lang-ru/index.htm) data obrashcheniya 23.01.2021. [22. Occupational Health and Safety in the Context of a Pandemic. The ILO report on the World Day for Occupational Safety and Health 2020. [Electronic resource] / URL: [https://www.ilo.org/moscow/information-resources/publications/WCMS\\_746691/lang-ru/index.htm](https://www.ilo.org/moscow/information-resources/publications/WCMS_746691/lang-ru/index.htm) accessed 23.01.2021].
- [23] Ob utverzhdenii strategii povysheniya finansovoy gramotnosti v Rossiyskoy Federacii na 2017-2023 gody: rasporyazhenie pravitelstva Rossiyskoy Federacii ot 25.09.2017. № 2039-r. Elektronnyy resurs. Oficialnyy internet portal pravovoy informacii. Url:<http://www.pravo.gov.ru> data obrashcheniya 23.01.2021. [Approval of the Strategy for Improving Financial Literacy in the Russian Federation for 2017-2023: Order of the Government of the Russian Federation No. 2039-r of 25.09. 2017 [Electronic resource] / Official Internet portal of legal information / URL: [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) accessed 23.01.2021].
- [24] Ob ohrane okruzhayushchey sredy: Federalnyy zakon ot 10.01.2002. № 7-FZ (red. ot 30.12.2020.). Sобрание zakonodatelstva RF. 14.01.2020. Eelektronnyy resurs. Oficialnyy internet portal pravovoy informacii. Url:<http://www.pravo.gov.ru>, 30.12.2020. data obrashcheniya 23.01.2021. [Environmental Protection: Federal Law No. 7-FZ of 10.01.2002 (as amended on 30.12.2020) / Collection of Legislation of the Russian Federation, 14.01.2020 [Electronic resource] / Official Internet portal of legal information / URL: / [http:// www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) - 30.12.2020. date of access-23.01.2021].
- [25] O strategii ekologicheskoy bezopasnosti Rossiyskoy Federacii na period do 2025-goda: ukaz prezidenta RF ot 19.04.2017. № 176, Sобрание zakonodatelstva RF, 24.04.2017. № 17, st. 2546 [Strategy of Environmental Safety of the Russian Federation for the Period up to 2025: Decree of the President of the Russian Federation No. 176 of 19.04.2017 / Assembly of Legislation of the Russian Federation, 24.04.2017, - No. 17. - Article 2546].

- [26] Osnovy gosudarstvennoy politiki v oblasti ekologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federacii na period do 2030 goda (utv. Prezidentom RF 30.04.2012.). (Officialno document opublikovan ne byl). [Fundamentals of State Policy in the Field of Environmental Development of the Russian Federation for the Period up to 2030 (approved by the President of the Russian Federation on 30.04.2012.) / The document was not officially published].

## **The Main Directions of Formation and Development of Safety Culture in 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 Researcher ID: T-1644-2018*

*e-mail: IrinaLyskova@mail.ru*

**Abstract** – The article actualizes the political, legal, socio-economic and socio-cultural aspects of safety culture in the Russian Federation. The article offers a general analysis of the current regulatory framework that defines the conceptual foundations for the formation and development of a culture of life safety, a culture of economic security and environmental culture in the Russian Federation.

**Keywords:** national and economic security, cultural policy, safety culture, life safety, economic safety culture, environmental culture, labor protection.

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

УДК 621.039:378.4:331.5

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОГО УРОВНЯ КУЛЬТУРЫ  
БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПОРТЕ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

© 2021 В.А. Руденко, Т.С. Попова, Ю.А. Евдошкина

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

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

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

Поступила в редакцию 17.04.2021

После доработки 21.04.2021

Принята к печати 29.04.2021

Стратегия национальной безопасности Российской Федерации является базовым документом стратегического планирования, определяющим национальные интересы и стратегические национальные приоритеты Российской Федерации, цели, задачи и меры в области внутренней и внешней политики, направленные на укрепление национальной безопасности Российской Федерации и обеспечение устойчивого развития страны на долгосрочную перспективу. В Стратегии подчеркивается, что состояние национальной безопасности зависит от эффективности функционирования системы обеспечения национальной безопасности. Эффективное функционирование системы обеспечения национальной безопасности возможно лишь в результате создания соответствующей культуры национальной безопасности, интегрированной в общую национальную культуру страны.

Согласно статье 15 Федерального закона Российской Федерации от 1 декабря 2007 г. N 317-ФЗ «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», госкорпорация имеет право «участвовать в государственных и коммерческих проектах и программах, предусматривающих разработку и экспорт высокотехнологичной промышленной продукции». Госкорпорация «Росатом» осуществляет масштабную программу сооружения АЭС, как в Российской Федерации, так и за рубежом. В настоящее время Росатом сооружает в России два новых энергоблока. Портфель зарубежных заказов включает 35 блоков на разных стадиях реализации. У «Росатома» заключены сделки на строительство реакторов в Белоруссии, Бангладеш, Венгрии и

Иране – по два в каждой стране, в Египте, Индии и Турции – по четыре, а также одного в Финляндии. Отдельного упоминания заслуживает Китай, где «Росатом» будет участвовать в строительстве четырех реакторов.

Безусловно, одной из центральных задач при реализации обозначенных проектов сооружений энергоблоков, при экспорте ядерных энергетических технологий остается обеспечение качества и безопасности функционирования АЭС. Решение данной задачи, как показывает мировая практика, не возможно без формирования и поддержания надлежащего уровня культуры безопасности (которая включает в себя и культуру качества) на всех этапах жизненного цикла станции, включая строительство. Когда основной упор делается на технических аспектах, на графике выполнения проекта строительства и его бюджете, недостаточное внимание может быть уделено человеческим и организационным аспектам. В ряде случаев неадекватное применение принципов и методов культуры безопасности в новых проектах по строительству АЭС было одной из способствующих причин проблем в области безопасности [1].

Принципы, на которых строится анализ причин событий, возникающих на АЭС, являются важным инструментом для формирования и поддержания надлежащей культуры безопасности на станции. Это в первую очередь касается событий, вызванных неверными действиями человека. Если анализ фокусируется не на причинах события, а на ошибке, которая его вызвала, не на барьерах, которые должны были предупредить ошибку и минимизировать последствия, а на индивидуальной виновности допустившего ошибку, в этом случае поиск эффективных корректирующих мер будет крайне затруднен, а вероятность повторения подобных событий в будущем очень высока.

То, как в организации понимают природу ошибки человека, причины, которые ее могут вызвать, а также меры, которые могут предупредить ошибку или минимизировать ее последствия, определяет содержание культуры безопасности этой организации.

Сегодня Россия вышла на лидирующие позиции по количеству сооружаемых за рубежом атомных энергоблоков. Применение современных технологий и новейших разработок, комплексные решения при реализации проектов сооружений АЭС обуславливают конкурентоспособность российских предложений. Проводимая ГК «Росатом» активная экспансия на международные рынки требует соответствующей кадровой поддержки. Это становится одним из основных вопросов планирования экспортоориентированной стратегии ГК «Росатом».

На объектах так называемой «критической инфраструктуры», которыми и являются предприятия атомного энергопромышленного комплекса, охрана труда и промышленная безопасность имеют высший приоритет при принятии стратегических решений. Благополучие всех сотрудников, подрядчиков, населения, проживающего в месте сосредоточения таких предприятий, зависит от общей траектории безопасного поведения, а также от личной ответственности каждого за соблюдение норм и правил [2]. Именно соблюдение культуры безопасности и следование ее принципам позволяет продолжать безопасно работать и жить.

Общие усилия всех производственных предприятий и их коллективов по обеспечению безопасности и развитию культуры безопасного поведения – это своеобразный «шаблон, стандарт, эталон» работы в промышленном секторе экономики. В настоящее время в организациях, деятельность которых критична с точки зрения опасности, сформирована своего рода единая «философия безопасности», которая включает в себя концепцию «культуры безопасности», как её главную составляющую, раскрывающую роль человеческого фактора в обеспечении безопасности потенциально опасных видов человеческой деятельности.

Культура безопасности стала приобретать ключевую ценность для человечества тогда, когда начались процессы индустриализации и глобализации – активное освоение ресурсов планеты, усиление глобальной взаимозависимости, повышение общего благосостояния населения.

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

Культура безопасности на предприятиях ядерной энергетики – это система норм и образцов поведения, а также организационные ценности, смоделированные руководителями организации и перенимаемые ее членами, которые служат установлению наивысшего приоритета ядерной безопасности. В качестве ключевых принципов сильной/здоровой культуры безопасности можно выделить следующие [3]:

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

Часто между развитием «слабостей» в культуре безопасности и возникновением события, имеющего значительные последствия для безопасности, проходит некоторое время. Хорошее состояние в прошлом иногда становится первой ступенью процесса ухудшения в настоящем. Причинами этого могут выступать следующие моменты [3]:

1. Отсутствие систематического подхода к управлению культурой безопасности на предприятии. О наличии этого недостатка свидетельствуют нечеткое распределение ответственности, плохой прогресс принятия решений, нехватка надежной информации и в целом ограниченное понимание процесса. Проявляется этот недостаток в слабости процессов оценки риска.

2. Отсутствие надлежащего контроля за выполнением предписанных процедур. Разнообразные аспекты культуры безопасности не пересматриваются в течение

длительного времени, не актуализируются на регулярной основе и, как следствие, теряют свою практическую значимость.

3. Отсутствие углубленного анализа произошедших негативных инцидентов и «неизучение уроков» прошлого. Очередное повторение проблемы может указывать на то, что коренная причина проблемы не была правильно установлена, а если и была – то ее просто не учли в дальнейшем, не учли ошибки и недочеты прошлого опыта.

4. Увеличение числа нарушений. Это является косвенным признаком безразличия в среде руководства к вопросам, затрагивающим культуру безопасности на предприятии или скрытых (пока еще) организационных проблем. При этом не следует путать злостные нарушения с непреднамеренными ошибками (промахами или упущениями). В данном случае так же нужен грамотный руководитель с его грамотным подходом к разграничению понятий (специально или непреднамеренно).

5. Увеличивающийся объем незавершенных корректирующих мероприятий. Значительный рост числа корректирующих мероприятий, нереализованных в предусмотренные сроки, может неблагоприятно отразиться на принятых в организации нормах культуры безопасности, и, нарастая как снежный ком, привносить в деятельность новые отклонения.

6. Недостаточная готовность к эксплуатации или техобслуживанию. Инциденты часто происходят именно при запуске деятельности энергетического предприятия или же после планово-предупредительного ремонта, а также в ситуациях, когда станция не была должным образом подготовлена к плановым работам.

7. Отсутствие быстрого реагирования на беспокоящие работников вопросы безопасности. Отсутствие контакта между работниками и руководителями зачастую приводит к снижению мотивации к безопасной работе.

8. Непропорциональное внимание к техническим вопросам и недостаточное внимание к стороне деятельности, связанной с человеческим фактором. Проблемы воспринимаются как чисто технические задачи, что негативно сказывается на коллективе.

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

Подход, основанный на выявлении факторов, которые способствуют ошибкам и событиям по вине человека, а также определении стратегий для их минимизации, может служить не только инструментом анализа событий, вызванных действиями человека, но также инструментом предупреждения таких событий в ходе:

- проведения независимых инспекционных проверок на предприятии за организацией, подготовкой и исполнением работ;
- проведения руководителями всех уровней внутреннего надзора за организацией, подготовкой и исполнением работ;
- планирования и подготовки работ, которые бы учитывали факторы, способствующие ошибкам и событиям по вине человека;
- выполнения работ, с пониманием и контролем персоналом факторов, способствующих ошибкам.

Еще раз сформулируем принципы, которые обеспечивают культуру безопасности в процессе анализа событий, вызванных действиями человека [4].

1. Людям свойственно ошибаться. Даже самые лучшие, хорошо подготовленные, квалифицированные и опытные специалисты допускают ошибки, которые могут иметь значимые последствия. Ошибки не носят преднамеренный характер. Важно



разобраться в источниках ошибочных действий, а не искать «виновных», извлечь ценные уроки, а не раздавать «наказания». Ошибка человека это лишь исходная точка анализа событий.

2. Ошибки человека являются следствием воздействия ряда способствующих факторов, которые определяются, в первую очередь, процессами и культурой организации. Способствующие факторы на рабочих местах повышают вероятность совершения человеком ошибки. Человеческое поведение крайне редко поддается причинноследственному объяснению и полной детерминированности следствий (ошибок человека) причинами (содержанием задачи и условиями на рабочем месте). Способствующие факторы определяются, в первую очередь, процессами и культурой организации, что предполагает возможность их управления.

3. Для предупреждения событий, вызванных ошибками человека, необходимо рассмотреть все стратегии, направленные на уменьшение и перехват ошибочных действий, а также на повышение устойчивости систем и оборудования к событиям. Многие способствующие факторы можно устранить на стадии организации и подготовки работ, через оптимизацию содержания задачи и условий ее выполнения. Но мы не можем гарантировать полное исключение влияния способствующих факторов, поэтому должны предусмотреть меры по перехвату возможных ошибок человека, а также по повышению устойчивости технических систем и оборудования к отказам.

В 2015 г. по инициативе ГК «Росатом» на базе ВИТИ НИЯУ МИФИ и предприятий ГК «Росатом», расположенных в г. Волгодонске был создан Ресурсный центр НИЯУ МИФИ. В Ресурсном центре осуществляется практико-ориентированное обучение иностранных студентов на действующих установках и полномасштабном оборудовании, расположенном на производственных площадках предприятий ГК «Росатом» (Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция» и др.) и предприятий Волгодонского промышленного кластера атомного машиностроения [5, 6].

Основные темы практико-ориентированного обучения:

1. Ознакомление с основным производством Филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш». Изучение технологического процесса изготовления энергетического оборудования.

2. Изучение основных систем энергоблока АЭС с использованием 3-D виртуальных учебных комплексов.

3. Методы неразрушающего контроля при изготовлении и эксплуатации оборудования ТЭС и АЭС. Ультразвуковой и капиллярный контроль.

4. Системы и основное оборудование энергоблоков РоАЭС.

5. Диагностика электроприводной арматуры. Анализ технического состояния электроприводных механизмов. Диагностический комплекс мониторинга технического состояния установок аварийного питания АЭС.

6. Водно-химический режим ТЭС и АЭС.

7. Главные схемы электрических соединений АЭС.

8. Программы тренинговых занятий по Культуре безопасности в атомной энергетике с целью отработки навыков по предупреждению нарушений в работе энергоблоков.

Отличительной чертой практико-ориентированного обучения в Ресурсном центре является применение интерактивных технологий, которые способствуют инициативности студентов в получении новой профессионально значимой информации. Процесс и результат при таком обучении становится предметом личной заинтересованности студентов и помогает им приобрести необходимые профессиональные навыки и компетенции в атомной энергетике [7, 8].

Наличие компетентного, подготовленного персонала – одно из важнейших условий безопасной и надежной эксплуатации АЭС, поэтому на основных занятиях помимо традиционных методов обучения используется системный подход, рекомендованный и апробированный при подготовке на должность, поддержании и повышении квалификации персонала АЭС. Данный метод за последние годы получил широкое распространение во всем мире, доказав не только свою эффективность, но и способность к адаптации для различных национальных условий и разнообразных организационных структур, имеющих в ядерной отрасли.

В образовательном процессе широко используются интерактивные технологии:

1. Практико-ориентированные занятия в Ресурсном центре организованы таким образом, что иностранные студенты знакомятся с производством и процессами на всех предприятиях дивизионов, что дает возможность сформировать комплексное видение всей системы – от строительства АЭС и изготовления оборудования для станции – до пуска ее в эксплуатацию. Особое внимание уделяется анализу и оценке культуры безопасности на каждом объекте. Высокий уровень безопасности не может быть обеспечен только на действующей АЭС при ее эксплуатации. Занятия проводятся с использованием уникальных учебных видеоматериалов предприятий Филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонске и Ростовской атомной электростанции, Волгодонского промышленного кластера атомного машиностроения и научно-исследовательского института «Атомного энергетического машиностроения» ВИТИ НИЯУ МИФИ.

2. По основным темам практики разработаны демонстрационные занятия с использованием виртуальных тренажеров. Данные демонстрационные занятия используются для обучения студентов взаимосвязям систем энергоблока, переходным и аварийным режимам, пуску и останову блока, физическим основам технологических процессов и многому другому. Практические и тренинговые занятия предназначены для отработки профессиональных навыков эксплуатации оборудования энергоблока.

3. В проведении занятий участвуют ведущие специалисты предприятий и преподаватели ВИТИ НИЯУ МИФИ, принимающие непосредственное участие в поддержании квалификации сотрудников Ростовской атомной станции, других российских и зарубежных АЭС. Отличительной чертой таких специалистов является умение обеспечить быстрое протекание учебного процесса с разумным и экономным использованием всех сил и возможностей обучающихся. Это достигается хорошей организацией и проведением обучения с применением наиболее эффективных методов и форм обучения, техник проведения занятий.

4. Помимо обучения с использованием уникальных видеоматериалов, работа Ресурсного центра ведется в формате тренингов и онлайн-тренингов, направленных на развитие профессиональной коммуникации, на формирование принципов культуры безопасности и лояльности корпоративным ценностям, применение инструментов предотвращения ошибок персонала [9].

5. Психологическая подготовленность является компетенцией каждого будущего работника и играет важную роль в управлении успешностью профессиональной деятельности персонала атомной энергетики. С этой целью применяются проективные методики психологического тестирования, а именно «Склонность к риску» и «Действия в критической ситуации».

6. Применение системного подхода в сочетании с интерактивными технологиями обучения дает возможность более эффективно контролировать студентов в процессе обучения. Проведение занятий сопровождается различными видами контроля: входной контроль, текущие виды контроля по темам занятий и итоговый контроль при завершении практики. Эффективна практика применения коротких тестов на каждом занятии при помощи платформы-конструктора Kahoot! Это онлайн сервис для создания

интерактивных заданий, который позволяет создавать тесты, опросы, квизы. Квизы обучающиеся проходят индивидуально или создается соревнование, где за скорость и правильность ответов студенты получают баллы. Небольшое соревнование делает занятие интереснее [10].

В качестве перспективного направления в работе с иностранными студентами проректор по международной деятельности АНО ДПО «Техническая академия Росатома» В. Артисюк обозначил исследования в сфере культуры безопасности, работу на обеспечение восприятия и следования единым нормам и правилам, принятым на уровне международного сообщества, в различных национальных культурах. Несмотря на то, что сформирована нормативно-правовая и организационно-методическая основа обеспечения безопасности, есть ряд специфических особенностей, которые необходимо учитывать при обучении иностранных студентов и специалистов. Речь идет о различиях в национальных культурах, традициях, стереотипах поведения [11].

Именно вышеуказанные задачи в рамках практико-ориентированной подготовки иностранных студентов решает интерактивный модуль «Культура безопасности при эксплуатации АЭС». В отличие от культуры безопасности, национальная культура не может быть сильной или слабой [12]. Описанные выше методы обучения обеспечивают эффективное внедрение принципов культуры безопасности, которыми следует руководствоваться при принятии решений, формируют поведение, ориентированное на безопасность, помогают минимизировать проявления национальной культуры, которые могут негативно сказаться на устойчивости систем и оборудования к событиям, вызванным ошибками человека.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Машин, В.А.* Вопросы культуры безопасности при строительстве АЭС / В.А. Машин // Электрические станции. – 2016. – № 4. – С. 39-48.
2. *Степченко, Т.С.* Аспекты восприятия общественностью процессов развития атомной энергетики (на примере «РосАЭС») / Т.С. Степченко // Практический маркетинг. – 2014. – № 7(209). – С. 35-40.
3. Ключевые вопросы практики повышения культуры безопасности: INSAG-15 / Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности. – Вена : Международное агентство по атомной энергии, 2002. – 24 с.
4. *Машин, В.А.* Культура безопасности: Принципы анализа событий на АЭС / В.А. Машин // Электрические станции. – 2015. – № 9. – С. 39-48.
5. *Плотникова, У.А.* Роль отраслевых вузов в обеспечении высокого уровня культуры безопасности на зарубежных объектах ГК «Росатом» / У.А. Плотникова, В.В. Карелина, Н.П. Василенко, Ю.А. Евдошкина // Безопасность ядерной энергетики : тезисы XV Научно-практической конференции. – 2019. – С. 140-147.
6. *Руденко, В.А.* К вопросу об эффективных практиках подготовки кадров для реализации экспортоориентированной стратегии ГК «Росатом» / М.В. Головкин, Ю.А. Евдошкина, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 1(30). – С. 124-135.
7. *Руденко, В. А.* Реализация интерактивных технологий обучения в процессе преподавания дисциплин, направленных на обеспечение безопасного функционирования АЭС / В.А. Руденко, Ю.А. Евдошкина // Научная сессия НИЯУ МИФИ – 2015 : сб. тез. и ст. науч.-практ. конф., 16-20 февр. 2015 г. – Волгоград : ВИТИ НИЯУ МИФИ. – С. 161-164.
8. *Лобковская, Н.И.* Профессиональное целеполагание как составляющая культуры безопасности будущего специалиста-атомщика / Лобковская Н.И., Евдошкина Ю.А. // Современное образование. – 2017. – № 1. – С. 32-38. – DOI: 10.7256/2409-8736.2017.1.22498. – URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=22498](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=22498).
9. *Евдошкина, Ю.А.* Практико-ориентированная технология формирования культуры безопасности выпускников, ориентированных на работу в атомной отрасли / Ю.А. Евдошкина, В. А. Руденко // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 4 (25). – С. 122-129.
10. *Василенко, Н.П.* Педагогическая модель формирования культуры безопасности выпускников, ориентированных на работу в атомной отрасли [Электронный ресурс] / Н.П. Василенко, Ю.А. Евдошкина // Безопасность ядерной энергетики: тез. докл.

- ХІІІ Междунар. науч.-практ. конф., 31 мая – 2 июня 2017 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгоград: [Б. и.], 2017. ISBN 978-5-7262-2364-3
11. Кадры. Пройти не поскользнуться // Росэнергоатом. – 2017. – № 7. – С. 27.
  12. Сметник, А.А. Культура безопасности и её связь с национальной культурой и культурой организации / А.А. Сметник, Д.В. Мурлис // Электрические станции. – 2016. – № 1(1014). – С. 5-10.

## REFERENCES

- [1] Mashin V.A Voprosy kul'tury bezopasnosti pri stroitel'stve AES [Safety Culture Issues during the Construction of Nuclear Power Plants]. Elektricheskie stancii [Power plants]. 2016. No.4 (in Russian).
- [2] Stepchenko T.S. Aspekty vospriyatiya obshchestvennost'yu processov razvitiya atomnoj energetiki (na primere «RoAES») [Aspects of Public Perception of Nuclear Power Development Processes (on the example of Rostov NPP)]. Prakticheskij marketing [Practical Marketing]. 2014. No.7(209). P.35-40 (in Russian).
- [3] Klyuchevye voprosy praktiki povysheniya kul'tury bezopasnosti: INSAG-15 [Key issues in the practice of enhancing safety culture: INSAG-15] [Text] / Doklad Mezhdunarodnoj konsul'tativnoj gruppy po yadernoj bezopasnosti.[Report of the International Nuclear Safety Advisory Group]. - Vena: Mezhdunarodnoe agentstvo po atomnoj energii [Vienna: International Atomic Energy Agency]. 2002. 24 p. (in Russian).
- [4] Mashin V.A. Kul'tura bezopasnosti: Principy analiza sobytij na AES [Safety Culture: Principles of Event Analysis at NPPs]. Elektricheskie stancii [Electric Power Plants]. 2015. No.9. P.39-48 (in Russian)
- [5] Plotnikova U.A., Karelina V.V., Vasilenko N.P., Evdoshkina Yu.A. Rol' otraslevykh vuzov v obespechenii vysokogo urovnya kul'tury bezopasnosti na zarubezhnykh ob'ektakh GK «Rosatom» [Role of Industry Universities in Ensuring a High Level of Safety Culture at Foreign Facilities of the State Atomic Energy Corporation "Rosatom"]. Bezopasnost' yadernoj energetiki: tezisy XV Nauchno-prakticheskoy konferencii [ Nuclear Power Safety: Abstracts of the XV Scientific and Practical Conference]. 2019. P.140-147 (in Russian).
- [6] Rudenko V.A., Golovko M.V., Evdoshkina Yu.A., Vasilenko N.P. K voprosu ob effektivnykh praktikah podgotovki kadrov dlya realizacii eksportoorientirovannoy strategii GK «Rosatom» [Effective Practice of Personnel Training for the Implementation of the Export-Oriented Strategy of the State Corporation Rosatom]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2019. No.1(30). P. 124-135 (in Russian).
- [7] Rudenko V.A., Evdoshkina Yu.A. Realizaciya interaktivnykh tekhnologij obucheniya v processe prepodavaniya disciplin, napravlennykh na obespechenie bezopasnogo funkcionirovaniya AES [Implementation of Interactive Learning Technologies in the Process of Teaching Disciplines to Ensure the Safe Operation of Nuclear Power Plants]. Nauchnaya sessiya NIYAU MIFI - 2015: sb. tez. i st. nauch.-prakt. konf., 16-20 fevr. 2015 g. [Scientific session of NRNU MEPhI - 2015: collection of articles. thesis. and Art. scientific-practical Conf., 16–20 Feb. 2015]. Volgogradsk: VITI NRNU MEPhI. P.161-164 (in Russian).
- [8] Lobkovskaya N.I., Evdoshkina Yu.A. Professional'noye tselepolaganiye kak sostavlyayushchaya kul'tury bezopasnosti budushchego spetsialista-atomshchika [Professional goal-setting as a component of the safety culture of a future nuclear specialist]. Sovremennoye obrazovaniye [Modern education]. 2017. No. 1. P.32-38 (in Russian).
- [9] Evdoshkina Yu.A., Rudenko V.A. Praktiko-orientirovannaya tekhnologiya formirovaniya kul'tury bezopasnosti vypusnikov, orientirovannykh na rabotu v atomnoj otrasli [Practice-Oriented Technology for the Formation of a Safety Culture of Graduates Focused on Work in Nuclear Industry]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2017. No.4(25). P. 122-129 (in Russian).
- [10] Vasilenko N.P., Evdoshkina Yu.A. Pedagogicheskaya model' formirovaniya kul'tury bezopasnosti vypusnikov, orientirovannykh na rabotu v atomnoj otrasli [Pedagogical Model of the Formation of Safety Culture of Graduates Focused on Work in Nuclear Industry]. Bezopasnost' yadernoj energetiki: tez. dokl. HSH Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 31 maya - 2 iyunya 2017 g. [Safety of Nuclear Energy: abstracts. report XSh Int. scientific-practical Conf., May 31 - June 2, 2017 / VITI NRNU MEPhI]. Volgogradsk. 2017. ISBN 978-5-7262-2364-3 (in Russian).
- [11] Kadry. Projti ne poskol'znut'sya [Personnel. Pass without Slipping]. Rosenergoatom [Rosenergoatom]. 2017. No.7. P.27 (in Russian).
- [12] Smetnik A.A., Murlis D.V. Kul'tura bezopasnosti i eyo svyaz' s nacional'noj kul'turoj i kul'turoj organizacii [Safety Culture and its Connection with the National Culture and Culture of the Organization]. Elektricheskie stancii [Power plants]. 2016. No.1(1014). P.5-10 (in Russian).

**Providing a High Level of Safety Culture when Exporting Nuclear Power Technologies****V.A. Rudenko<sup>1</sup>, T.S. Popova<sup>2</sup>, Yu.A. Evdoshkina<sup>3</sup>**

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

<sup>1</sup>ORCID iD: 0000-0002-6698-5469

WoS Researcher ID: B-7730-2016

e-mail: VARudenko@mephi.ru

<sup>2</sup>ORCID iD: 0000-0002-0554-2672

e-mail: TSPopova@mephi.ru

<sup>3</sup>ORCID iD: 0000-0002-6704-0643

WoS Researcher ID: G-8379-2017

e-mail: YAEvdoshkina@mephi.ru

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

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

**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА**

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <i>Арсентьева Е.С.</i>  | 68  |
| <i>Баран С.А.</i>       | 77  |
| <i>Герасимов С.И.</i>   | 15  |
| <i>Годунов С.Ф.</i>     | 35  |
| <i>Губеладзе А.Р.</i>   | 7   |
| <i>Губеладзе О.А.</i>   | 7   |
| <i>Евдошкина Ю.А.</i>   | 101 |
| <i>Елохин А.П.</i>      | 25  |
| <i>Ерофеев В.И.</i>     | 15  |
| <i>Занегин И.В.</i>     | 15  |
| <i>Ишигов И.О.</i>      | 49  |
| <i>Калмыков А.П.</i>    | 15  |
| <i>Кикеев В.А.</i>      | 15  |
| <i>Косяк Е.Г.</i>       | 15  |
| <i>Кривин В.В.</i>      | 49  |
| <i>Ксенофонтов А.И.</i> | 25  |
| <i>Кузнецов П.Г.</i>    | 15  |
| <i>Лапичев Н.В.</i>     | 15  |
| <i>Лапкис А.А.</i>      | 68  |
| <i>Лыскова И.Е.</i>     | 84  |
| <i>Мельников И.В.</i>   | 77  |
| <i>Микишин И.А.</i>     | 68  |
| <i>Молошная Е.С.</i>    | 77  |
| <i>Нечитайлов В.В.</i>  | 77  |
| <i>Орумо Б.К.</i>       | 25  |
| <i>Пинчук Э.В.</i>      | 35  |
| <i>Пирожков Р.В.</i>    | 35  |
| <i>Попова Т.С.</i>      | 101 |
| <i>Руденко В.А.</i>     | 101 |
| <i>Савандер В.И.</i>    | 58  |
| <i>Тихомиров Г.В.</i>   | 58  |
| <i>Толстов В.А.</i>     | 49  |
| <i>Томилин С.А.</i>     | 35  |
| <i>Хегай Л.С.</i>       | 49  |
| <i>Цвелик Е.А.</i>      | 35  |
| <i>Швец Д.В.</i>        | 68  |
| <i>Штицер В.Я.</i>      | 49  |
| <i>Элазака А.И.</i>     | 58  |

## AUTHOR INDEX OF VOL. 2, 2021

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <i>Arsenteva E.S.</i>   | 68  |
| <i>Baran S.A.</i>       | 77  |
| <i>Elazaka A.I.</i>     | 58  |
| <i>Elokhin A.P.</i>     | 25  |
| <i>Erofeev V.I.</i>     | 15  |
| <i>Evdoshkina Yu.A.</i> | 101 |
| <i>Gerasimov S.I.</i>   | 15  |
| <i>Godunov S.F.</i>     | 35  |
| <i>Gubeladze A.R.</i>   | 7   |
| <i>Gubeladze O.A.</i>   | 7   |
| <i>Ishigov I.O.</i>     | 49  |
| <i>Kalmykov A.P.</i>    | 15  |
| <i>Khegay L.S.</i>      | 49  |
| <i>Kikeev V.A.</i>      | 15  |
| <i>Kosyak E.G.</i>      | 15  |
| <i>Krivin V.V.</i>      | 49  |
| <i>Ksenofontov A.I.</i> | 25  |
| <i>Kuznetsov P.G.</i>   | 15  |
| <i>Lapichev N.V.</i>    | 15  |
| <i>Lapkis A.A.</i>      | 68  |
| <i>Lyskova I.E.</i>     | 84  |
| <i>Melnikov I.V.</i>    | 77  |
| <i>Mikshin I.A.</i>     | 68  |
| <i>Moloshnaya E.S.</i>  | 77  |
| <i>Nechitailov V.V.</i> | 77  |
| <i>Orumo B.K.</i>       | 25  |
| <i>Pinchuk E.V.</i>     | 35  |
| <i>Pirozhkov R.V.</i>   | 35  |
| <i>Popova T.S.</i>      | 101 |
| <i>Rudenko V.A.</i>     | 101 |
| <i>Savander V.I.</i>    | 58  |
| <i>Shpicer V.Ya.</i>    | 49  |
| <i>Shvets D.V.</i>      | 68  |
| <i>Tikhomirov G.V.</i>  | 58  |
| <i>Tolstov V.A.</i>     | 49  |
| <i>Tomilin S.A.</i>     | 35  |
| <i>Tselik E.A.</i>      | 35  |
| <i>Zanegin I.V.</i>     | 15  |

## NOTES FOR AUTHORS

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

One file consists of one paper which has the following:

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

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

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

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

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



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

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

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

#### THE LIST OF REFERENCES STANDARD IN ENGLISH

##### **For journals:**

- [1] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Analiz i predstavlenie sredy deystviya v sisteme proektirovaniya tehnologii demontazha oborudovaniya pri vyvode iz ekspluatatsii bloka AES [The analysis and representation of the action environment in system of technology design of equipment dismantle during NPP unit taking out of operation] [Global nuclear safety]. 2014. № 1(10). P. 25-31 (in Russian).
- [2] Lobkovskaya N.I., Evdoshkina Yu.A. Professional`noe celepolaganie kak sostavlyayushhaya kul`tury` bezopasnosti budushhego specialista-atomshhika [Professional Goal-Setting as a Component of the Safety Culture of a Future Nuclear Specialist]. Sovremennoe obrazovanie [Modern Education]. 2017. № 1. P. 32-38. URL: [http://e-notabene.ru/pp/article\\_22498.html](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 konstruksiy. [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/](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/](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, 2(39)**

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

Сдано в набор 07.06.2021 г.

Компьютерная верстка Казак Ю.Ю.

Подписано к печати 15.06.2021 г.

Бумага «Снегурочка» 80 г/м<sup>2</sup>. Объем 7,5. печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ (ф) НИЯУ МИФИ